

КЛИНИЧЕСКАЯ СТОМАТОЛОГИЯ

Clinical Dentistry (Russia)

dGunTM
DENTIST

НОВЫЙ ИНЪЕКТОР НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ

ПОЧЕМУ ВЫБИРАЮТ DENTIST dGunTM?

- Выпускается со всеми анестетиками, зарегистрированными в РФ.
- Специально разработанная теплая цветовая гамма инъектора существенно снижает психологический барьер и страх пациента перед анестезией.
- Улучшенный визуальный контроль аспирационной пробы тест за счет сквозного отверстия в защитном колпачке, совмещенным с отверстием на корпусе инъектора.
- Специальные насечки, предотвращающие скольжение пальцев врача. Существенно повышает качество работы.
- Стерилизуется оксидом этилена. Срок хранения 5 лет.
- Не требует маркировки в системе «Честный знак».
- Удобный информативный сайт для заказов.

ООО «Уральская Медицинская Компания»
426008, УР, г. Ижевск, ул. Коммунаров, 355

denttorg@gmail.com; info@denttorg.ru

тел.: +7 (3412) 97-09-79

+7 (3412) 26-05-19

+7 (982) 119-91-87

Бесплатный номер по России: 8-800-250-99-74



Подписывайтесь на официальный канал с полезной информацией для управляемцев в стоматологии, с обсуждением сложных случаев в стоматологической практике



На правах рекламы



6

Метагеном полости рта у условно здоровых и больных острым герпетическим стоматитом детей

18

Особенности дифференциальной диагностики красного плоского лишая и лихеноидной реакции полости рта: гистопатологический анализ

84

Апикальный перимплантит: этиология, клиническая картина и лечение

110

Сравнительная характеристика лицевых сканеров в эксперименте

144

Исследование *in vitro* цитотоксичности и биосовместимости ген-активированного остеопластического материала

157

Склеротерапия при венозных мальформациях челюстно-лицевой области

179

Роль оральной микробиоты в этиологии, патогенезе пародонтита и в системной патологии



uralmedcom.ru
dgun.online



9 771811 153001

Изолайн

vvv
ВЛАДМИВА

ПОДКЛАДОЧНЫЙ КОМПОМЕРНЫЙ МАТЕРИАЛ СВЕТОВОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

для непрямой изоляции пульпы под композитные реставрации

Преимущества

- ✓ содержит гидроксиапатит
- ✓ рентгеноконтрастен
- ✓ повышенное фторовыделение
- ✓ низкая растворимость
- ✓ отличная термоизоляция тканей зуба
- ✓ содержит гидроксиапатит кальция
- ✓ компенсация внутреннего напряжения, возникающего в процессе полимеризационной усадки композитных материалов

НОВАЯ УДОБНАЯ ФОРМА
ВЫПУСКА В УНИДОЗАХ!



Кальцелайт

vvv
ВЛАДМИВА

кальцийсодержащий подкладочный материал светового отверждения

изоляция глубоких кариозных полостей (непрямая изоляция пульпы) при реставрации твердых тканей зуба стеклоиономерными и композитными материалами

Преимущества

- ✓ низкая растворимость
- ✓ отличная термоизоляция тканей зуба
- ✓ кариес-статический эффект
- ✓ содержит гидроокись кальция
- ✓ защита пульпы от токсического воздействия
- ✓ химическое сродство к полимерным материалам
- ✓ рентгеноконтрастен

НОВАЯ УДОБНАЯ ФОРМА
ВЫПУСКА В УНИДОЗАХ

Материал стоматологический кальцийсодержащий светового отверждения подкладочный под пломбы из стеклоиономерных и композитных средств
vvv
ВЛАДМИВА

Кальцелайт®

00000000000000000000000000000000

на правах рекламы



Научно-практический рецензируемый журнал «Клиническая стоматология»
включен в Перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов
и изданий (ВАК), в ядро РИНЦ, в базу данных Russian Science Index
на платформе Web of Science, в базу данных Scopus.

№ 1/2025

С 2018 г. выходит при спонсорской поддержке генерального директора «ВладМиВы» проф. Владимира Петровича Чуева

Главные редакторы

С.Ю. Иванов, член-корр. РАН, д.м.н., профессор, зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии медицинского института РУДН. **Ответственный за разделы:** хирургическая стоматология, имплантология, ортопедическая стоматология, ортодонтия, обезболивание в стоматологии, организация здравоохранения и общественное здоровье.

И.М. Рабинович, д.м.н., профессор, заведующий отделом терапевтической стоматологии ЦНИИСиЧЛХ; зав. кафедрой терапевтической стоматологии РМАНПО, заслуженный врач РФ.

Ответственный за разделы: терапевтическая стоматология, заболевания слизистой оболочки рта, пародонтология, эстетическая стоматология, эндодонтия, детская стоматология.

Редколлегия

С.И. Абакаров, член-корр. РАН, д.м.н., профессор, зав. кафедрой ортопедической стоматологии, декан стоматологического факультета РМАНПО.

Н.Н. Аболмасов, д.м.н., профессор кафедры ортопедической стоматологии с курсом ортодонтии СмолГМУ.

И.М. Байриков, член-корр. РАН, д.м.н., профессор, зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии и стоматологии СамГМУ.

И.П. Балмасова, д.м.н., профессор, зав. лабораторией патогенеза и методов лечения инфекционных заболеваний Научно-исследовательского медико-стоматологического института Российского университета медицины.

А.А. Бахмет, д.м.н., профессор кафедры анатомии человека РНИМУ им. Н.И. Пирогова.

Е.А. Булычева, MSc, д.м.н., профессор, зав. кафедрой дополнительного образования по стоматологическим специальностям НовГУ; профессор кафедры стоматологии ортопедической и материаловедения с курсом ортодонтии ПСПбГМУ им. И.П. Павлова.

В.Д. Вагнер, д.м.н., профессор кафедры ортодонтии и геронтостоматологии Российского университета медицины.

С.И. Гажва, д.м.н., профессор, зав. кафедрой стоматологии Приволжского исследовательского медицинского университета (Нижний Новгород).

Р.Ш. Гветадзе, член-корр. РАН, д.м.н., профессор, директор НИИ стоматологии Российского университета медицины, заслуженный врач РФ.

С.Н. Гонтарев, д.м.н., профессор, зав. кафедрой детской стоматологии НИУ БелГУ, Заслуженный врач РФ.

Л.А. Григорьянц, д.м.н., профессор кафедры стоматологии РУДН.

Л.П. Кисельникова, д.м.н., профессор, зав. кафедрой детской стоматологии Российского университета медицины, главный внештатный специалист.

циалист Департамента здравоохранения Москвы по детской стоматологии.

Д.А. Лежнев, д.м.н., профессор, зав. кафедрой лучевой диагностики Российского университета медицины, вице-президент РОО «Общество рентгенологов, радиологов и специалистов ультразвуковой диагностики в Москве», эксперт научно-технической сферы НИИ РИНКЭ.

С.А. Николаенко, д.м.н., профессор, директор ООО «Клиника профессора Николаенко» и ЦДПО «Профессорская практика», руководитель медико-производственного центра «Эпилетика» (Красноярск)

В.Н. Олесова, д.м.н., профессор, проректор по научной работе Академии постдипломного образования ФНКЦ ФМБА РФ, зав. кафедрой стоматологии медико-биологического университета ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА РФ.

Г.Б. Оспанова, д.м.н., научный консультант ЦНИИСиЧЛХ.

С.А. Рабинович, д.м.н., профессор, зав. кафедрой обезболивания в стоматологии Российской университета медицины.

Г.С. Рунова, к.м.н., доцент кафедры пародонтологии Российского университета медицины.

Р.А. Салеев, д.м.н., профессор кафедры ортопедической стоматологии, декан стоматологического факультета КГМУ, главный врач стоматологической поликлиники КГМУ.

А.Н. Ряховский, д.м.н., профессор, консультант отдела ортопедической стоматологии ЦНИИСиЧЛХ.

А.Б. Слабковская, д.м.н., профессор кафедры ортодонтии Российского университета медицины.

В.Н. Царев, д.м.н., профессор, зав. кафедрой микробиологии, вирусологии, иммунологии, директор Научно-исследовательского медико-стоматологического института Российского университета медицины.

Научный редактор

А.М. Цициашвили, д.м.н., профессор кафедры пропедевтики хирургической стоматологии Российского университета медицины.

Ответственный секретарь

Ю.Л. Васильев, д.м.н., профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

В.Н. Чиликин, д.м.н., профессор, научный консультант НИКИЭТ.

Р.М. Ахмедбейли, д.м.н., профессор кафедры терапевтической стоматологии Азербайджанского медицинского университета, президент Азербайджанской ассоциации эстетической стоматологии (Баку, Азербайджан).

Ш. Дирикан-Илчи, д.м.н., профессор, зав. кафедрой пародонтологии и директор института последипломного образования университета Алтынбаш (Стамбул, Турция).

М.У. Дусмагамбетов, д.м.н., профессор, зав. кафедрой микробиологии и вирусологии Медицинского университета Астаны (Казахстан).

Т. Ичиноже, профессор, зав. кафедрой анестезиологии в стоматологии Токийского стоматологического колледжа (Япония).

С. Маламед, профессор стоматологического факультета Университета Южной Калифорнии, председатель общества «Аnestезия и медицина» (Лос-Анджелес США).

Б.К. Поту, доцент кафедры анатомии человека Университета Персидского залива (Бахрейн).

С.П. Рубникович, член-корр. Национальной академии наук, д.м.н., профессор, ректор Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Белоруссия).

М. Соломонов, д.м.н., профессор, директор программы последипломного образования по эндодонтии департамента эндодонтии госпиталя АОИ «Шиба» (Тель-ха-Шомер, Израиль).

Л. Тестарелли, д.м.н., доцент эндодонтии и реставрации кафедры стоматологии и челюстно-лицевой хирургии университета «Сапиенца» (Рим, Италия).

Издается при
информационной поддержке

Стоматологической Ассоциации России

Ассоциации торговых и промышленных
предприятий стоматологии
«Стоматологическая индустрия»

РЕДАКЦИЯ

Шеф-редактор — М. В. Елисеева
melis1@yandex.ru, editor@kstom.ru
+7 916 596-89-62Литературный редактор, корректор —
Е.И. МакееваТехнический редактор, верстальщик,
дизайнер — А.А. Капитанников

АДРЕС РЕДАКЦИИ

119002, Москва, Сивцев вражек, 29/16,
оф. 205
Тел.: +7 916 596-89-62ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ
МОЖНО В АГЕНТСТВАХ:
«КНИГА-СЕРВИС» — ИНДЕКС Е43036;
«ПРЕССА РОССИИ» — ИНДЕКС 43036;
«ПОЧТА РОССИИ» — ИНДЕКС ПС059;
«УРАЛ-ПРЕСС» — ИНДЕКС 46329.Журнал зарегистрирован в Министерстве
РФ по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1934

Все публикуемые статьи рецензируются. Статья может быть опубликована только после получения положительной экспертной оценки не менее чем от двух рецензентов.

Ответственность за содержание рекламных материалов несет рекламодатель. Ответственность за достоверность приводимых в опубликованных материалах сведений несут авторы статей.

Перепечатка только с письменного разрешения редакции. Эксклюзивные материалы журнала являются собственностью
ООО «Клиническая стоматология».Тираж 4000 экз. Цена свободная.
© ООО «Клиническая стоматология», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

■ ДЕТСКАЯ СТОМАТОЛОГИЯ

Т.Н. Модина, Д.А. Гилязиева,
Е.В. Мамаева, К.М. Хабибуллин, Р.И. Ахметзянова,
У.Курди, Г.Ю. Яковлева, О.Н. Ильинская
6
Метагеном полости рта у условно здоровых и больных
острым герпетическим стоматитом детей

■ ПРОФИЛАКТИКА

А.В. Федорова, Л.Н. Солдатова,
В.С. Солдатов, А.К. Иорданишвили
Эффективность применения комплекса реминерализующих
средств в период ортодонтического лечения

■ БОЛЕЗНИ СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ РТА

Т.А. Зайнуллин, Е.В. Иванова, Д.А. Моисеев,
Ю.В. Молочкова, М.А. Амхадова, Е.Е. Фаустова,
А.Г. Ермолова, А.А. Оглобин, С.С. Сорокин, Д.В. Ложкин
18
Особенности дифференциальной диагностики красного
плоского лишая и лихенOIDной реакции полости рта:
гистопатологический анализ

О.Ф. Рабинович, И.М. Рабинович,
К.В. Умарова, Т.Н. Новоземцева
Изучение клинической эффективности местного применения
иммуномодулирующего препарата при терапии
рецидивирующего афтозного стоматита

И.Н. Усманова, И.А. Лакман, О.А. Гурьевская,
А.И. Булгакова, О.Х. Борзилова, К.Ш. Фазлыахметова,
А.А. Хафизова, И.И. Терегулов, Ю.Л. Васильев
Анализ данных иммуногистохимического исследования
слизистой оболочки полости рта при эрозивно-язвенной
форме плоского лишая

■ КАРИЕСОЛОГИЯ
Ю. Майасари, Р.Р. Дарвита, Ф. Сетиавати, Х. Новринда
38
Влияние кариеса зубов на качество жизни детей с нарушениями зрения: систематический обзор

■ ЭНДОДОНТИЯ
Е.В. Корсакова, Е.В. Иванова,
М.С. Подпорин, Е.Г. Сабанцева
Изменение состава биопленки корневых каналов зубов
с хроническим апикальным периодонтитом при проведении
их ревизии современными машинными системами
(in vivo)

■ ТЕРАПИЯ
И.Г. Романенко, Н.И. Чепурова, М.А. Кривенцов
58
Гистопатологические изменения в тканях пародонта при
экспериментальном апикальном периодонте и его коррекции
гидроксиапатитом и лизоцимом

■ ОРТОПЕДИЯ
О.В. Головатенко, О.О. Страх,
Ю.Г. Тарасова, С.И. Метелица, М.Д. Хватова
Информированность врачей-стоматологов о методах
диагностики и лечения заболеваний височно-нижнечелюстного сустава

■ ИМПЛАНТОЛОГИЯ
Д.С. Саркисов, А.Г. Степанов,
М.В. Джалаева, С.В. Апресян, О.П. Королькова
72
Численное исследование напряженно-деформированного
состояния хирургических шаблонов

Н.Е. Дегтярев, А.А. Мураев,
Г.Г. Казарян, Р.Ф. Мухаметшин, С.С. Иванов
78
Цифровое планирование дентальной имплантации с применением
аксиографии у пациента с нефиксированным
прикусом

М.Л. Касперович, В.А. Васильева, В.В. Чуев, А.А. Чуева
84
Апикальный периимплантит: этиология, клиническая
картина и лечение

■ ОБЕЗБОЛИВАНИЕ
С.А. Раззак, Н.А. Насир, К.А. Аль-Салихи
92
Извлечение и оценка эвгенола из *Syzygium aromaticum*
в качестве местного анестетика при зубной боли

■ ПАРОДОНТОЛОГИЯ

Е.А. Булычева, Н.А. Шевкунова,
В.Н. Трезубов, О.Б. Спицына, Э.Р. Валеев
Стоматологический статус у больных генерализованным
пародонтитом на фоне сахарного диабета

Т.М. Еловикова, О.В. Романычева,
С.Н. Саблина, Е.Ю. Ермишина, С.С. Григорьев,
Ю.В. Мандра, Т.Б. Большакова, А.С. Кощеев
104
Клинико-лабораторный анализ эффективности применения
ополаскивателя на основе аквакомплекса глицеросольват титана у пациентов с воспалительными
заболеваниями пародонта

■ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.В. Апресян, А.Г. Степанов,
А.П. Зражевская, В.К. Суоню, Л.С. Григорьянц
Сравнительная характеристика лицевых сканеров в эксперименте

В.В. Шкарин, Ю.А. Македонова, Е.Н. Ярыгина,
Л.Д. Вейстейм, Д.Ю. Дьяченко, Л.М. Гаврикова
116
Оценка диагностической возможности обученной нейросетевой модели в стоматологии

■ ХИРУРГИЯ

М.И. Шиморский, А.М. Панин,
Н.Б. Корчакина, А.М. Цициашвили,
Е.В. Волосова, Л.А. Акимочкина, Л.Р. Паниашвили
124
Клиническая эффективность комбинированного метода реабилитации пациентов после стоматологических
хирургических вмешательств — кинезиотейпирование
и низкоинтенсивная инфракрасная лазерная терапия

С.Ю. Иванов, Д.Ю. Милюкова,
А.Д. Свириденко, А.А. Мураев, А.М. Гусаров,
Л.Л. Бороздкин, А.М. Кузнецов, И.А. Седов
130
Функциональный анализ программного 3D-обеспечения,
применяемого в челюстно-лицевой хирургии

А.И. Потапова, А.П. Ведяева,
Т.В. Брайловская, Н.В. Кошелева, П.С. Тимашев,
И.И. Власова, П.И. Котенева, А.М. Цициашвили
144
Исследование *in vitro* цитотоксичности и биосовместимости
ген-активированного остеопластического материала

Ж.Е. Городков, А.И. Пылков,
П.И. Головский, К.С. Колобовников
152
Влияние накостного остеосинтеза на течение нейропатии
нижнего альвеолярного нерва при переломе нижней
челюсти

А.А. Гришин, Ш.Т. Камилов, С.Ю. Иванов
157
Склеротерапия при венозных мальформациях челюстно-лицевой области

Б.А. Новоселов, А.Д. Свириденко, В.В. Михайлов,
Д.Ю. Милюкова, Е.В. Сердобинцев, С.Ю. Иванов
161
Случай реабилитации онкостоматологического пациента
при применении малоберцового реваскуляризированного
автотрансплантата и дентальных имплантатов с использованием
компьютерных технологий в планировании

■ МИКРОБИОЛОГИЯ
С.С. Елдашев, Т.В. Царева,
Д.О. Быков, М.В. Быкова, В.А. Парунов
166
Изучение микробной адгезии к поверхности зубных
протезов из отечественных стоматологических сплавов
на основе палладия

О.В. Евдокимова, Е.П. Котелевец,
А.И. Новак, В.В. Бирюков
171
Роль факторов вирулентности *Porphyromonas gingivalis*
и *Tannerella forsythia* в патогенезе заболеваний пародонта:
обзор литературы

И.А. Гимранова, В.А. Гриценко,
И.М. Рабинович, Г.М. Акмалова, Д.Ю. Швец
179
Роль оральной микробиоты в этиологии, патогенезе пародонтиита и в системной патологии

Т.В. Царева, Е.В. Ипполитов, М.Г. Козодав,
В.В. Царева, М.С. Подпорин, В.Н. Царев
186
Сравнительная характеристика antimикробных свойств
покрытия диоксида титана в форме анатаз на поверхности
титана и его сплавов



The scientific and practical peer-reviewed journal "Clinical Dentistry (Russia)" is included into the Russian peer-reviewed scientific journals and publications leading list (HAC), in the core of the RSCI, in the Russian Science Index database on the Web of Science platform, and in the Scopus.

Nº 1/2025

As of 2018, sponsored by Prof. Vladimir CHUEV, General Director of VladMiVa Company

Chief editors

Ivanov S.Yu., Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, full professor of the Maxillofacial surgery Department at Sechenov University (Moscow, Russia); full professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department at RUDN University (Moscow, Russia)

Accountable for following sections: surgical dentistry, implantology, orthopedic dentistry, orthodontics, analgesia in dentistry, health management and public health.

Rabinovich I.M., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Therapeutic dentistry Department at Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery (Moscow, Russia); full professor of the Therapeutic dentistry Department at Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Moscow, Russia).

Accountable for following sections: therapeutic dentistry, oral mucosa diseases, periodontics, aesthetic dentistry, endodontics, paediatric dentistry.

Science editor

Tsitsiashvili A.M., Doctor of Science in Medicine, professor of the Propaedeutics of Surgical dentistry Department at the Russian University of Medicine (Moscow, Russia).

Executive secretary

Vasil'ev Yu.L., Doctor of Science in Medicine, professor of the Operative surgery and topographic anatomy Department at the Sechenov University (Moscow, Russia).

Editorial board

Abakarov S.I., Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, full professor of the Prosthodontics Department, dean of the Dentistry department at the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education (Moscow, Russia).

Abolmasov N.N., Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, full professor of the Prosthodontics and orthodontics Department at the Smolensk State Medical University (Smolensk, Russia).

Bakhmet A.A., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Human anatomy Department at the Pirogov University (Moscow, Russia).

Balmasova I.P., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Infectious diseases pathogenesis and treatment Department at the Russian University of Medicine (Moscow, Russia).

Bayrikov I.M., Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, full professor of the Maxillofacial surgery and dentistry Department at the Samara State Medical University (Samara, Russia).

Bulycheva E.A., MSc, Doctor of Science in Medicine, full professor of the Prosthodontics, materials science and orthodontics Department at the Novgorod State University (Veliky Novgorod, Russia); professor of the Prosthodontics and material science Department at the Pavlov University (Saint-Petersburg, Russia).

Chilikin V.N., Doctor of Science in Medicine, full professor, scientific advisor of N.A. Dollezhal Research and Development Institute of Power Engineering (Moscow, Russia).

Gazhva S.I., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Dentistry Department at the Privolzhsky Research Medical University (Nizhniy Novgorod, Russia).

Gontarev S.N., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Pediatric dentistry Department at the Belgorod State University, Russia (Belgorod, Russia).

Grigoriants L.A., Doctor of Science in Medicine, professor of the Dentistry Department at the RUDN University (Moscow, Russia).

Gvetadze R.Sh., Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine,

full professor, director of the Dental Research Institute at the Russian University of Medicine (Moscow, Russia).

Kisel'nikova L.P., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Paediatric dentistry department at the Russian University of Medicine (Moscow, Russia).

Lezhnev D.A., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Radiodiagnosis Department at the Russian University of Medicine, vice-president of the "Moscow society of radiologists and ultrasound specialists," scientific expert of the Republican research and consulting center of expertise (Moscow, Russia).

Nikolaenko S.A., Doctor of Science in Medicine, professor, director of the "Prof. Nikolaenko Clinic" and "Professorial Practice" training center, head of the "Epithetics" medical production facility (Krasnoyarsk, Russia).

Olesova V.N., Doctor of Science in Medicine, full professor, vice-rector for science of the Postgraduate education Academy at the Federal Scientific and Practical Center (Moscow, Russia); head of the Dentistry department at the Medicine and Biology University of the Federal agency for medicine and biology (Moscow, Russia).

Ospanova G.B., Doctor of Science in Medicine, scientific advisor of the Central research institute of dental and maxillofacial surgery (Moscow, Russia).

Rabinovich S.A., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Pain management in dentistry Department at the Russian University of Medicine (Moscow, Russia).

Runova G.S., PhD in Medical Sciences, associate professor of the Periodontology Department at the Russian University of Medicine (Moscow, Russia).

Ryakhovsky A.N., Doctor of Science in Medicine, full professor, consultant in the Division of Orthopedic Dentistry of the Central research institute of dental and maxillofacial surgery (Moscow, Russia).

Saleev R.A., Doctor of Science in Medicine, professor of the Prosthodontics department at Kazan State Medical University, chief doctor of the University Dental Clinic (Kazan, Russia).

Slabkovskaya A.B., Doctor of Science in Medicine, full professor of Prosthodontics Department at the Russian University of Medicine (Moscow, Russia).

Tsarev V.N., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Microbiology, virology, immunology Department, director of the Medico-dental research Institute at the Moscow State University of Medicine and Dentistry (Moscow, Russia).

Vagner V.D., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Orthodontics and gerontostomatology Department at the Russian University of Medicine (Moscow, Russia).

Ahmedbeyli R.M., DDS, MD, PhD, DMSci, professor of the Therapeutic dentistry Department at the Azerbaijan Medical University, President of the Azerbaijan Association of Esthetic Dentistry (Baku, Azerbaijan).

Dirikan Ipcı Ş., PhD, professor of the Periodontology department, director of Postgraduate health science Institute at Altınbash University (Istanbul, Turkey).

Dusmagambetov M.U., Doctor of Science in Medicine, full professor of the Microbiology and virology Department (Astana Medical University, Kazakhstan).

Ichinohe T., professor and chairman of the Dental anesthesiology department at the Tokyo dental college (Japan).

Malamed S.F., professor of dentistry at the University of Southern California, the chairperson of the Anesthesia and medicine society (Los Angeles, USA).

Potu B.K., PhD, associate professor of the Anatomy Department at the Arabian Gulf University (Manama, Bahrain).

Rubnikovich S.P., National Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, professor, rector of the Belarusian State Medical University (Minsk, Belarus).

Solomonov M., DMD Endodontist, director of Postgraduate Endodontic Program at the IDF «Sheba» Medical Center (Tel-Ha-Shomer, Israel).

Testarelli L., PhD, associate professor of Dental Restorative and Endodontics of the Dentistry and Maxillofacial Sciences Department at the Sapienza University of Rome (Rome, Italy).

■ PAEDIATRIC DENTISTRY

- T.N. Modina, D.A. Giliazieva,
E.V. Mamaeva, K.M. Khabibullin, R.I. Akhmetzyanova,
W. Kurdy, G.Yu. Yakovleva, O.N. Ilinskaya
Metagenome of the oral cavity in children who are relatively healthy and have acute herpetic stomatitis

6

■ PROPHYLAXIS

- A.V. Fedorova, L.N. Soldatova,
V.S. Soldatov, A.K. Jordanishvili
Effectiveness of using a complex of remineralizing agents during orthodontic treatment

12

■ ORAL MUCOSAL DISEASES

- T.A. Zainullin, E.V. Ivanova, D.A. Moiseev,
Yu.V. Molochkova, M.A. Amkhadova, E.E. Faustova,
A.G. Ermolaev, A.A. Ogloblin, S.S. Sorokin, D.V. Lozhkin
Features of differential diagnosis of lichen planus and lichenoid reaction of the oral cavity: histopathological analysis

18

O.F. Rabinovich, I.M. Rabinovich,
K.V. Umarova, T.N. Novozemceva

25

- Studying the clinical effectiveness of local application of a topical immunomodulator in the treatment of recurrent aphthous stomatitis

I.N. Usmanova, I.A. Lakman, O.A. Gurievskaia,
A.I. Bulgakova, O.H. Borzilova, K.Sh. Fazlyakhmetova,
A.A. Khafizova, I.I. Teregulov, Yu.L. Vasil'ev

31

- Immunohistochemical study data analysis off oral mucosa in the erosive and ulcerative form of the lichen planus

■ CARIOSOLOGY

- Y. Mayasari, R.R. Darwita, F. Setiawati, H. Novrinda
Dental caries and quality of life of visually impaired children: A systematic review

38

■ ENDODONTICS

- E.V. Korsakova, E.V. Ivanova,
M.S. Podporin, E.G. Sabantseva
Changing the composition of the biofilm of the root canals of teeth with chronic apical periodontitis during their revision by modern machine systems (in vivo)

50

■ THERAPY

- I.G. Romanenko, N.I. Chepurova, M.A. Kriventsov
Histopathological changes in periodontal tissue during experimental apical periodontitis and its correction with hydroxyapatite and lysozyme

58

■ PROSTHODONTICS

- O.V. Golovatenko, O.O. Strakh,
Ju.G. Tarasova, S.I. Metelitsa, M.D. Khatova
Dentists' awareness about methods of diagnosis and treatment of temporomandibular disorders

66

■ IMPLANTOLOGY

- D.S. Sarkisov, A.G. Stepanov,
M.V. Dzhalalova, S.V. Apresyan, O.P. Korolkova
Numerical study of the stress-strain state of surgical templates

72

- N.E. Degtyarev, A.A. Muraev,
G.G. Kazarian, R.F. Mukhametshin, S.S. Ivanov
Digital planning of dental implantation using axiography in a patient with a non-fixed bite

78

- M.L. Kasperovich, V.A. Vasilyeva, V.V. Chuev, A.A. Chueva
Apical perimplantitis: etiology, clinic and treatment

84

■ ANESTHESIA

- S.A. Razzaq, N.A. Nasir, K.A. Al-Salihi
Extraction and evaluation of eugenol from *Syzgium aromaticum* as topical anesthetic for toothaches

92

CONTENTS

■ PERIODONTOLOGY

- E.A. Bulycheva, N.A. Shevkunova,
V.N. Trezubov, O.B. Spitsyna, E.R. Valeev
Dental status in patients with generalized parontitis on the background of diabetes mellitus

98

T.M. Elovikova, O.V. Romanycheva,
S.N. Sablina, E.Yu. Ermishina, S.S. Grigoryev,
Yu.V. Mandra, T.B. Bolshakova, A.S. Koscheev

104

- Clinical laboratory effectiveness assessment of the use of mouthwash containing titanium nanoparticles by patients with periodontal inflammation

■ DIGITAL DENTISTRY

- S.V. Apresyan, A.G. Stepanov,
A.P. Zrazhevskaya, V.K. Suonio, L.S. Grigoryants
Comparative characteristics of facial scanners

110

V.V. Shkarin, Yu.A. Makedonova, E.N. Iarygina,
Veisgeim L.D., D.Yu. Dyachenko, L.M. Gavrikova
Evaluation of the diagnostic capability of a trained neural network model in dentistry

116

■ SURGERY

- M.I. Shimorskiy, A.M. Panin,
N.B. Korchazhkina, A.M. Tsitsiashvili,
E.V. Volosova, L.A. Akimochkina, L.R. Panikashvili
The clinical effectiveness of the combined method of rehabilitation of patients after dental surgery is kinesiotaping and low-intensity infrared laser therapy

124

S.Yu. Ivanov, D.Yu. Milyukova,
Sviridenko A.D., A.A. Muraev, A.M. Gusarov,
L.I. Borozdkin, A.M. Kuznetsov, I.A. Sedov
Functional analysis 3D software used in maxillofacial surgery

130

- A.I. Potapova, A.P. Vedyava,
T.V. Brailovskaya, N.V. Kosheleva, P.S. Timashev,
I.I. Vlasova, P.I. Koteneva, A.M. Tsitsiashvili
In vitro study of cytotoxicity and biocompatibility properties of gene-activated osteoplastic material

144

Z.E. Gorodkov, A.I. Pylkov,
P.I. Golavskii, K.S. Kolobovnikov
The influence of periosteal osteosynthesis on the course of inferior alveolar nerve neuropathy in mandibular fractures

152

- A.A. Grishin, Sh.T. Kamilov, S.Yu. Ivanov
Sclerotherapy for venous malformations of the maxillofacial region

157

B.A. Novoselov, A.D. Sviridenko, V.V. Mikhailov,
D.Yu. Milyukova, E.V. Serdobintsev, S.Yu. Ivanov
The case of rehabilitation of the oncostomatological patient when using a differential revascularized autotransplantation and dental implants using computer technology in planning

161

- S.A. Eldashev, T.V. Tsareva,
D.O. Bykov, M.V. Bykova, V.A. Parunov
Investigation of the microbial adhesion to the surface of dentures made of domestic dental alloys based on palladium

166

O.V. Evdokimova, E.P. Kotelevets,
A.I. Novak, V.V. Biryukov
The role of virulence factors of *Porphyromonas gingivalis* and *Tannerella forsythia* in pathogenesis of periodontal diseases: A review

171

- I.A. Gimranova, V.A. Gritsenko,
I.M. Rabinovich, G.M. Akmalova, D.Yu. Shvets
The role of oral microbiota in the etiology, pathogenesis of periodontitis and systemic pathology

179

T.V. Tsareva, E.V. Ippolitov, M.G. Kozodaev,
V.V. Tsareva, M.S. Podporin, V.N. Tsarev
Comparative characteristics of antimicrobial properties of titanium dioxide coating in the anatase form on the surface of titanium and its alloys

186

VladMiVa

VLADMIVA

"VladMiVa" company group

TBI
COMPANY

"TBI Company" LLC

Supported by



Russian Dentistry Association



Association of commercial and industrial enterprises of dentistry "Dental industry"

EDITORIAL

Editor-in-Chief: Marina Eliseeva

melis1@yandex.ru, editor@kstom.ru

Tel: +7 916 596-89-62

Proofreader, copy editor: Elena Makeeva

Tech. editor, layout and pre-press master: Anton Kapitannikov

PUBLISHER ADDRESS:

Svitsev Vrazhek per., 29/16, office 205,
119002, Moscow, Russia

Tel: +7 916 596-89-62

FOREIGN READERS BETTER WOULD SUBSCRIBE TO THE HIGH-QUALITY PRINT VERSION OF OUR JOURNAL VIA EDITORIAL OFFICE.

The journal is registered in the Department of press, broadcasting and mass media of the Russian Federation. Registration certificate: PR № 77-1934

All published articles are reviewed. An article can be published only after receiving a positive expert assessment from at least of 2 reviewers.

The advertiser is responsible for the advertising materials content. The article' authors are responsible for the accuracy of the information provided in the published materials.

Reprints permitted only with the written permission of the editorial board. "Clinical dentistry" journal exclusive materials are the property of LLC "Clinical dentistry".

Circulation is 4000 copies. Free price.

© "Clinical Dentistry (Russia)", 2025

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_6

Т.Н. Модина¹,

д.м.н., профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии и стоматологии

Д.А. Гилязиеva²,

начальник Управления контроля качества медицинской помощи

Е.В. Мамаева³,

д.м.н., профессор кафедры стоматологии детского возраста

К.М. Хабибуллин⁴,

врач-стоматолог

Р.И. Ахметзянова⁴,

врач-стоматолог

У. Курди⁵,

аспирант кафедры микробиологии

Г.Ю. Яковлева⁵,

к.б.н., доцент кафедры микробиологии

О.Н. Ильинская⁵,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой микробиологии

¹ НМХЦ им. Н.И. Пирогова,
105203, Москва, Россия² Страховая компания «Ак Барс-Мед»,
420124, Казань, Россия³ Казанский ГМУ, 420012, Казань, Россия⁴ Детская стоматологическая поликлиника № 9, 420103, Казань, Россия⁵ Казанский федеральный университет,
420008, Казань, Россия

Метагеном полости рта у условно здоровых и больных острым герпетическим стоматитом детей

Реферат. Острый герпетический стоматит (ОГС) — это наиболее часто встречаемое вирусное заболевание, составляющее около 90% всех заболеваний слизистой оболочки рта. Заболеваемость герпетической инфекцией связана не только с широким распространением вируса, но и с индивидуальными особенностями ребенка. Количественный и качественный состав микробных сообществ полости рта вносит значительный вклад в общее здоровье ребенка и в его восприимчивость к герпетической инфекции. **Цель исследования** — сравнительная оценка состава бактериальных сообществ полости рта детей в возрасте от 1,5 до 5 лет, условно здоровых и с ОГС, проживающих на территории Казани. **Материалы и методы.** Проведен метагеномный анализ образцов зубного налета 15 условно здоровых детей и 15 детей с ОГС. Предварительную обработку и последующий анализ последовательностей осуществляли с использованием конвейера Mothur на платформе Galaxy. Оценку функциональных профилей сообществ образцов зубного налета проводили с использованием инструмента Global Mapper на платформе iVikodak. **Результаты.** Классификация операционных таксономических единиц (ОТЕ) привела к получению в общей сложности 294 ОТЕ при сходстве 97%. Анализ структуры микробных сообществ зубного налета показал увеличение видового разнообразия у больных детей, ОТЕ в ней в 1,5 раза превышало количество ОТЕ в группе здоровых. В образцах зубного налета доминировали филумы *Bacillota*, *Pseudomonadota* и *Bacteroidota*. В зубном налете детей с ОГС в 1,6 раза выросло количество ОТЕ, принадлежащих к филуму *Pseudomonadota*, в 1,5 раза — к филуму *Actinobacteriota*, а количество бактерий, принадлежащих к филумам *Bacillota*, *Bacteroidota* и *Fusobacteriota*, снизилось в 1,5, 1,2 и 2,4 раза

соответственно по сравнению с их количеством у здоровых детей. Количество генов, отвечающих за определенные функции, у бактериального сообщества зубного налета детей с ОГС в среднем превышало $1,15 \pm 0,39$ раза количества генов у здоровых детей. **Заключение.** Метагеномный анализ позволил получить возможность расширенного таксономического анализа на основе секвенирования гена 16S рРНК у больных острым герпетическим стоматитом и у условно здоровых детей. Определены характерные филотипы, идентифицированы отдельные представители микробиомов, проведен анализ функционала бактериальных генов. Было зарегистрировано (не более чем вдвое) снижение количества бактерий родов *Carposutophaga* и *Fusobacterium* у больных ОГС и увеличение представителей родов *Prevotella*, *Bergeyella* и *Leptotrichia*. Количество бактериальных генов, опосредующих факторы патогенности, у больных детей имело тенденцию к увеличению по сравнению со здоровыми, однако вследствие высокой вариабельности индивидуальных образцов достоверное превышение установлено только для детерминант коклюша.

Ключевые слова: метагеном полости рта, условно здоровые дети, острый герпетический стоматит

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Модина Т.Н., Гилязиеva Д.А., Мамаева Е.В., Хабибуллин К.М., Ахметзянова Р.И., Курди У., Яковлева Г.Ю., Ильинская О.Н. Метагеном полости рта у условно здоровых и больных острым герпетическим стоматитом детей. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 6—11.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_6

T.N. Modina¹,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Pediatric dentistry Department

D.A. Giliazieva²,

head of the Medical care quality control administration

E.V. Mamaeva³,

PhD in Medical Sciences, full professor of the Pediatric dentistry Department

K.M. Khabibullin⁴,

dentist

Metagenome of the oral cavity in children who are relatively healthy and have acute herpetic stomatitis

Abstract. Acute herpetic stomatitis (AHS) is the most common viral disease, accounting for about 90% of all diseases of the oral mucosa. The incidence of herpes infection is associated not only with the widespread prevalence of the virus, but also with the individual characteristics of the child. The quantitative and qualitative composition of microbial communities in the oral cavity makes a significant contribution to both the overall health of the child and his susceptibility to herpes infection. **The aim of the study** is to comparatively assess the composition of bacterial

R.I. Akhmetzyanova⁴,

dentist

W. Kurdy⁵,

postgraduate at the Microbiology Department

G.Yu. Yakovleva⁵,

PhD in Biology, assistant professor of the Microbiology Department

O.N. Ilinskaya⁵,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Microbiology Department

¹ Pirogov National Medical & Surgical Center, 105203, Moscow, Russia

² "Ak Bars-Med" Insurance Company, 420124, Kazan, Russia

³ Kazan State Medical University, 420012, Kazan, Russia

⁴ Pediatric Dental Polyclinic no. 9, 420103, Kazan, Russia

⁵ Kazan Federal University, 420008, Kazan, Russia

communities in the oral cavity of children aged 1.5 to 5 years, relatively healthy and with AHS, living in Kazan (Russia). **Materials and methods.** Metagenomic analysis of dental plaque samples from 15 relatively healthy children and 15 children with AHS was carried out. Pre-processing and subsequent analysis of sequences were performed using the Mothur pipeline on the Galaxy platform. The functional profiles of dental plaque samples were assessed using the Global Mapper tool on the iVikodak platform. **Results.** Classification of operational taxonomic units (OTUs) resulted in a total of 294 OTUs with a similarity of 97%. Analysis of the structure of microbial plaque communities showed an increase in species diversity in sick children, with OTUs 1.5 times higher than in the healthy group. *Bacillota*, *Pseudomonadota*, and *Bacteroidota* were the dominant phyla in the plaque samples. In the dental plaque of children with AHS, the number of OTUs belonging to the phylum *Pseudomonadota* increased by 1.6 times, those belonging to the phylum *Actinobacteriota* by 1.5 times, and the number of bacteria belonging to the phyla *Bacillota*, *Bacteroidota* and *Fusobacteriota* decreased by 1.5, 1.2 and 2.4 times, respectively, compared to their number in healthy children. The number of genes responsible for certain functions in the bacterial community of dental plaque of children with AHS exceeded, on average, 1.15 ± 0.39 times the number of genes in healthy children. **Conclusions.** Metagenomic analysis made it possible to obtain the possibility of extended taxonomic analysis based on sequencing of the 16S rRNA gene in patients with acute herpetic stomatitis and conditionally healthy children. Characteristic phylotypes were determined, individual representatives of microbiomes were identified and an analysis of the functionality of bacterial genes was carried out. A decrease (no more than twofold) in the number of bacteria of the genera *Capnocytophaga* and *Fusobacterium* in patients with acute herpes simplex virus infection, and an increase in representatives of the genera *Prevotella*, *Bergeyella* and *Leptotrichia* were registered. The number of bacterial genes mediating pathogenicity factors in sick children tended to increase compared to healthy children, however, due to the high variability of individual samples, a reliable excess was found only for whooping cough determinants.

Key words: oral metagenome, conditionally healthy children, acute herpetic stomatitis

FOR CITATION:

Modina T.N., Giliazieva D.A., Mamaeva E.V., Khabibullin K.M., Akhmetzyanova R.I., Kurdy W., Yakovleva G.Yu., Ilinskaya O.N. Metagenome of the oral cavity in children who are relatively healthy and have acute herpetic stomatitis. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 6—11 (In Russian).

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_6

ВВЕДЕНИЕ

Острый герпетический стоматит (ОГС) — это наиболее часто встречаемое вирусное заболевание, составляющее около 90% всех заболеваний слизистой оболочки рта. Заболеваемость герпетической инфекцией связана не только с широким распространением вируса, но и с индивидуальными особенностями ребенка. В полости рта новорожденных встречаются микроорганизмы, характерные для родовых путей матери. В первые месяцы жизни детей на слизистой закрепляются микробы из пищевых продуктов и из окружающей среды, в частности молочнокислые бактерии, грибы рода *Candida*, стрептококки. В промежутках между зубами создаются анаэробные условия, способствующие изменению состава микробиоты, которая в дальнейшем также меняется в связи с развитием организма и особенностями питания. Количественный и качественный состав микробных сообществ полости рта вносит значительный вклад в общее здоровье ребенка и в его восприимчивость к герпетической инфекции. В связи с этим актуальным подходом к анализу клинической картины ОГС и диагностике тяжести его проявлений является оценка бактериальных сообществ полости рта условно здоровых и больных ОГС детей.

Цель исследования — сравнительная оценка изменения бактериального сообщества полости рта детей,

больных острым герпетическим стоматитом, в возрасте от 1,5 до 5 лет, проживающих на территории г. Казани (Республика Татарстан).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 30 участников (18 мальчиков и 12 девочек) европеоидного происхождения, проживающие на территории Казани. В исследование включали детей в возрасте 1,5—5 лет, I—II группы здоровья, с интактными зубами (отсутствие кариеса, его осложнений и некариозных поражений), ортогнатическим прикусом, без мукогингивальных аномалий. Критерии исключения: прием за 3 мес до исследования психотропных препаратов, антибиотиков, про- или пребиотики, специальной диеты. Детей разделили на 2 группы:

I — 15 условно здоровых ребенка с интактным пародонтом и здоровой слизистой оболочкой рта;

II — 15 детей с диагнозом «острый герпетический стоматит» (B00.2X по МКБ-10), который устанавливался на основании сбора анамнеза, эпидемиологии, клинических симптомов и подтверждался при ПЦР-диагностике.

Образцы зубного налета отбирали случайным образом более чем с 5 случайно выбранных зубов с использованием стерильных инструментов, микропробирок и бумажных штифтов в одно и то же время дня,

примерно через 2 часа после завтрака. Пробы помещали в микроцентрифужные пробирки объемом 2 мл и замораживали при -40°C .

ДНК из образцов выделяли с помощью набора QIAamp DNA Mini Kit Qiagen (Германия) согласно протоколу производителя.

Количественный анализ ДНК проводили с помощью спектрофотометра Nanodrop ND-2000 (Wilmington, США). Полученную ДНК амплифицировали с использованием универсальных праймеров, нацеленных на вариабельные области от V3 до V4 генов 16S рРНК. Амплификацию проводили в реакционных смесях по 10 мкл, каждая содержала по 5,0 мкл Hot Start High-Fidelity 2X Master Mix (New England Biolabs, США), 0,5 мкл смеси прямых и обратных праймеров (по 5 мкмоль), 2 мкл гДНК и 2,5 мкл воды. Секвенирование проводили с помощью системы MiSeq (Illumina, США). Продукты полимеразной цепной реакции (ПЦР) очищали с помощью набора магнитных частиц AgenCourt AMPure XP (Beckman Coulter, США).

Выделение ДНК гена 16S рРНК и ее секвенирование выполнено в Междисциплинарном центре протеомных исследований Казанского (Приволжского) федерального университета.

Предварительную обработку и последующий анализ последовательностей проводили с использованием конвейера Mothur [1] на платформе Galaxy [2]. Анализ данных проводился в соответствии с учебным пособием Galaxy Training [3] с модификацией удаления синглтонов (чтений последовательностей, которые происходят только 1 раз) из наборов данных для дальнейшего снижения частоты ошибок [4]. Прямые и обратные чтения были собраны в контиги, дубликаты последовательностей были сгруппированы для облегчения дальнейших операций. Последовательности с неоднозначными нуклеотидами, химерами и одиночными последовательностями были отфильтрованы.

Объединение в операционные таксономические единицы (ОТЕ) проводили при пороге идентичности 97% и классифицировали по базе данных SILVA138.1 [5]. Последовательности, отнесенные к эукариотам, митохондриям, хлоропластам и неизвестным таксонам, были исключены. Пересякающиеся ОТЕ между микробиомами образцов зубного налета условно здоровых и больных ОГС детей рассчитывали с помощью программы Venn на платформе Galaxy.

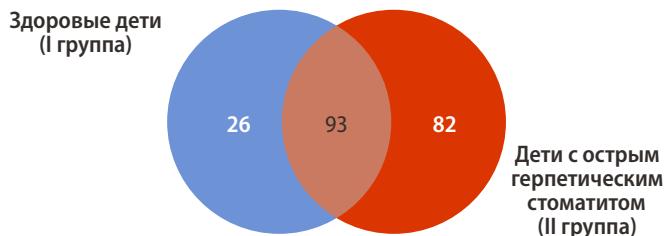


Рис. 1. Диаграмма Венна, описывающая распределение ОТЕ по образцам зубного налета
Fig. 1. Venn diagram describing the distribution of OTUs across dental plaque samples

Изучали метагеном образцов зубного налета и сравнивали биоразнообразие между группами с применением индексов Шеннона и Симпсона.

Оценку функциональных профилей сообществ образцов зубного налета детей проводили с использованием инструмента Global Mapper на платформе iVikodak [6]. Значения, полученные с использованием Global Mapper платформы iVikodak, представляют относительное количество функциональных генов в соответствии с KEGG (Kyoto Encyclopedia генов и геномов).

При статистической обработке результатов данные исследований рассматривали как выборку распределения случайной величины, подчиняющейся биноминальному распределению. Для проверки значимых различий между средними значениями групп данных был использован односторонний дисперсионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Классификация таксономических единиц привела к получению в общей сложности 294 ОТЕ при сходстве 97%. Все бактерии были определены на 100% на уровне филумов, классов и порядков, на уровне семейства — в среднем на $99,21 \pm 0,08\%$, на уровне родов — на $98,10 \pm 0,02\%$ и на уровне видов для детей I группы — на $15,76 \pm 6,65\%$, для больных ОГС — на $23,57 \pm 10,18\%$. Анализ структуры микробных сообществ зубного налета показал увеличение видового разнообразия у II группы, ОТЕ в которой в 1,5 раза превышало количество ОТЕ в I группе (табл. 1). Однако статистически значимых различий в разнообразии (индекс Симпсона) и равномерности распределения таксонов в выборке (индекс Шеннона) между двумя группами не выявлено. Согласно индексу Брея—Кертиса несходство между этими группами составляло 0,626. Обеим группам принадлежало 93 ОТЕ, из них 8,8% от всех выделенных ОТЕ только к I группе и 27,9% — только к больным ОГС (рис. 1). Стоит отметить, что только 23 ОТЕ были общими для всех детей в I группе и 27 — во II группе.

Все ОТЕ были распределены по 11 филумам, среди них доминировали филумы *Bacillota*, *Pseudomonadota* и *Bacteroidota*. В зубном налете детей, страдающих ОГС, в 1,6 раза возросло количество ОТЕ, принадлежащих к филуму *Pseudomonadota* (36,8% у II группы к 23,1% у I группы). Также отмечали увеличение в 1,5 раза количества ОТЕ, относящихся к филуму *Actinobacteriota* у больных детей. Количество бактерий, принадлежащих к филумам *Bacillota*, *Bacteroidota* и *Fusobacteriota*,

Таблица 1. Разнообразие и богатство бактериальных сообществ зубного налета детей в возрасте от 1,5 до 5 лет

Table 1. Diversity and richness of bacterial communities in dental plaque of children aged 1.5 to 5 years

	I группа	II группа
Количество ОТЕ	119	175
Индекс Симпсона	0,92	0,93
Индекс Шеннона	3,29	3,45
Равномерность распределения видов в сообществе, H/S	0,23	0,18

снижалось у детей II группы в 1,5; 1,2 и 2,4 раза соответственно по сравнению с их количеством в зубном налете здоровых детей (рис. 2).

С помощью одностороннего дисперсионного анализа было показано, что статистические различия между группами на уровне филумов отмечали только для представителей филума *Pseudomonadota* ($p=0,03$).

Наибольшее число бактерий филума *Pseudomonadota* отнесено к родам *Neisseria* и *Haemophilus* (рис. 3А). Количество бактерий, принадлежащих к роду *Neisseria*, в зубном налете детей II группы в 1,2 раза превышало их количество у I группы и составляло 53% от общего количества ОТЕ филума *Pseudomonadota*. Количество бактерий, принадлежащих роду *Haemophilus*, снизилось в 2,3 раза в II группе по сравнению с I группой и составило лишь 17,5% от общего количества ОТЕ филума *Pseudomonadota*. Однако некоторые представители этого рода присутствовали только во II группе, у детей с ОГС. Так, у 60% данной группы идентифицировали *Haemophilus sputorum*.

Наибольшее число бактерий филума *Bacillota* было отнесено к роду *Streptococcus*. Их количество составляло $61,2 \pm 11,7$ в образцах I группы и $60,8 \pm 8,8$ во II группе (рис. 3В). Несмотря на то что количество бактерий рода *Streptococcus* в зубном налете исследуемых групп достоверно не отличалось, было отмечено их качественное различие. Так, в зубном налете у 60% II группы была идентифицирована *Streptococcus mutans* и у 80% — *S. salivarius*. Данные микроорганизмы не были идентифицированы у детей I группы. По сравнению с I группой в зубном налете II группы отмечено увеличение в 2,1 раза бактерий, принадлежащих к роду *Veillonella*, и снижение в 2,2 раза бактерий рода *Gemella*.

Известно, что *S. mutans* и *S. sobrinus* связаны с развитием кариеса зубов. Однако *S. mutans* не всегда является доминирующим видом у пациентов с кариесом. При низком уровне *S. mutans* отмечается повышенение уровня *S. salivarius*, *S. sobrinus* и *S. parasanguinis*. Считается, что данные виды являются альтернативными патогенами, вызывающими кариес [7]. Однако известны некоторые штаммы *S. salivarius*, такие как *S. salivarius* M18 и K12, которые благодаря набору определенных ферментов (уреаза и декстраназа) могут способствовать снижению pH в ротовой полости и образованию зубного налата. Уреаза, расщепляя мочевину, способствует восстановлению pH до физиологических величин, а декстраназа расщепляет декстран, который является основой зубного налата и питательным компонентом для *S. mutans*. Кроме того, *S. salivarius* M18 обладает

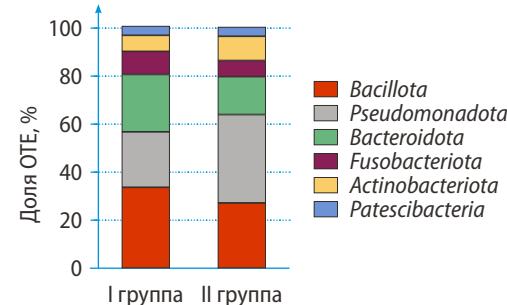
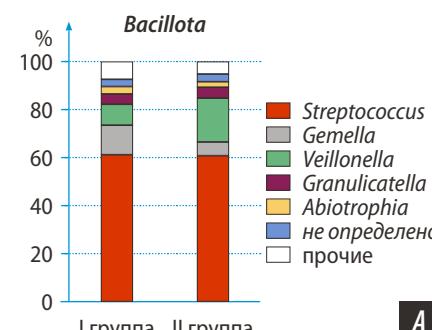


Рис. 2. Анализ метагенома образцов зубного налата на уровне филумов. Представителей со встречаемостью менее 1% отнесли к группе «Прочее»

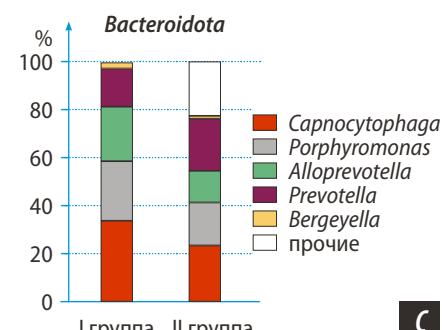
Fig. 2. Metagenome analysis of dental plaque samples at the phylum level. Representatives with an occurrence of less than 1% were assigned to the “Other” group

антимикробной активностью против *S. mutans* и других возбудителей инфекций полости рта, таких как *Porphyromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* и *Fusobacterium nucleatum*.

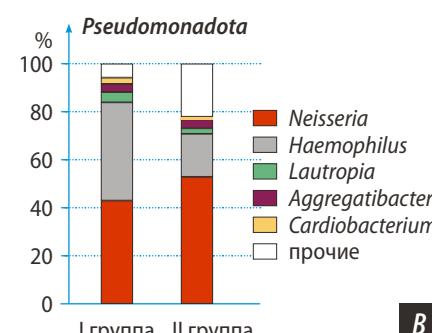
Различные виды *Veillonella* способствуют адгезии *S. mutans* и метаболизируют лактат, который вырабатывается стрептококками. Они также играют важную роль в формировании микробной биопленки пародонта, вступая в коагрегацию с первичными, промежуточными и поздними колонизаторами, в том числе с такими пародонтопатогенами, как *F. nucleatum* и *P. gingivalis*. Вейлонеллы участвуют в образовании липополисахаридов и сероводорода при пульпите, периапикальном



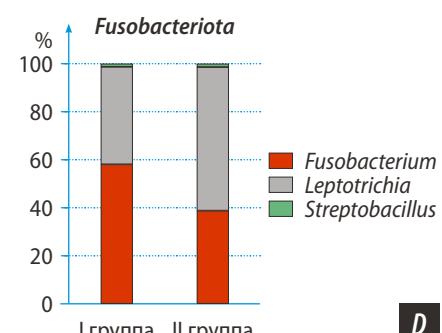
A



C



B



D

Рис. 3. Анализ метагенома образцов зубного налата здоровых детей и детей с острым герпетическим стоматитом на уровне родов для филумов: А — *Bacillota*; Б — *Pseudomonadota*; С — *Bacteroidota*; Д — *Fusobacteriota*. Представителей со встречаемостью менее 1% отнесли к группе «Прочее»

Fig. 3. Metagenome analysis of dental plaque samples from healthy children and children with acute herpetic stomatitis at the genus level for the phyla: A — *Bacillota*; B — *Pseudomonadota*; C — *Bacteroidota*; D — *Fusobacteriota*. Representatives with an occurrence of less than 1% were assigned to the “Other” group

периодонтиите и галитозе. *Veillonella spp.* является важным компонентом микробиома полости рта, может рассматриваться как стабилизирующий компонент и как индикатор нарушений метаболической ситуации в экосистеме ниши [8].

Среди бактерий, принадлежащих к филуму *Vacteroidota*, достоверное различие между двумя группами отмечали только для рода *Alloprevotella* (рис. 3С). В зубном налете II группы количество принадлежащих к этому роду бактерий снизилось в 1,7 раза по сравнению с I группой. К сожалению, определить представителей данного рода до вида не удалось. Также отмечено снижение количества бактерий рода *Capnocytophaga* (в 1,4 раза) и увеличение представителей родов *Prevotella* (в 1,4 раза) и *Bergeyella* (в 2 раза).

Среди бактерий филума *Fusobacteriota* в зубном налете II группы по сравнению с I группой в 1,5 раза увеличилось количество бактерий, принадлежащих к роду *Leptotrichia*, и в 1,5 раза уменьшилось бактерий рода *Fusobacterium* (рис. 3Д). В 80% образцов обеих групп были идентифицированы *Leptotrichia hongkongensis*, в 50% — *L. buccalis* и в 60% — *Fusobacterium periodonticum*. При распределении результатов определения метагенома пародонтальных пространств в постковидный период

Таблица 2. Функциональные профили бактериальных сообществ в образцах зубного налата (первый и второй уровни)

Table 2. Functional profiles of bacterial communities in dental plaque samples from healthy children (first and second levels)

Функция	Здоровые дети (I группа)	Дети с острым герпетическим стоматитом (II группа)
Метаболизм	101087,7	106418,9
Обработка генетической информации	23283,0	24027,9
Болезни человека	17711,6	18626,5
Метаболизм углеводов	21833,9	22290,1
Обмен липидов	5962,1	6421,9
Метаболизм кофакторов и витаминов	10443,6	11108,9
Энергетический обмен веществ	8891,9	9567,6
Обмен аминокислот	14671,2	16415,9
Обмен нуклеотидов	9743,2	9853,1
Биосинтез других вторичных метаболитов	8011,4	8525,6
Биосинтез и метаболизм гликанов	7023,5	6806,2
Анти микробная лекарственная устойчивость	3774,5	3871,5
Мембранный транспорт	2279,4	2289,6
Клеточное сообщество	3376,1	3576,8
Подвижность клеток	861,4	878,1
Репликация и репарация	12043,2	12457,5
Сенсорная система	102,9	112,4
Эндокринные и метаболические заболевания	2438,2	2645,8
Бактериальные инфекционные заболевания	3469,8	3706,5

на известные микробные пародонтальные комплексы выявлено уменьшение относительного обилия пародонтопатогенов 1-го и 2-го порядка (в 3 и 1,38 раза соответственно) на фоне увеличения в 2,9 раза микроорганизмов-комменсалов (*Actinomyces*, *Corynebacterium*, *Leptotrichia*), что может говорить о каскаде воспалительной реакции и смене микрофлоры рта на фоне снижения местного или общего иммунитета у пациента [9].

С помощью модуля Global Mapper платформы iVikodak были спрогнозированы функциональные характеристики бактериальных сообществ зубного налета. Учитывая совокупность генетических детерминант микробных сообществ зубного налета, определяли относительное количество генов, ответственных за выполнение тех или иных функций. Первый и второй уровни функциональных профилей определяют наличие генетических детерминант, ответственных за уровень секреции метаболитов и инфекционности, а также за устойчивость к антибиотикам. Естественно, что основные функции связаны с метаболизмом питательных субстратов, поэтому представлены значительным количеством генов (табл. 2). Оба сообщества обладали устойчивостью к β -лактамам, ванкомицину и препаратам платины, а также были способны вызывать различные бактериальные инфекции (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует отметить, что количество генов, отвечающих за определенные функции у бактериального сообщества

Таблица 3. Функциональные профили бактериальных сообществ в образцах зубного налата (третий уровень)

Table 3. Functional profiles of bacterial communities in dental plaque samples (third level)

Функция	Здоровые дети (I группа)	Дети с острым герпетическим стоматитом (II группа)
Устойчивость к β -лактамам	1099,3	1122,1
Устойчивость к ванкомицину	1010,6	1045,5
Устойчивость к препаратам платины	1250,7	1309,4
Чувство кворума	2092,9	2225,1
Бактериальный хемотаксис	344,4	363,0
Деградация РНК	1784,8	1848,8
РНК-полимераза	323,9	335,3
Система бактериальной секреции	738,0	754,0
Апоптоз	216,8	211,7
Взаимодействие с патогенами растений	255,9	283,3
Инвазия бактерий в эпителиальные клетки	123,9	127,0
Патогенная инфекция <i>Escherichia coli</i>	514,6	544,7
Шигеллез	119,9	123,4
Инфекция сальмонеллезом	119,9	123,4
Коклюш	154,4	157,2
Легионеллез	826,9	942,6
Инфекция <i>Staphylococcus aureus</i>	354,1	370,5

зубного налета II группы, в среднем в $1,15 \pm 0,39$ раза превышало количество генов у здоровых детей. Дисперсионный анализ на детерминанты устойчивости к антимикробным препаратам и бактериальные инфекционные заболевания (из второго уровня) не показали значительных различий между группами ($p=0,654$ и $0,137$ соответственно). Дисперсионный анализ по некоторым детерминантам третьего уровня, таким как резистентность к β -лактамам, устойчивость к ванкомицину, чувство кворума, бактериальный хемотаксис, бактериальные системы секреции, бактериальная инвазия эпителиальных клеток и инфекция *Staphylococcus aureus* также не показал достоверных отличий. Хотя представленность функционала генов, определяющих патогенные свойства бактерий, имела тенденцию к увеличению у больных детей, только для детерминант коклюша было выявлено достоверное различие ($p=0,040$) между двумя группами. В выборке метагеномных образцов найдены количественные различия между здоровыми и больными детьми: снижение количества бактерий родов *Capnocytophaga* и *Fusobacterium* у больных ОГС и увеличение представителей родов *Prevotella*, *Bergeyella* и *Leptotrichia*. Зарегистрированные изменения не превышали уровня в 2 раза, однако, например, аутохтонные бактерии рода *Prevotella*, расщепляющие глюкозу с образованием смеси кислот, являются активными продуцентами протеолитических ферментов, а вид *P. melaninogenica* постоянно присутствует в пародонтальных карманах у взрослых.

Таким образом, несмотря на значительные индивидуальные различия в исследуемых образцах, можно заключить, что наличие бактериальных таксонов

с повышенным патогенным потенциалом связано с наличием герпетической инфекции, а возможно, даже является ее предпосылкой.

ВЫВОДЫ

Метагеномный анализ позволил получить расширенный таксономический анализ на основе секвенирования гена 16S рРНК у больных ОГС и у условно здоровых детей. Определены характерные филотипы, идентифицированы отдельные представители микробиомов, проведен анализ функционала бактериальных генов. Зарегистрировано (не более чем вдвое) снижение количества бактерий родов *Capnocytophaga* и *Fusobacterium* у больных ОГС и увеличение представителей родов *Prevotella*, *Bergeyella* и *Leptotrichia*. Количество бактериальных генов, опосредующих факторы патогенности, у больных детей имело тенденцию к увеличению по сравнению со здоровыми, однако вследствие высокой вариабельности индивидуальных образцов достоверное превышение установлено только для детерминант коклюша.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках программы «Приоритет-2030».

FUNDING

The research was carried out within the framework of the "Priority 2030" program.

Поступила/Received: 30.07.2024

Принята в печать/Accepted: 03.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Schloss P.D., Westcott S.L., Ryabin T., Hall J.R., Hartmann M., Hollister E.B., Lesniewski R.A., Oakley B.B., Parks D.H., Robinson C.J., Sahl J.W., Stres B., Thallinger G.G., Van Horn D.J., Weber C.F. Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. — *Appl Environ Microbiol.* — 2009; 75 (23): 7537—41. [PMID: 19801464](#)
- Afgan E., Baker D., Batut B., van den Beek M., Bouvier D., Cech M., Chilton J., Clements D., Coraor N., Grüning B.A., Guerler A., Hillman-Jackson J., Hiltemann S., Jalili V., Rasche H., Soranzo N., Goecks J., Taylor J., Nekrutenko A., Blankenberg D. The Galaxy platform for accessible, reproducible and collaborative biomedical analyses: 2018 update. — *Nucleic Acids Res.* — 2018; 46 (W1): W537—W544. [PMID: 29790989](#)
- Batut B., et al. Community-driven data analysis training for biology. — *Cell Syst.* — 2018; 6 (6): 752—758.e1. [PMID: 29953864](#)
- Caporaso J.G., Lauber C.L., Walters W.A., Berg-Lyons D., Lozupone C.A., Turnbaugh P.J., Fierer N., Knight R. Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. — *Proc Natl Acad Sci USA.* — 2011; 108 (Suppl 1): 4516—22. [PMID: 20534432](#)
- Quast C., Pruesse E., Yilmaz P., Gerken J., Schweer T., Yarza P., Peplies J., Glöckner F.O. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. — *Nucleic Acids Res.* — 2013; 41 (Database issue): D590—6. [PMID: 23193283](#)
- Nagpal S., Haque M.M., Singh R., Mande S.S. iVikodak-A platform and standard workflow for inferring, analyzing, comparing, and visualizing the functional potential of microbial communities. — *Front Microbiol.* — 2018; 9: 3336. [PMID: 30692979](#)
- Gross E.L., Beall C.J., Kutsch S.R., Firestone N.D., Leys E.J., Griffen A.L. Beyond *Streptococcus mutans*: dental caries onset linked to multiple species by 16S rRNA community analysis. — *PLoS One.* — 2012; 7 (10): e47722. [PMID: 23091642](#)
- Saganova T.R., Tsarev V.N., Gianni A.B., Signorini L., Cavallé E. The importance of *Veillonella* in the oral microbiome and its impact on dental and periodontal pathology: a literature review. — *Parodontologiya.* — 2023; 3: 218—226. [DOI: 10.33925/1683-3759-2023-792](#)
- Цинеккер Д.Т., Модина Т.Н., Хусаинов И.Х., Цинеккер Д.А., Грибова Я.В., Набиева З.И., Мамаева Е.В. Особенности микробиома полости рта при ассоциации пародонтита и кандидоза в постковидном периоде. — *Клиническая стоматология.* — 2023; 3: 38—44. [Tsinekker D.T., Modina T.N., Khusainov I.H., Tsinekker D.A., Gribova Ya.V., Nabieva Z.I., Mamaeva E.V. Features of the oral microbiome in the association of periodontitis and candidiasis in the postcovid period. — *Clinical Dentistry (Russia).* — 2023; 3: 38—44 (In Russian)]. [eLibrary ID: 54509006](#)

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_12

A.В. Федорова¹,

врач-ортодонт

Л.Н. Солдатова^{2,3},

д.м.н., профессор кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии; старший преподаватель кафедры и клиники челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

В.С. Солдатов¹,

врач-стоматолог

А.К. Иорданишвили^{3,4},

д.м.н., профессор кафедры и клиники челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии; зав. кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, начальник Центра стоматологического образования

¹ Стоматологическая клиника «Альфа-Дент», 190005, Санкт-Петербург, Россия² ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, 197022, Санкт-Петербург, Россия³ ВМА им. С.М. Кирова, 194044, Санкт-Петербург, Россия⁴ Санкт-Петербургский медико-социальный институт, 195271, Санкт-Петербург, Россия**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Федорова А.В., Солдатова Л.Н., Солдатов В.С., Иорданишвили А.К. Эффективность применения комплекса реминерализующих средств в период ортодонтического лечения. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 12—16. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_12

Эффективность применения комплекса реминерализующих средств в период ортодонтического лечения

Реферат. Возможность проведения реминерализующей терапии одновременно с ортодонтическим лечением является неоспоримым достоинством применения съемной ортодонтической аппаратуры — элайнеров. Средство, обладающее реминерализующим свойством, должно иметь приятный вкус, быть в меру текучим и бесцветным, а также не оказывать раздражающего действия на слизистую оболочку полости рта. Этим характеристикам как нельзя лучше соответствуют средства для индивидуальной гигиены в виде геля. На сегодняшний день в арсенале стоматологов имеется весьма большой ассортимент реминерализующих средств на гелевой основе, вследствие чего проблема рационального выбора наиболее эффективного и подходящего средства является актуальной. **Цель работы** — обосновать применение зубной пасты R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho и реминерализующего геля R.O.C.S. Medical Minerals у пациентов, проходящих ортодонтическое лечение на элайнерах. **Материалы и методы.** Под наблюдением в течение 12 месяцев находились 70 пациентов в возрасте от 18 до 44 лет, которые проходили лечение с помощью элайнеров. В I группу вошли 32 человека, которые использовали привычные средства гигиены для полости рта. Пациентам II группы (38 человек) был рекомендован реминерализующий комплекс средств индивидуальной гигиены полости рта из зубной пасты R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho и реминерализующего геля R.O.C.S. Medical Minerals за месяц до начала ношения элайнеров и на протяжении всего периода исследования. Уровень гигиены полости рта оценивали по индексу зубного налета Квигли—Хайна (1962) и ТЭР-теста Окушко—Косаревой (1983). Противовоспалительное действие оценивали с помощью индекса PMA (Parma, 1960). Обследование и измерение указанных показателей проводили за 1 месяц до установки элайнеров и через 1, 3 и 12 месяцев после их установки. **Результаты.** Во II группе индекс зубного налета Квигли—Хайна через 1 месяц улучшился до 1,16 балла, через 3 месяца — до 1,32 балла и на протяжении всего исследования оставался на высоком уровне (1,41 балла). ТЭР-тест во II группе продемонстрировал повышение кислотоустойчивости эмали и составил через 1 месяц наблюдения — 3,3, через 3 месяца — 2,6 и через 12 месяцев — 2,9, что соответствует увеличению реминерализующей эффективности через 1 месяц на 39%, через 3 месяца на 52% и через 12 месяцев на 46% от исходного. Динамика изменения индекса PMA во II группе составила 5% через 1 месяц применения рекомендованного комплекса зубной пасты R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho и геля реминерализующего R.O.C.S. Medical Minerals, 9% через 3 месяца и 15% через 12 месяцев от начала наблюдения. **Заключение.** Комплекс зубной пасты R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho и реминерализующего геля R.O.C.S. Medical Minerals показал достоверно высокую эффективность применения у пациентов, проходивших ортодонтическое лечение с помощью элайнеров. Его можно рекомендовать к применению на протяжении всего периода ортодонтического лечения.

Ключевые слова: ортодонтическое лечение, индивидуальная гигиена полости рта, противовоспалительные зубные пасты, реминерализация, кариесрезистентность

Effectiveness of using a complex of remineralizing agents during orthodontic treatment

Abstract. The possibility of conducting remineralizing therapy simultaneously with orthodontic treatment is an undeniable advantage of using removable orthodontic appliances — aligners. A product with remineralizing properties should have a pleasant taste, be moderately fluid and colorless, and not irritate the oral mucosa. Gel-based personal hygiene products best meet these characteristics. Today, dentists have a very large range of gel-based remineralizing products at their disposal, which is why the problem of rationally choosing the most effective and suitable product is relevant. **The aim** of the work is to substantiate the use of R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho toothpaste and R.O.C.S. Medical Minerals remineralizing gel in patients undergoing orthodontic treatment with aligners. **Materials and methods.** Seventy patients aged 18 to 44 years who were treated with aligners were observed for 12 months. Group I included 32 people who used

A.V. Fedorova¹,

orthodontist

L.N. Soldatova^{2,3},

Doctor of Science in Medicine, professor of the Pediatric dentistry and orthodontics Department; senior lecturer of the Department and Clinic of Maxillofacial Surgery and Surgical Dentistry

V.S. Soldatov¹,

dentist

A.K. Jordanishvili^{3,4},

Doctor of Science in Medicine, professor of the Department and Clinic of Maxillofacial Surgery and Surgical Dentistry; full professor

of the Oral and maxillofacial surgery Department

¹ Dental Clinic "Alfa-Dent",
190005, Saint-Petersburg, Russia

² Pavlov University,
197022, Saint-Petersburg, Russia

³ Military Medical Academy,
194044, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Saint-Petersburg Medico-Social Institute,
195271, Saint-Petersburg, Russia

FOR CITATION:

Fedorova A.V., Soldatova L.N., Soldatov V.S., Jordanishvili A.K. Effectiveness of using a complex of remineralizing agents during orthodontic treatment. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 12—16 (In Russian).

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_12

their usual oral hygiene products. Patients of Group II (38 people) were recommended a remineralizing complex of personal oral hygiene products consisting of R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho toothpaste and R.O.C.S. Medical Minerals remineralizing gel one month before wearing the aligners and throughout the study period. The level of oral hygiene was assessed using the Quigley-Heine plaque index (1962) and the Okushko-Kosareva TER test (1983). The anti-inflammatory effect was assessed using the PMA index (Parma, 1960). The examination and measurement of the specified indicators were carried out 1 month before the installation of the aligners and 1, 3 and 12 months after their installation. **Results.** In Group II, the Quigley-Hein plaque index improved to 1.16 points after 1 month, to 1.32 points after 3 months, and remained at a high level (1.41 points) throughout the study. The TER test in Group II demonstrated an increase in enamel acid resistance and was 3.3 after 1 month of observation, 2.6 after 3 months, and 2.9 after 12 months, which corresponds to an increase in remineralizing efficiency by 39% after 1 month, 52% after 3 months, and 46% after 12 months from the initial value. The dynamics of the PMA index change in Group II was 5% after 1 month of using the recommended R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho toothpaste and R.O.C.S. Medical Minerals remineralizing gel 9% after 3 months of the study and 15% after 12 months from the start of the observation. **Conclusion.** The combination of R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho toothpaste and R.O.C.S. Medical Minerals remineralizing gel demonstrated reliably high efficiency in patients undergoing orthodontic treatment with aligners. It can be recommended for use throughout the entire period of orthodontic treatment.

Key words: orthodontic treatment, retention period, individual oral hygiene, anti-inflammatory toothpastes, remineralization, caries resistance

ВВЕДЕНИЕ

Ортодонтическое лечение во взрослом возрасте является одной из составляющих заботы пациента о своем стоматологическом здоровье. По данным многочисленных исследователей, количество зубочелюстных аномалий неуклонно растет, и все же лидирующие позиции по-прежнему занимают карIES и его осложнения, а также заболевания пародонта [1, 2]. Учитывая данные аспекты стоматологического здоровья, особое внимание необходимо уделять профилактике развития очаговой деминерализации твердых тканей зубов и заболеваний пародонта во время ортодонтического лечения.

В литературе имеются многочисленные сведения о том, что уже на начальных этапах ортодонтического лечения происходит снижение минерализующей функции слюны и увеличение степени поражения зубов карIESом [3—5]. Длительное нахождения несъемной ортодонтической аппаратуры в полости рта провоцирует развитие очаговой деминерализации эмали более чем в 3 раза [6, 7]. Структура эмали может повреждаться также при дебондинге замков, кнопок и удалении остатков адгезива во время лечения [8]. Качество гигиенических мероприятий и применяемая ортодонтическая аппаратура тоже напрямую влияют на состояние тканей пародонта на протяжении всего лечения [3, 6, 9].

Отечественные и зарубежные авторы отмечают связь между уровнем и качеством индивидуальной гигиенической процедуры в полости рта в период ортодонтического лечения и связанного с ними гингивита [8, 9]. У 10% обследуемых на фоне неудовлетворительной гигиены полости рта происходила гипертрофия зубодесневых сосочков [9]. Все это подтверждает необходимость проведения комплекса профилактических мероприятий с использованием реминерализующих средств в течение всего периода ортодонтического лечения [10, 11].

Для сохранения структуры твердых тканей зубов у пациентов любого возраста для исправления зубоче-

люстных аномалий все чаще стали применять съемные индивидуальные капы (элайнеры), ставшие альтернативой брекет-системе [10, 12]. Выбор в пользу элайнеров обусловлен удобством их применения, эстетичностью, возможностью профилактики очаговой деминерализации эмали, своевременной санации полости рта и другими факторами, влияющими на общее состояние и самочувствие пациента в период ортодонтического лечения.

В работах по сравнительному изучению качества жизни пациентов при применении элайнеров приведенные интегральные показатели достоверно лучше, чем при лечении несъемной ортодонтической аппаратурой (брекетами). К данным показателям относятся ухудшение общего самочувствия, изменение пищевых привычек, неловкость при общении, раздражение десен и т.д. [3, 6, 13]. Возможность проведения реминерализующей терапии одновременно с ортодонтическим лечением является неоспоримым достоинством применения элайнеров. Однако средство, обладающее реминерализующим свойством, не должно оказывать раздражющего действия на слизистую оболочку полости рта, должно быть приятным на вкус, в меру текучим и бесцветным [13]. Этим характеристикам как нельзя лучше соответствуют средства для индивидуальной гигиены в виде геля. На сегодняшний день в арсенале стоматологов имеется большой ассортимент реминерализующих средств на гелевой основе, вследствие чего проблема рационального выбора наиболее эффективного и подходящего средства является актуальной.

Новая зубная паста в линии R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho была специально разработана для пациентов, получающих ортодонтическое лечение. Высокое качество очищения достигается уникальной многоступенчатой системой макрограмул, при этом эмаль не подвергается излишней травматизации. Удаление налета происходит не только механическим, но и ферментативным способом, к тому же гель не содержит фтора, парабенов, красителей и лаурилсульфата натрия.

Реминерализующая терапия с гелем R.O.C.S. Medical minerals улучшает цвет зубов и укрепляет эмаль (изменение цвета зарегистрировано в 90% случаев). Подтвержденный факт осветления зубов является важнейшим фактором мотивации пациентов к проведению реминерализации эмали [2, 6, 9]. Гель наносят только на чистые зубы с целью профилактики образования зубного камня. Во время проведения аппликаций следует выбирать зубную пасту без фтора. Использование геля с индивидуальной каппой повышает его эффективность.

Цель работы — обосновать применение комплекса средств для индивидуальной гигиены рта, состоящего из зубной пасты R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho и геля реминерализующего R.O.C.S. Medical Minerals, у пациентов, проходящих ортодонтическое лечение на съемной ортодонтической аппаратуре (элайнерах).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Под динамическим наблюдением в течение 12 месяцев находились 70 пациентов в возрасте от 18 до 44 лет, проходивших лечение с помощью съемной ортодонтической аппаратуры (элайнеров). Перед началом наблюдения всем пациентам проводили профессиональную гигиену полости рта, обучали их правилам индивидуальной гигиены полости рта, давали рекомендации по питанию, уходу за полостью рта и ортодонтическими конструкциями.

Критерии включения в исследование: отсутствие заболеваний пародонта, хороший и удовлетворительный уровень гигиены, отсутствие хронических очагов инфекции или хронических соматических заболеваний.

Критерии исключения: беременность, прием лекарственных средств, изменяющих физиологические свойства слюны, неудовлетворительная гигиена полости рта, нуждаемость в лечении тканей пародонта, курение.

Обследуемые были распределены на 2 группы:

- I — 32 человека использовали привычные средства гигиены для полости рта (контрольная группа);
- II — 38 человек за месяц до начала ношения элайнеров и на протяжении всего периода исследования применяли комплекс средств для индивидуальной гигиены полости рта — зубную пасту R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho и реминерализующий гель R.O.C.S. Medical Minerals.

При появлении во время наблюдения у пациентов II группы воспаления десны, кровоточивости или травмы слизистой оболочки полости рта реминерализующий комплекс заменяли комбинацией средств

из противовоспалительной зубной пасты для утреннего и дневного использования R.O.C.S. Periodont, а в качестве индивидуальной гигиены полости рта перед сном было рекомендовано продолжать использовать зубную пасту R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho.

Уровень гигиены полости рта оценивали с помощью индекса зубного налета Квигли—Хейна (G.A. Quigley, J.W Hein; 1962), кариесрезистентность эмали определяли с помощью теста эмалевой резистентности (ТЭР) по В.Р. Окушко и Л.И. Косаревой (1983), противовоспалительное действие оценивали с помощью индекса РМА (C. Parma, 1960). Пациентов обследовали до ортодонтического лечения (за 1 месяц до установки аппаратуры) и через 1, 3 и 12 месяцев после установки элайнеров.

При статистической обработке результатов достоверность различий средних величин независимых выборок оценивали при помощи непараметрического критерия Манна—Уитни при отличии от нормального распределения показателей. При проверке на нормальность распределения использовали критерий Шапиро—Уилкса. Статистическая обработка проведена с использованием χ^2 -критерия Пирсона для анализа непараметрических данных. Во всех процедурах статистического анализа вычисляли достигнутый уровень значимости, за критический уровень значимости принималось $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во время ортодонтического лечения важную роль необходимо отводить качественной гигиене полости рта. Так, анализ распространенности кариеса Н.Ю. Брусенцова и В.Н. Рыжевой (2021) показал наличие кариозных полостей у 49% обследованных [14]. В связи с этим основная задача на протяжении всего периода ортодонтического лечения — поддержание здоровья полости рта.

Во II группе уже через месяц от начала наблюдения было отмечено улучшение показателей индекса зубного налета Квигли—Хейна от удовлетворительного до хорошего, и он оставался на данном уровне в течение всего времени наблюдения. В то же время в I группе этот показатель остался на прежнем удовлетворительном уровне в течение всех 12 месяцев (табл. 1, рис. 1).

При оценке эффективности применения реминерализующего геля у подростков, проходящих ортодонтическое лечение, отмечено улучшение показателей индекса зубного налета Квигли—Хейна в I группе, в то время как во II группе показатели остались на прежнем уровне.

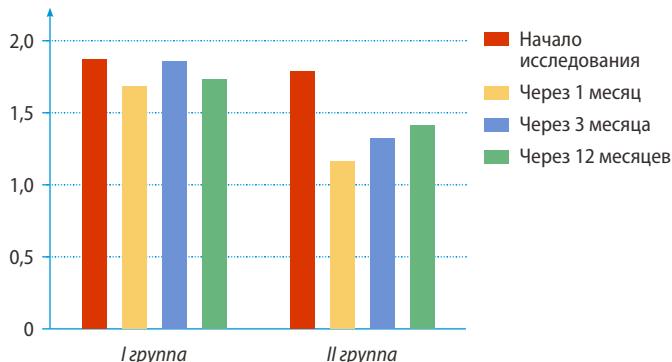


Таблица 1. Индекс зубного налета Квигли—Хейна, баллы
Table. 1. G.A. Quigley and J.W Hein plaque index (points)

Этап наблюдения	I группа	II группа
Начало исследования	1,87±0,05	1,79±0,07
Через 1 месяц	1,68±0,04	1,70±0,06
Через 3 месяца	1,86±0,03	1,70±0,06
Через 12 месяцев	1,73±0,07	1,41±0,04

Примечание. Все межгрупповые различия статистически достоверно значимы ($p \leq 0,05$).

Рис. 1. Динамика изменения индекса зубного налета Квигли—Хейна
Fig. 1. Dynamics of Quigley—Hein plaque index

Таблица 2. Тест резистентности эмали, баллы
Table. 2. Enamel resistance test (points)

Этап наблюдения	I группа	II группа
Начало исследования	5,30±0,07	5,40±0,14
Через 1 месяц	4,60±0,11	3,30±0,06
Через 3 месяца	4,80±0,04	2,60±0,05
Через 12 месяцев	4,10±0,04	2,90±0,05

Примечание. Все межгрупповые различия статистически достоверно значимы ($p \leq 0,05$).

ческое лечение с помощью элайнеров на протяжении 1 месяца, М.М. Сайпеева и соавт. (2021) зафиксировали уменьшение показателей ИГР-У на 24,75%, РМА — на 44,33%, ТЭР — на 17,11% [13]. Проведенное нами исследование подтверждает эффективность использования реминерализующего геля в качестве дополнительного средства гигиены у взрослых пациентов. Применение комплекса зубной пасты и реминерализующего геля продемонстрировало улучшение показателей кариесрезистентности эмали во II группе, способствуя повышению реминерализующей эффективности от умеренной кислотостойчивости до высокой, в то время как у пациентов I группы показатель остался на уровне умеренной кислотостойчивости эмали (табл. 2). В результате был сделан вывод о высокой реминерализующей эффективности использования данного комплекса во II группе: в сравнении с показателем до лечения через 1 месяц резистентность эмали улучшилась в среднем на 39%, через 3 месяца — на 52%, через 12 месяцев — на 46% (рис. 2).

При исследовании распространенности заболеваний пародонта С.Б. Улитовский и А.В. Шевцов (2020) выявили высокую (84,8±6,1%) частоту проявлений различных форм заболеваний пародонта у пациентов, проходящих ортодонтическое лечение с помощью несъемной аппаратуры [9]. Полученные результаты характеризуют необходимость поиска современных способов повышения качества стоматологического здоровья у пациентов, проходящих ортодонтическое лечение. Наше исследование показало, что во II группе индекс РМА улучшился на 5% через 1 месяц применения рекомендованного нами комплекса средств, на 9% через 3 месяца и на 15% через 12 месяцев. В то же время в I группе улучшение в те же сроки составило 3, 8 и 9% соответственно (табл. 3, рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамическая оценка качества гигиены полости рта у пациентов, пользовавшихся рекомендованным комплексом из зубной пасты R.O.C.S. PRO Brackets & Ortho и геля реминерализующего R.O.C.S. Medical Minerals, по индексу Квигли—Хейна продемонстрировала улучшение показателей от «удовлетворительного» до «хорошего» и уже через 1 месяц составила 1,16±0,03, через 3 месяца — 1,32±0,06, а на протяжении всего исследования оставалась на высоком уровне — 1,41±0,04.

Оценка кариесрезистентности эмали в обеих группах подтвердила высокую эффективность рекомендованного

Таблица 3. Индекс РМА, %
Table. 3. PMA index (in %)

Этап наблюдения	I группа	II группа
Начало исследования	46,61±1,39	44,36±1,75
Через 1 месяц	43,68±2,41	39,62±2,32
Через 3 месяца	38,36±1,89	35,49±1,95
Через 12 месяцев	37,67±2,17	29,78±1,78

Примечание. Все межгрупповые различия статистически достоверно значимы ($p \leq 0,05$).

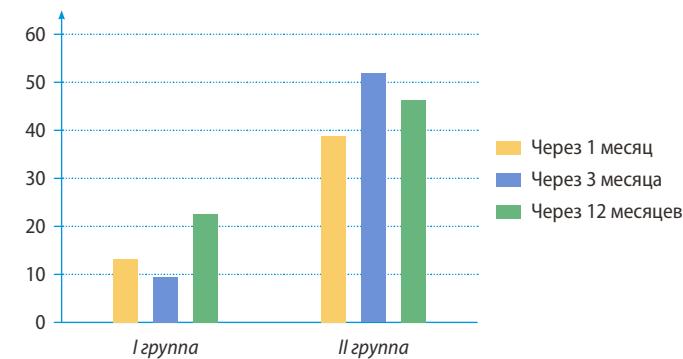


Рис. 2. Реминерализующая эффективность
Fig. 2. Remineralizing efficiency

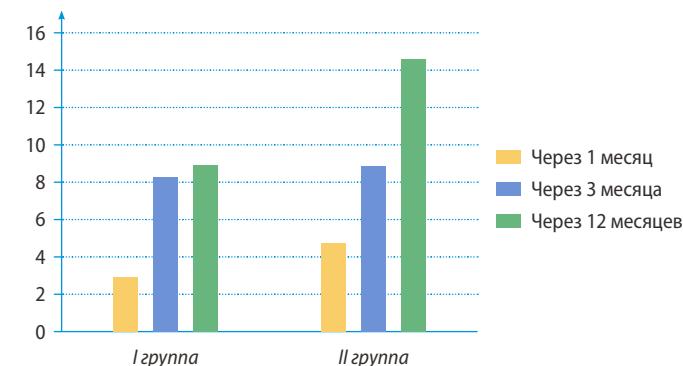


Рис. 3. Динамика изменения индекса РМА
Fig. 3. Dynamics of changes in PMA index

комплекса уже через 1 месяц наблюдения, составив 3,3±0,06, через 3 месяца — 2,6±0,05 и через 12 месяцев — 2,9±0,05, повышая кислотостойчивость эмали и увеличивая реминерализующую эффективность на протяжении лечения у пациентов, использующих съемную ортодонтическую аппаратуру (элайнеры), через 1 месяц на 39%, через 3 месяца на 52% и через 12 месяцев 46%.

В результате проведенной оценки изменения индекса РМА достоверно выявлено улучшение пародонтологического статуса пациентов. Динамика изменения индекса РМА во II группе составила 4,74% через 1 месяц применения рекомендованного нами комплекса средств, 8,87% через 3 месяца исследования и 14,58% через 12 месяцев от начала наблюдения (по сравнению с I группой — 2,93; 8,25 и 8,94% соответственно).

Поступила/Received: 02.12.2024

Принята в печать/Accepted: 24.02.2025

ЛИТЕРАТУРА:

- Досматова К.Р., Алтынбеков К.Д., Куракбаев К.К., Нигматов Р.Н., Досбердиева Г.Т., Бектурганова Н.Д., Глушкива Н.Е. Распространенность зубочелюстных аномалий у взрослых, проживающих в г. Алматы и в г. Астана. — *Наука и здравоохранение*. — 2022; 6: 112—119. [eLibrary ID: 54757282](#)
- Соколович Н.А., Саунина А.А., Михайлова Е.С., Солдатов И.К. Распространенность очаговой одонтогенной инфекции у воспитанников общеобразовательных организаций Минобороны России с дистальным прикусом. — *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. — 2022; 4: 31—39. [eLibrary ID: 50361144](#)
- Addy M. Dentine hypersensitivity: New perspectives on an old problem. — *International Dental Journal*. — 2002; 52 (5; suppl. 2): 367—375. [DOI: 10.1002/j.1875-595X.2002.tb00936.x](#)
- White D.W., Julien K.C., Jacob H., Campbell P.M., Buschang P.H. Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. — *Angle Orthod*. — 2017; 87 (6): 801—808. [PMID: 28753032](#)
- Sundararaj D., Venkatachalamathy S., Tandon A., Pereira A. Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis. — *J Int Soc Prev Community Dent*. — 2015; 5 (6): 433—9. [PMID: 26759794](#)
- Иорданишвили А.К., Солдатова Л.Н. Профилактика рецидива зубочелюстных аномалий у военнослужащих. — *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. — 2016; 2 (54): 84—86. [eLibrary ID: 26280196](#)
- Улитовский С.Б., Калинина О.В., Леонтьев А.А., Хабарова О.В., Панкратьева Л.И., Соловьева Е.С., Фок Н.К. Изучение десенситивных свойств зубной пасты. — *Пародонтология*. — 2022; 1: 81—89. [eLibrary ID: 48074257](#)
- Улитовский С.Б., Алексеева Е.С., Леонтьев А.А. Комплексное применение современных противовоспалительных профилактических средств оральной гигиены при воспалительных заболеваниях пародонта. — *Институт стоматологии*. — 2020; 3 (88): 45—47. [eLibrary ID: 44076245](#)
- Улитовский С.Б., Шевцов А.В. Изучение распространенности заболеваний пародонта у ортодонтических пациентов. — *Пародонтология*. — 2020; 1: 37—41. [eLibrary ID: 42490435](#)
- Buschang P.H., et al. Incidence of white spot lesions among patients treated with clear aligners and traditional braces. — *Angle Orthod*. — 2019; 89 (3): 359—364. [PMID: 30556747](#)
- Earl J.S., et al. Physical and chemical characterization of dentin surface following treatment with NovaMin technology. — *J Clin Dent*. — 2011; 22 (3): 62—7. [PMID: 21905399](#)
- Полякова М.А., Бабина К.С., Макеева И.М., Прохоров Н.И., Новожилова Н.Е., Дорошина В.Ю., Аракелян М.Г. Влияние фторидов и гидроксиапатита в составе зубных паст на реминерализацию и кислотоустойчивость эмали. — *Гигиена и санитария*. — 2019; 8: 885—892. [eLibrary ID: 40561873](#)
- Сайпееева М.М., Брусицына Е.В., Бимбас Е.С., Гаврилов И.В., Закиров Т.В., Трубина В.А. Ортодонтическое лечение с применением элайнеров и реминерализация эмали у подростков. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2021; 2 (78): 95—102. [eLibrary ID: 46309468](#)
- Брусенцов Н.Ю., Рыжаева В.Н. Стоматологические заболевания взрослого населения курской области за период 2017—2019 гг. — *Символ науки: международный научный журнал*. — 2021; 6: 148—150. [eLibrary ID: 46179550](#)

REFERENCES:

- Dosmatova K.R., Altynbekov K.D., Kurakbayev K.K., Nigmatov R.N., Dosberdiyeva G.T., Bekturgenova N.D., Glushkova N.E. Prevalence of dental anomalies for adults residing in almaty and in astana. *Science and Healthcare*. 2022; 6: 112—119 (In Russian). [eLibrary ID: 54757282](#)
- Sokolovich N.A., Saunina A.A., Mikhailova E.S., Soldatov I.K. Prevalence of focal odontogenic infection in patients with class II malocclusion studying at Russian Ministry of Defense institutions of comprehensive education. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2022; 4: 31—39 (In Russian). [eLibrary ID: 50361144](#)
- Addy M. Dentine hypersensitivity: New perspectives on an old problem. *International Dental Journal*. 2002; 52 (5; suppl. 2): 367—375. [DOI: 10.1002/j.1875-595X.2002.tb00936.x](#)
- White D.W., et al. Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. *Angle Orthod*. 2017; 87 (6): 801—808. [PMID: 28753032](#)
- Sundararaj D., Venkatachalamathy S., Tandon A., Pereira A. Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2015; 5 (6): 433—9. [PMID: 26759794](#)
- Iordanishvili A.K., Soldatova L.N. Prevention of recurrence of dentalveolar anomalies at military personnel. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2016; 2 (54): 84—86 (In Russian). [eLibrary ID: 26280196](#)
- Ulitovskiy S.B., Kalinina O.V., Leontev A.A., Khabarova O.V., Pankratelya L.I., Soloveva E.S., Fok N.K. The study of toothpaste desensitizing properties. *Parodontologiya*. 2022; 1: 81—89 (In Russian). [eLibrary ID: 48074257](#)
- Ulitovskiy S.B., Alekseeva E.S., Leont'ev A.A. Complex use of modern anti-inflammatory preventive oral hygiene products with inflammatory periodontal diseases. *The Dental Institute*. 2020; 3 (88): 45—47 (In Russian). [eLibrary ID: 44076245](#)
- Ulitovskiy S.B., Shevtsov A.V. Orthodontic patients periodontal diseases prevalence study. *Parodontologiya*. 2020; 1: 37—41 (In Russian). [eLibrary ID: 42490435](#)
- Buschang P.H., Chastain D., Keylor C.L., Crosby D., Julien K.C. Incidence of white spot lesions among patients treated with clear aligners and traditional braces. *Angle Orthod*. 2019; 89 (3): 359—364. [PMID: 30556747](#)
- Earl J.S., Leary R.K., Muller K.H., Langford R.M., Greenspan D.C. Physical and chemical characterization of dentin surface following treatment with NovaMin technology. *J Clin Dent*. 2011; 22 (3): 62—7. [PMID: 21905399](#)
- Polyakova M.A., Babina K.S., Makeeva I.M., Prochorov N.I., Novozhilova N.E., Doroshina V.Yu., Arakelyan M.G. The effect of fluoride and hydroxyapatite in the composition of toothpastes on the remineralization and acid resistance of enamel. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2019; 8: 885—892 (In Russian). [eLibrary ID: 40561873](#)
- Saypeeva M.M., Brusnitsyna E.V., Bimbas E.S., Gavrilov I.V., Zakirov T.V., Trubina V.A. Orthodontic treatment with clear aligners and enamel remineralization in adolescents. *Pediatric Dentistry and Profilaxis*. 2021; 2 (78): 95—102 (In Russian). [eLibrary ID: 46309468](#)
- Brusentsov N.Yu. Dental diseases of the adult population of the Kursk region for the period 2017—2019. *Symbol of Science: International Scientific Journal*. 2021; 6: 148—150 (In Russian). [eLibrary ID: 46179550](#)



КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОФИЛАКТИКЕ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В ПЕРИОД ОРТОДОНТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

ЗУБНЫЕ ПАСТЫ:

R.O.C.S. PRO BRACKETS & ORTHO

R.O.C.S. PRO BRACKETS & ORTHO ДЛЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ



Обеспечивают эффективный уход за зубами и деснами в период ортодонтического лечения*



Реминерализуют эмаль*, укрепляют её и повышают её кислоторезистентность*, а также повышают минерализующий потенциал слюны*



Защищают от кариеса* и воспаления десен*, быстро снижают их кровоточивость*



Значительно замедляют формирование зубного налета, предотвращая адгезию патогенных бактерий*

РЕМИНЕРАЛИЗУЮЩИЙ ГЕЛЬ

R.O.C.S. MEDICAL MINERALS

Применяется для профилактики и лечения очаговой деминерализации эмали (белых пятен) в процессе и по завершении ортодонтического лечения*

- Реминерализует эмаль зубов, повышает ее устойчивость к кислотам*
- Положительно влияет на биохимический состав слюны, увеличивая концентрацию ионов кальция и фосфат-ионов в ней*
- Восстанавливает баланс микрофлоры полости рта*



Personal-Care.ru
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН



*Подтверждено клиническими исследованиями и тестами. **По данным розничного ежемесячного аудита фармацевтического рынка 2024 года, маркетингового агентства «DSM Group» в сегменте зубные пасты, бренд R.O.C.S.® был самым продаваемым на территории РФ за период январь-сентябрь 2024 года в стоимостном выражении.

Т.А. Зайнуллин¹,
аспирант отделения хирургической
стоматологии и имплантологии

Е.В. Иванова²,
д.м.н., доцент, профессор кафедры
терапевтической стоматологии

Д.А. Моисеев³,
к.м.н., зав. лабораторией симуляционных
технологий в стоматологии, ассистент
кафедры терапевтической стоматологии

Ю.В. Молочкова¹,
д.м.н., доцент кафедры дерматовенерологии и дерматоонкологии

М.А. Амхадова¹,
д.м.н., профессор, зав. кафедрой
хирургической стоматологии
и имплантологии

Е.Е. Фаустова³,
к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой
хирургии и стоматологии

А.Г. Ермолов³,
к.м.н., доцент кафедры биологии

А.А. Оглобин³,
ассистент кафедры терапевтической
стоматологии

С.С. Сорокин³,
студент IV курса Института стоматологии
Д.В. Ложкин³,

студент VI курса лечебного факультета

¹ МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского,
129110, Москва, Россия

² РМАНПО, 125993, Москва, Россия

³ РНИМУ им. Н.И. Пирогова,
119571, Москва, Россия

Особенности дифференциальной диагностики красного плоского лишая и лихеноидной реакции полости рта: гистопатологический анализ

Реферат. Красный плоский лишай (КПЛ) — это хроническое аутоиммунное кожно-слизистое заболевание, которое часто поражает полость рта и может затрагивать пищевод, слизистую оболочку половых органов, кожу и ее придатки. Лихеноидные реакции рассматриваются как поражения, клинически схожие с КПЛ полости рта, но отличающиеся патогенезом, этиологией и, следовательно, подходами к лечению. Основными провоцирующими факторами лихеноидных реакций являются лекарственные средства и стоматологические материалы.

Цель исследования — выявить гистопатологические различия между КПЛ и лихеноидными реакциями полости рта для более точной дифференциальной диагностики этих состояний.

Материалы и методы. В исследование были включены 35 пациентов обоего пола в возрасте от 35 до 70 лет, которые обратились за лечением с 2019 по 2024 г. Всем пациентам был поставлен клинический диагноз «красный плоский лишай слизистой оболочки рта» (L43) или «лихеноидная реакция слизистой оболочки рта» (L43.8). Среди них было 10 пациентов с эрозивно-язвенной формой, 12 пациентов с гиперкератотической формой КПЛ, 8 пациентов с эксудативно-гиперемической формой КПЛ и 5 пациентов с лихеноидными реакциями в полости рта. Всем пациентам проведена инцизионная биопсия пораженных участков слизистой оболочки рта с последующим гистопатологическим анализом. **Результаты.** Несмотря на сходство клинических и гистопатологических признаков КПЛ и лихеноидных реакций в ходе исследования были выявлены признаки, позволяющие их дифференцировать. Наличие телец Сиватта, гидропической дегенерации и полосчатого лимфоцитарного инфильтрата — вот ключевые диагностические признаки КПЛ. **Заключение.** Гистологический анализ биопсийного материала необходимо рассматривать как основной метод исследования для постановки окончательного диагноза при выявлении поражений слизистой оболочки рта.

Ключевые слова: красный плоский лишай, лихеноидная реакция, заболевания слизистой рта, гистопатологическое исследование, дифференциальная диагностика

для цитирования:

Зайнуллин Т.А., Иванова Е.В., Моисеев Д.А., Молочкова Ю.В., Амхадова М.А., Фаустова Е.Е., Ермолов А.Г., Оглобин А.А., Сорокин С.С., Ложкин Д.В. Особенности дифференциальной диагностики красного плоского лишая и лихеноидной реакции полости рта: гистопатологический анализ. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 18—24. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_18

Features of differential diagnosis of lichen planus and lichenoid reaction of the oral cavity: histopathological analysis

Abstract. Lichen planus is a chronic autoimmune skin-mucosal disease that often affects the oral cavity and can affect the esophagus, the mucous membrane of the genitals, the skin and its appendages. Lichenoid reactions are considered as lesions clinically similar to lichen planus erythematous, but differing in pathogenesis, etiology and, consequently, treatment approaches. The main provoking factors of lichenoid reactions are medicines and dental materials. **The aim of the study** was to identify histopathological differences between lichen planus erythematous and lichenoid reactions of the oral cavity for a more accurate differential diagnosis of these conditions. **Materials and methods.** The study included 35 patients of both sexes, aged 35 to 70 years, who sought treatment between 2019 and 2024. All patients were clinically diagnosed with lichen planus of the oral mucosa (L43) or lichenoid reaction of the oral mucosa (L43.8 according to ICD-10). Among them were 10 patients with erosive and ulcerative form, 12 patients with hyperkeratotic form of Lichen planus, 8 patients with exudative-hyperemic form of Lichen planus and 5 patients with lichenoid reactions in the oral cavity. All patients underwent an incision biopsy of the affected areas of the oral mucosa, followed by histopathological analysis. **Results.** Despite the similarity

Т.А. Зайнуллин¹,
postgraduate student at the Surgical dentistry
and implantology Department

Е.В. Иванова²,
Doctor of Science in Medicine, professor
of the Therapeutic dentistry Department

Д.А. Моисеев³,
PhD in Medical Sciences, head
of the Simulation technologies in dentistry
Lab, assistant professor of the Therapeutic
dentistry Department

Ю.В. Молочкова¹,
Doctor of Science in Medicine, associate
professor of the Dermatovenerology and
dermatooncology Department

М.А. Амхадова¹,
Doctor of Science in Medicine, full professor
of the Surgical Dentistry and Implantology
Department

E.E. Faustova³,

PhD in Medical sciences, associate professor of the Maxillofacial surgery and dentistry Department

A.G. Ermolaev³,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Department of Biology

A.A. Ogloblin³,

assistant at the Therapeutic dentistry Department

S.S. Sorokin³,

4th year student of the Institute of Dentistry

D.V. Lozhkin³,

6th year student at the Medical faculty

of clinical and histopathological signs of lichen planus and lichenoid reactions, the study revealed signs that allow them to differentiate. The presence of Sivatt bodies, hydropic degeneration and banded lymphocytic infiltrate are key diagnostic signs of lichen planus. **Conclusions.** Histological analysis of biopsy material should be considered as the main research method for making a final diagnosis when detecting lesions of the oral mucosa.

Key words: lichen planus, lichenoid reaction, diseases of the oral mucosa, histopathological examination, differential diagnosis

FOR CITATION:

Zainullin T.A., Ivanova E.V., Moiseev D.A., Molochkova Yu.V., Amkhadova M.A., Faustova E.E., Ermolaev A.G., Ogloblin A.A., Sorokin S.S., Lozhkin D.V. Features of differential diagnosis of lichen planus and lichenoid reaction of the oral cavity: histopathological analysis. *Clinical Dentistry (Russia)*, 2025; 28 (1): 18—24 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_18

¹ Moscow Regional Research Clinical Institute (MONIKI),
129110, Moscow, Russia

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education,
125993, Moscow, Russia

³ Pirogov Russian National Research Medical University,
119571, Moscow, Russia

ВВЕДЕНИЕ

Красный плоский лишай (КПЛ) — это хроническое аутоиммунное кожно-слизистое заболевание, которое часто поражает полость рта, а также может затрагивать пищевод, слизистую оболочку половых органов, кожу и ее придатки [1]. Красный плоский лишай характеризуется многообразием клинических проявлений. Основные элементы поражения — это папулы, которые проявляются в виде небольших приподнятых белых бугорков на слизистой оболочке полости рта. Эти папулы могут быть окружены ретикулярным рисунком, — сеткой Уикхема. Диаметр папулы составляет 1—3 мм, имеет полигональную форму. Сетка Уикхема — это термин, используемый для описания ретикулярной или кружевной структуры, которая обычно наблюдается на слизистой оболочке рта (COP) [2]. Эта картина обусловлена сочетанием гиперкератоза (утолщение поверхностного слоя кожи), акантоза (утолщение нижних слоев кожи) и наличием тонких белых линий, которые пересекаются друг с другом в виде сетки [3]. Сетка Уикхема считается диагностическим признаком КПЛ COP. Также элементами поражения при КПЛ COP являются эритема, эрозия, язва, пузыри [4].

На сегодняшний день причины возникновения КПЛ точно не определены, заболевание считается полиэтиологичным. Ряд авторов подтверждает связь КПЛ с уровнем интерлейкина-17 [5, 6]. Проведенное нами исследование подтвердило, что интерлейкин-17 не только отражает воспалительный статус и тяжесть течения КПЛ, но и может служить биомаркером при мониторинге эффективности проводимой терапии [7].

ЛихенOIDная реакция полости рта клинически и гистопатологически схожа с КПЛ, но их появление рассматривается как ответ на воздействие факторов, с которыми сталкивается полость рта: лекарственные

препараты, средства гигиены полости рта, стоматологические материалы и др. [8, 9].

Современные дифференциально-диагностические принципы отражены в классификации лихенOIDных реакций по van der Waal (2009):

1) Клиническая картина. ЛихенOIDные реакции классифицируются в зависимости от визуальных проявлений на слизистой оболочке: белые или серые пятна, сетчатые узоры, язвы и эрозии. Они могут проявляться на щеках, языке, деснах и на других участках ротовой полости.

2) Гистопатологические признаки. Дегенерация базального слоя (характерная находка при лихенOIDных реакциях с признаками повреждения или разжижения базальных клеток); лимфоцитарная инфильтрация (воспалительный инфильтрат, в котором преобладают Т-лимфоциты, обычно обнаруживаемый субэпителиально), полосчатая инфильтрация (плотная полоса лимфоцитов, расположенная близко к базальной мембране, с признаками повреждения базального слоя).

3) Причинно-следственные связи. ЛихенOIDные реакции на определенные лекарства или стоматологические материалы.

4) Идиопатический КПЛ полости рта. Основная причина неизвестна. Проявляется классическими ретикулярными или эрозивными узорами без идентифицируемого внешнего триггера.

5) ЛихенOIDные реакции, связанные с системными заболеваниями, такими как красная волчанка или реакция «трансплантат против хозяина».

Эта классификация помогает дифференцировать различные типы лихенOIDных реакций и определять подходящие терапевтические стратегии на основе уникального клинического и гистопатологического профиля каждого типа. Списки препаратов, способных

вызвать лихеноидную реакцию, и аллергенов представлены в табл. 1 и табл. 2 соответственно, их идентификация и выявление причинно-следственной связи часто является сложной задачей для клинициста [9–12].

Лихеноидная реакция часто рассматривается как самостоятельная патология. В некоторых случаях эта гиперчувствительность развивается на фоне уже существующего КПЛ [13]. Интересно, что до настоящего времени почти все используемые стоматологические реставрационные материалы, за исключением высококачественных сплавов, таких как титан, палладий и цирконий, были вовлечены в патологию лихеноидных

реакций [9, 12, 14]. Клинически лихеноидные реакции имеют несколько особенностей: атипичное расположение (например, слизистая оболочка нёба), одностороннее или эрозивное поражение и расположение поражений в зависимости от причинного фактора (например, амальгамовые пломбы или металлокерамические коронки) [15].

Лечение КПЛ, в отличие от лихеноидной реакции, считается наиболее трудным и требует комплексного подхода, включая новые методы, позволяющие улучшить управление симптомами и обеспечить безрецидивное течение заболевания [16–20].

Таблица 1. Препараты, вызывающие лихеноидную реакцию

Table 1. Drugs that cause lichenoid reaction

Фармакологическая группа	Действующее вещество
Антихолинергические средства	Солифенацин
Противосудорожные средства	Карбамазепин, оксикарбазепин, фенитоин, валпроат натрия
Противодиабетические средства	Хлорпропамид, глибурид, глипизид, инсулин, толазамид, толбутамид
Противодиарейные средства	Висмут
Защита от перегрева	Аллопуринол
Антигистаминные препараты	Циннаризин
Противовоспалительные препараты	Аспирин, дифлунизал, ибупрофен, индометацин, лефлуномид, месаламин, напроксен, рофеококсис, сулиндак, сульфасалазин
Противомалярийные препараты	Хлорохин, гидроксихлорохин, пираметамин, хинидин, хинин
Противомикробные препараты	Парааминосалициловая кислота, сульфаметоксазол, тетрациклин, аминосалицилат натрия, дапсон, этамбутол, изониазид, рифампицин, стрептомицин
Противогрибковые препараты	Амфотерицин В, гризофульвян, кетоконазол
Противоглистное средство	Левамизол
Противопаркинсонические препараты	Тригексифенидил
Антиретровирусные препараты	Зидовудин
Химиотерапевтические препараты	Гидроксимочевина
Сердечно-сосудистые препараты	Атенолол, каптоприл, доксазозин, диазоксид, эналаприл, лабеталол, метопролол, метилдопа, небиволол, никорандил, нифедипин, празозин, прокаинамид, пропранолол, хинидин, теразозин
Мочегонные средства	Хлоротиазид, фуросемид, гидрохлоротиазид, спиронолактон
Иммуномодулирующая и биологическая терапия	Адалимумаб, дактиномицин, этанерцепт, соли золота, иматиниба мезилат, инфликсимаб, интерферон- α , пеницилламин, такролимус, имиквимод
Гиполипидемические препараты	Гемфиброзил, орлистат, правастатин, симвастатин
Нейролептики	Хлорпромазин, левомепромазин, метопромазин, тиоридазин
Бензодиазепины	Лоразепам
Селективные ингибиторы обратного захвата серотонина	Эсциталопрам
Трициклические антидепрессанты	Амитриптилин, имипрамин
Другие лекарства	Ретиноиды, изотретиноин, препараты мышьяка, препараты лития, амифеназол, клопидогрел, пеницилламин, палифермин, меркаптопропионилглицин, мизопростол, нандролен-фурил-пропионат (Демелон), норфлекс, омепразол, пиритионин, силденафил, тиопронин

Таблица 2. Возможные контактные аллергены, вызывающие лихеноидные реакции

Table 2. Possible contact allergens that cause lichenoid reactions

Источник	Действующее вещество
Реставрационные стоматологические материалы	Бериллий, кобальт, медь, хром, золото, индий, ртуть, никель, палладий, серебро, олово, цинк, композитные смолы, керамика (фарфор), диметакрилат этиленгликоля, титан
Ароматизаторы	Масло ментола, перечная мята, корица, ванилин, экстракт жасмина, лимонное масло, эвгенол

Если диагноз «красный плоский лишай» может быть установлен на основе клинического осмотра и анамнеза, то диагностика лихеноидных реакций сложна из-за их общих клинических и гистопатологических признаков с КПЛ [17–19].

Цель исследования — выявить гистопатологические различия между КПЛ полости рта и лихеноидными реакциями полости рта для более точной дифференциальной диагностики этих состояний.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 35 пациентов обоего пола в возрасте от 35 до 70 лет с диагнозом «красный плоский лишай слизистой оболочки рта» (L43) или «лихеноидная реакция слизистой оболочки рта» (L43.8):

- 10 пациентов с эрозивно-язвенной формой КПЛ;
- 12 пациентов с гиперкератотической формой КПЛ;
- 8 пациентов с экссудативно-гиперемической формой КПЛ;
- 2 пациента с лихеноидной реакцией на амальгамовую пломбу;
- 3 пациента с лихеноидной реакцией на лекарственные препараты.

Пациенты проходили лечение в отделении сложных случаев в стоматологии МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского в 2019–2024 гг.

Исследование было выполнено как описательное когортное наблюдательное, направленное на сравнительное изучение гистопатологических изменений. Был проведен гистопатологический анализ, в ходе которого сравнивали ключевые морфологические характеристики КПЛ в полости рта и лихеноидных реакций. Гистопатологические исследования включали анализ изменений в базальном слое эпителия, оценку воспалительной инфильтрации и других морфологических особенностей.

Образцы для исследования получены путем экскизионной биопсии пораженных участков слизистой оболочки рта, фиксированы в 10%-ном растворе формалина с последующей проводкой гистологического материала и заливкой в парафин. Тонкие срезы парафинового блока с заключенным в нем исследуемым материалом толщиной 4 мкм подготовлены на ротационном микротоме и окрашены гематоксилином и эозином для дальнейшего гистологического анализа [16, 17].

Гистопатологическое исследование проводилось с использованием микроскопа при 10-, 20- и 40-кратном увеличении и в масляной иммерсии (ув. 100). Оценивали уровень и тип кератинизации

эпителия, степень атрофии эпителия и ремоделирования базальной мембраны, распределение воспалительных клеток, в частности лимфоцитов, на границе между эпителием и соединительной тканью, отмечали наличие или отсутствие апоптотических кератиноцитов в эпителиальных слоях, оценивали базальную клеточную дегенерацию и образование пространств Макса–Джозефа [21–25].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате гистопатологического анализа образцов биоптатов были выявлены ключевые различия между КПЛ в полости рта и лихеноидными реакциями. Так, КПЛ характеризовался гиперкератозом, телецами Сиватта, гидропической дегенерацией базальных клеток и плотным полосчатым лимфоцитарным инфильтратом на границе эпителия и соединительной ткани (рис. 1–4). Напротив, в образцах с диагностированными лихеноидными реакциями фиксировали более гетерогенный воспалительный инфильтрат, часто включающий эозинофилы и плазматические клетки, более глубокое вовлечение тканей и отсутствие телец Сиватта со значительной дегенерацией базальных клеток. Инфильтрат не ограничивался эпителиально-соединительной тканью, а часто обнаруживался глубже в соединительной ткани или с периваскулярным расположением, что указывает на диффузный иммунный ответ (рис. 5–8) [23].

Считается, что КПЛ имеет аутоиммунную основу, при этом центральным признаком является повреждение базальных эпителиальных клеток, опосредованное Т-лимфоцитами. Наличие телец Сиватта, гидропической дегенерации и полосчатого лимфоцитарного инфильтрата на границе между эпителием и соединительной тканью — вот ключевые диагностические признаки КПЛ. Эти признаки отражают хроническую

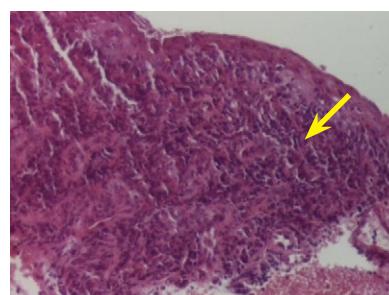


Рис. 1. Утолщенный многослойный плоский эпителий с гиперкератозом (показан стрелкой): на уровне соединения присутствует лишаевидная лимфоцитарная воспалительная инфильтрация, расположенная параллельно и ремоделирующая базальную мембрану. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 40

Fig. 1. Thickened multilayered squamous epithelium with hyperkeratosis (shown by arrow): lichenized lymphocytic infiltrative infiltration is present at the junction level, located in parallel and remodeling the basement membrane. Hematoxylin and eosin staining (mag. 40x)

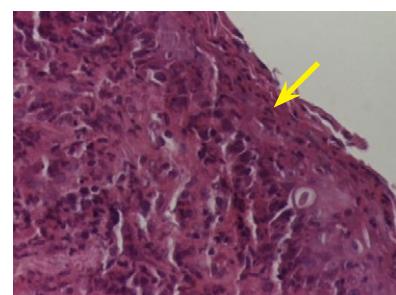


Рис. 2. Эозинофильное глобулярное коллоидное тело (дискератотические кератиноциты) в толще многослойного плоского эпителия (показано стрелкой). Окраска гематоксилином и эозином, ув. 100

Fig. 2. Eosinophilic globular colloidal body (dyskeratotic keratinocytes) in the thickness of the multilayer squamous epithelium (shown by arrow). Hematoxylin and eosin staining (mag. 100x)

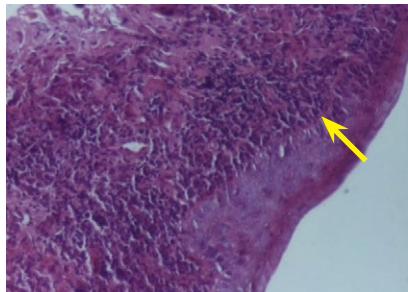


Рис. 3. Гидропическая дегенерация эпителиальных клеток базального слоя (показано стрелкой). Окраска гематоксилином и эозином, ув. 40

Fig. 3. Hydroptic degeneration of the epithelial cells of the basal layer (shown by the arrow). Hematoxylin and eosin staining (mag. 40x)

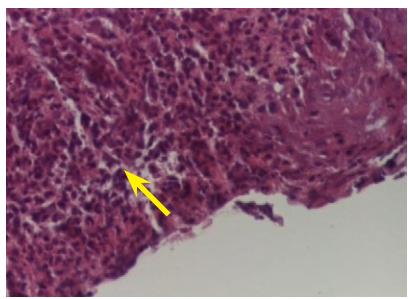


Рис. 4. Расщепляющееся пространство (показано стрелкой), заполненное эритроцитами, с отслоением многослойного плоского эпителия. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 40

Fig. 4. A cleavage space (shown by an arrow) filled with red blood cells, with detachment of a multilayer squamous epithelium. Hematoxylin and eosin staining (mag. 40x)

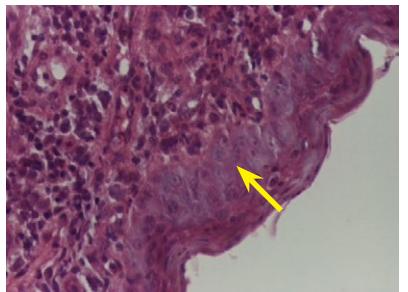


Рис. 5. Расщепляющееся пространство (показано стрелкой), заполненное эритроцитами, с выраженной гиперемией и сильным отеком. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 40

Fig. 5. A cleavage space (shown by an arrow) filled with red blood cells, with pronounced hyperemia and severe edema. Hematoxylin and eosin staining (mag. 40x)

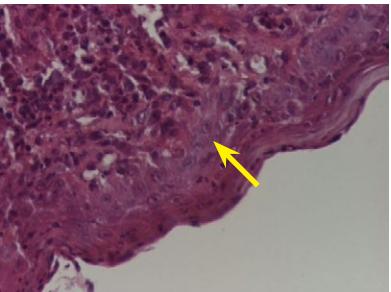


Рис. 6. Сильно утолщенный многослойный плоский эпителий (показан стрелкой): отсутствие аномальной кератинизации и гидропической дегенерации; на уровне соединения присутствует лихеноидная гетерогенная воспалительная инфильтрация. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 40

Fig. 6. Strongly thickened multilayer squamous epithelium (shown by arrow): absence of abnormal keratinization and hydroptic degeneration; lichenoid heterogeneous inflammatory infiltration is present at the junction level. Hematoxylin and eosin staining (mag. 40x)

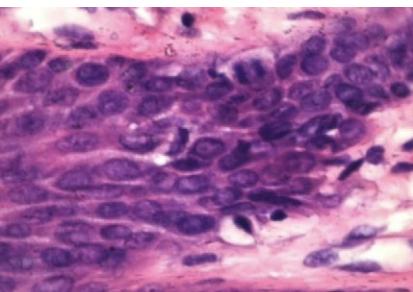


Рис. 7. Лимфоцитарная воспалительная инфильтрация с выраженной гиперемией и сильным отеком. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 100

Fig. 7. Lymphocytic inflammatory infiltration with marked hyperemia and severe edema. Hematoxylin and eosin staining (mag. 100x)

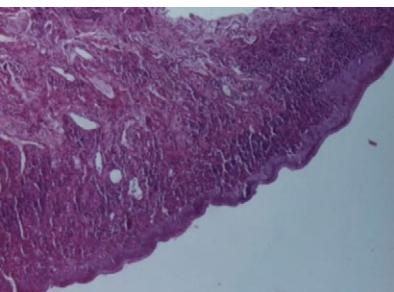


Рис. 8. Лихеноидная гетерогенная воспалительная инфильтрация, инфильтрирующая и ремоделирующая базальную мембрану, отсутствие телец Сиватта. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 40

Fig. 8. Lichenoid heterogeneous inflammatory infiltration, infiltrating and remodeling the basement membrane, absence of Sivatt bodies. Hematoxylin and eosin staining (mag. 40x)

воспалительную реакцию и повреждение эпителия, характерные для этого заболевания [5–7].

Напротив, лихеноидные реакции часто вызываются внешними факторами, такими как лекарственные препараты и стоматологические материалы. Это может объяснить гетерогенный воспалительный инфильтрат, наблюдаемый при лихеноидных реакциях, который часто включает эозинофилы и другие иммунные клетки, обычно не присутствующие при КПЛ [8, 9].

Клинически это различие имеет решающее значение, поскольку лечение плоского лишая полости рта и лихеноидных реакций может существенно различаться. Красный плоский лишай полости рта, будучи хроническим аутоиммунным заболеванием, часто требует иммуносупрессивного или противовоспалительного лечения, включая кортикоステроиды или ингибиторы кальциневрина, для контроля иммунного ответа и снижения тяжести поражения. Напротив, лихеноидные реакции могут разрешиться спонтанно после удаления провоцирующего агента, например после замены реставрационного материала или коррекции лекарственной терапии. Таким образом, точная диагностика не только улучшает ведение пациента, но и сводит к минимуму необоснованное лечение, помогая избежать потенциальных осложнений [16–18].

Важным следствием проведенного нами анализа является необходимость проведения биопсии и гистопатологического исследования во всех случаях, когда для установления окончательного диагноза только клинических признаков недостаточно. Хотя оба состояния могут проявляться схожими патологическими элементами на слизистой оболочке полости рта, тонкие гистопатологические различия, такие как наличие телец Сиватта, тип воспалительного инфильтрата и распределение клеточного повреждения, имеют решающее значение для дифференциальной диагностики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволили выявить дифференциальные различия между КПЛ и лихеноидными реакциями полости рта, подчеркивая важность точной гистопатологической диагностики этих двух состояний. Красный плоский лишай в полости рта характеризуется гиперкератозом, тельцами Сиватта, гидропической дегенерацией базальных клеток и плотным полосчатым лимфоцитарным инфильтратом на границе эпителия и соединительной ткани. Напротив, лихеноидные реакции демонстрируют более гетерогенный воспалительный инфильтрат, часто включающий эозинофилы, более глубокое вовлечение тканей и отсутствие тельц Сиватта со значительной дегенерацией базальных клеток.

Гистологический анализ биопсийного материала необходимо рассматривать как основной метод исследования для постановки окончательного диагноза при выявлении поражений слизистой оболочки полости рта. Точная дифференциальная диагностика КПЛ в полости рта и лихеноидных реакций имеет решающее значение для определения соответствующих стратегий лечения.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 15.10.2024 **Принята в печать:** 16.01.2025

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 15.10.2024 **Accepted:** 16.01.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Cheng Y.S., Gould A., Kurago Z., Fantasia J., Muller S. Diagnosis of oral lichen planus: a position paper of the American Academy of Oral and Maxillofacial Pathology. — *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* — 2016; 122 (3): 332—54. [PMID: 27401683](#)
- Schilling L., Vogt T. [Lichen ruber planus: Better understanding, better treatment!]. — *Hautarzt.* — 2018; 69 (2): 100—108 (In German). [PMID: 29330580](#)
- Ioannides D., Vakirlis E., Kemeny L., Marinovic B., Massone C., Murphy R., Nast A., Ronnevig J., Ruzicka T., Cooper S.M., Trüeb R.M., Pujol Vallverdú R.M., Wolf R., Neumann M. European S1 guidelines on the management of lichen planus: a cooperation of the European Dermatology Forum with the European Academy of Dermatology and Venereology. — *J Eur Acad Dermatol Venereol.* — 2020; 34 (7): 1403—1414. [PMID: 32678513](#)
- Lombardi A., Mondelli M.U., ESCMID study group for viral hepatitis (ESGVH) Hepatitis C: Is eradication possible? — *Liver Int.* — 2019; 39 (3): 416—426. [PMID: 30472772](#)
- Shen Z., Gao X., Ma L., Zhou Z., Shen X., Liu W. Expression of Foxp3 and interleukin-17 in lichen planus lesions with emphasis on difference in oral and cutaneous variants. — *Arch Dermatol Res.* — 2014; 306 (5): 441—6. [PMID: 24292092](#)
- Wang K., Miao T., Lu W., He J., Cui B., Li J., Li Y., Xiao L. Analysis of oral microbial community and Th17-associated cytokines in saliva of patients with oral lichen planus. — *Microbiol Immunol.* — 2015; 59 (3): 105—13. [PMID: 25644086](#)
- Зайнуллин Т.А., Иванова Е.В., Моисеев Д.А., Молочкова Ю.В., Погабало И.В., Кулиев Р.М., Бабаев А.О., Терновская Е.С. Оценка уровня интерлейкина-17 в слюне у пациентов с различными формами красного плоского лишая полости рта. — *Проблемы стоматологии.* — 2024; 3: 40—46. [Zainullin T., Ivanova E., Moiseev D., Molochkova Y., Pogabalo I., Kuliev R., Babaev A., Ternovskaya E. Assessment of the level of interleukin-17 in saliva in patients with various forms of lichen planus. — *Actual Problems in Dentistry.* — 2024; 3: 40—46 (In Russian)]. [eLibrary ID: 74526274](#)
- Carrozzo M., Porter S., Mercadante V., Fedele S. Oral lichen planus: A disease or a spectrum of tissue reactions? Types, causes, diagnostic algorhythms, prognosis, management strategies. — *Periodontol 2000.* — 2019; 80 (1): 105—125. [PMID: 31090143](#)
- Guryevskaya O., Usmanova I., Hismatullina Z., Granot Y., Pashkova G., Chepukova O., Khusnarizanova R. A modern view on the etiology and pathogenesis of lichen planus and lichenoid lesions of the oral mucosa. — *Actual Problems in Dentistry.* — 2021; 2: 5—13. [eLibrary ID: 46411874](#)
- El-Reshaid K., Al-Bader S. Rituximab therapy for severe and persistent lichenoid drug-reaction. — *Journal of Drug Delivery and Therapeutics.* — 2019; 9 (3-s): 751—753. [DOI: 10.22270/jddt.v9i3-s.2873](#)
- Yuan A., Woo S.B. Adverse drug events in the oral cavity. — *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* — 2015; 119 (1): 35—47. [PMID: 25442252](#)
- Tziotzios C., Lee J.Y.W., Brier T., Saito R., Hsu C.K., Bhargava K., Stefanato C.M., Fenton D.A., McGrath J.A. Lichen planus and lichenoid dermatoses: Clinical overview and molecular basis. — *J Am Acad Dermatol.* — 2018; 79 (5): 789—804. [PMID: 30318136](#)
- Güneş A.T., Fetil E., İlknur T., Birgin B., Ozkan S. Naproxen-induced lichen planus: report of 55 cases. — *Int J Dermatol.* — 2006; 45 (6): 709—12. [PMID: 16796633](#)
- Clayton R., Chaudhry S., Ali I., Cooper S., Hodgson T., Wojnarowska F. Mucosal (oral and vulval) lichen planus in women: are angiotensin-converting enzyme inhibitors protective, and beta-blockers and non-steroidal anti-inflammatory drugs associated with the condition? — *Clin Exp Dermatol.* — 2010; 35 (4): 384—7. [PMID: 19874335](#)
- Müller S. The lichenoid tissue reactions of the oral mucosa: Oral lichen planus and other lichenoid lesions. — *Surg Pathol Clin.* — 2011; 4 (4): 1005—26. [PMID: 26837785](#)
- Зайнуллин Т.А., Иванова Е.В., Моисеев Д.А., Молочкова Ю.В., Оглоблин А.А., Фаустова Е.Е., Рахманкулов Д.В., Терновская Е.С. Применение эксимерного лазера в лечении красного плоского лишая полости рта. — *Голова и шея.* — 2024; 3: 125—131. [Zainullin T.A., Ivanova E.V., Moiseev D.A., Molochkova Y.V., Ogloblin A.A., Faustova E.E., Rakhmankulov D.V., Ternovskaya E.S. The use of excimer laser in the treatment of oral lichen planus. — *Head and Neck.* — 2024; 3: 125—131 (In Russian)]. [eLibrary ID: 72754765](#)
- Гилева О.С., Либик Т.В., Рогожников Г.И., Гибадуллина Н.В., Рогожников А.Г., Гавриленко М.С. Эффективность комплексного стоматологического лечения лихеноидных реакций

мукопародонтального комплекса: одноцентровое пилотное когортное исследование. — Кубанский научный медицинский вестник. — 2023; 6: 102—111.

[Gileva O.S., Libik T.V., Rogozhnikov G.I., Gibadullina N.V., Rogozhnikov A.G., Gavrilenco M.S. Efficacy of comprehensive dental treatment for lichenoid reactions of the mucoparodontal complex: A single-center pilot cohort study. — *Kuban Scientific Medical Bulletin*. — 2023; 6: 102—111 (In Russian)].

[eLibrary ID: 56446137](#)

18. Müller S. Oral lichenoid lesions: distinguishing the benign from the deadly. — *Mod Pathol*. — 2017; 30 (s1): S54-S67.

[PMID: 28060366](#)

19. Шкарин В.В., Македонова Ю.А., Дьяченко С.В., Гаврикова Л.М., Белоножкина Д.А., Явуз И. Эффективность трехэтапной схемы маршрутизации пациентов с красным плоским лишаем слизистой оболочки рта. — *Клиническая стоматология*. — 2022; 4: 56—63.

[Shkarin V.V., Makedonova Yu.A., Dyachenko S.V., Gavrikova L.M., Belonozhkina D.A., Yavuz I. The effectiveness of a three-stage routing scheme for patients with lichen planus of the oral mucosa. — *Clinical Dentistry (Russia)*. — 2022; 4: 56—63 (In Russian)].

[eLibrary ID: 49940616](#)

20. Усманова И.Н., Лакман И.А., Аль Мухамед М.А., Тиунова Н.В., Янова Н.А., Ефимов К.В., Васильев Ю.Л. Особенности влияния различных аппликационных адгезивных средств в комплексе местного лечения рецидивирующих афт полости рта у пациентов на фоне клинических проявлений классических и опосредованных гиперсекреторных заболеваний желудочно-кишечного тракта. — *Клиническая стоматология*. — 2023; 2: 30—36.

[Usmanova I.N., Lakman I.A., Al Mohamed M.A., Tiunova N.V., Yanova N.A., Efimov K.V., Vasil'ev Yu.L. Peculiarities of the effect of various application adhesives in the complex of topical treatment of recurrent aphth of the oral cavity in patients on the background of clinical manifestations of classical and indirect hypersecretory diseases of the gastrointestinal tract. — *Clinical Dentistry (Russia)*. — 2023; 2: 30—36 (In Russian)]. [eLibrary ID: 54167523](#)

21. Moiseev D., Donskov S., Dubrovin I., Kulyukina M., Vasil'ev Y., Volei B., Shadieva S., Babaev A., Shevlyuk J., Utyuzh A., Veliichko E., Dydykin S., Dydykina I., Paramonov Y., Faustova E. A new way to model periodontitis in laboratory animals. — *Dent J (Basel)*. — 2023; 11 (9): 219. [PMID: 37754339](#)

22. Fernández-González F., Vázquez-Álvarez R., Reboiras-López D., Gándara-Vila P., García-García A., Gándara-Rey J.M. Histopathological findings in oral lichen planus and their correlation with the clinical manifestations. — *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. — 2011; 16 (5): e641—6. [PMID: 20711121](#)

23. Bariş E., Sengüven B., Tüzüner T., Gültekin S.E. Oral lichenoid lesions related to drugs: Review of clinicopathological features and differential diagnosis. — *European Journal of Inflammation*. — 2014; 12 (2): 217—225. [DOI: 10.1177/1721727x1401200201](#)

24. El-Sayed M., Howyda E.M. Are tumor necrosis factor- α and matrix metalloproteinase-9 able to induce basal cell degeneration and enhance tissue destruction in cutaneous lichen planus?. — *Egyptian Journal of Pathology*. — 2016; 36 (2): 170—177.

[DOI: 10.1097/01.XEJ.0000504536.19506.01](#)

25. Alrashdan M.S., Cirillo N., McCullough M. Oral lichen planus: a literature review and update. — *Arch Dermatol Res*. — 2016; 308 (8): 539—51. [PMID: 27349424](#)

О.Ф. Рабинович¹,

д.м.н., зав. отделением заболеваний слизистой оболочки рта

И.М. Рабинович^{1,2},

д.м.н., профессор, зав. отделением кариесологии и эндодонтии; зав. кафедрой терапевтической стоматологии

К.В. Умарова¹,

к.м.н., научный сотрудник группы заболеваний слизистой оболочки рта

Т.Н. Новоземцева²,

д.м.н., профессор кафедры терапевтической стоматологии

¹ ЦНИИСиЧЛХ, 119021, Москва, Россия

² РМАНПО, 125993, Москва, Россия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Рабинович О.Ф., Рабинович И.М., Умарова К.В., Новоземцева Т.Н. Изучение клинической эффективности местного применения иммуномодулирующего препарата при терапии рецидивирующего афтозного стоматита. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 25—30. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_25

O.F. Rabinovich¹,

Doctor of Science in Medicine, head of the Oral mucosa diseases Division

I.M. Rabinovich^{1,2},

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Caries research and endodontics Division

K.V. Umarova¹,

PhD in Medical Sciences, researcher of the Oral mucosa diseases Group

T.N. Novozemceva²,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Therapeutic dentistry Department

¹ Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery, 119021, Moscow, Russia

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 125993, Moscow, Russia

Изучение клинической эффективности местного применения иммуномодулирующего препарата при терапии рецидивирующего афтозного стоматита

Реферат. Цель исследования — оценить эффективность местного применения иммуномодулирующего препарата «Суперлимф» при лечении рецидивирующего афтозного стоматита (РАС). **Материалы и методы.** Проведено исследование 70 пациентов в возрасте от 18 до 55 лет с РАС. Пациенты были разделены на 2 группы в зависимости от методов местного лечения. В основную группу вошли 40 пациентов, которые в качестве лечения использовали иммуномодулятор местного действия «Суперлимф». Контрольная группа была представлена 30 пациентами, которые при местном лечении использовали эпителилизирующие средства и препараты, влияющие на микробиоту (антибактериальные средства, бактериофаги, пребиотики местного действия). Изучали микробный и вирусный состав соскобов из полости рта до и после лечения. Динамику изменений клинических проявлений регистрировали путем оценки степени болевых ощущений, сроков уменьшения афт в размерах и сроков их заживления. **Результаты.** У 80% пациентов выявлен дисбактериоз различной степени. Отмечались повышенные показатели роста *Streptococcus spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Enterobacteriaceae spp.*, *Candida albicans* и *Neisseria spp.* Также с большой частотой выявлялись вирусы герпеса. Например, вирус простого герпеса 1-го и 2-го типа в основной группе до лечения выявлялся в 75% случаев, а в контрольной — в 70% случаев. После местного лечения результаты исследования улучшились в обеих группах. В основной группе количество пациентов с изменениями в составе микробиоты сократилось до 30%, а в контрольной — до 40%. Пациенты, у которых после лечения определялся вирус простого герпеса, в основной группе составили лишь 28%, а в контрольной — 40%. Динамика течения заболевания также была положительной в обеих группах. Средние сроки заживления афт в основной группе сократились до 7 дней, а в контрольной — до 10 дней. **Заключение.** Местное применение иммуномодулирующего препарата «Суперлимф» при лечении пациентов с РАС показало лучшие результаты наряду с традиционными препаратами для местного симптоматического лечения.

Ключевые слова: рецидивирующий афтозный стоматит, микробиота, слизистая оболочка рта, иммуномодулирующий препарат местного действия

Studying the clinical effectiveness of local application of a topical immunomodulator in the treatment of recurrent aphthous stomatitis

Abstract. The purpose of the study is to evaluate the effectiveness of local use of the topical immunomodulator «Superlymph» in the treatment of recurrent aphthous stomatitis. **Materials and methods.** A study was conducted on 70 patients aged 18 to 55 years with recurrent aphthous stomatitis. The patients were divided into 2 groups depending on the methods of local treatment. The main group included 40 patients who used the topical immunomodulator «Superlimf» as a local treatment. The control group was represented by 30 patients who used epithelializing agents and medicines affecting the microbiota (antibacterial agents, bacteriophages, local probiotics) for local treatment. The microbial and viral composition of oral scrapings was studied before and after treatment. The dynamics of changes in clinical manifestations were recorded by assessing the degree of pain, the timing of aphthae reduction in size and the timing of their healing. **Results.** Dysbiosis of varying degrees was detected in 80% of patients. Increased growth rates of *Streptococcus spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Enterobacteriaceae spp.*, *Candida albicans*, *Neisseria spp.* were noted. Herpes viruses were also detected with high frequency. For example, herpes simplex virus type 1 and type 2 were detected in 75% of cases in the main group before treatment, and in 70% of cases in the control group. After local treatment, the results of the study improved in both groups. In the main group, the number of patients with changes in the composition of the microbiota decreased to 30%, and in the control group to 40%. Patients in whom herpes simplex virus type

1 and type 2 was determined after treatment accounted for only 28% in the main group and 40% in the control group. The dynamics of the disease course was also positive in both groups. The average healing time for aphthae in the main group decreased to 7 days, and in the control group to 10 days. **Conclusion.** Local use of the topical immunomodulator «Superlymph» in the treatment of patients with recurrent aphthous stomatitis showed better results along with traditional drugs for local symptomatic treatment. **Conclusion.** Local use of the topical immunomodulator Superlymph in the treatment of patients with recurrent aphthous stomatitis showed better results along with traditional drugs for local symptomatic treatment.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из часто встречающихся поражений слизистой оболочки рта — рецидивирующий афтозный стоматит (РАС). Это хроническое воспалительное заболевание полиэтиологической природы, характерным проявлением которого являются болезненные образования (афты) на слизистой оболочке рта (СОР). Его распространенность среди населения, по различным данным, составляет от 5 до 25% [1–5].

Множество научных работ посвящено изучению состояния микробиоты полости рта у пациентов с РАС и ее роли в развитии и течении заболевания. Некоторые выявляют взаимосвязь между развитием афтозных поражений и качественным составом микробиоты кишечника [6]. Кроме того, сравнительный анализ микробиоты у пациентов с афтозными поражениями подтвердил особую роль *Escherichia coli* в развитии РАС [7]. Другие исследования отмечают изменения в количественном содержании *Streptococcus*, *Neisseria*, *Veillonella* на слизистых оболочках у пациентов с РАС [8, 9]. В свою очередь, СОР обладает высоким потенциалом для участия в реализации иммунологических нарушений в организме. В связи с этим изучение патологических состояний СОР, связанных с изменениями количественного и видового состава представителей нормальной и резистентной микробиоты, а в дальнейшем и коррекция этих состояний до сих пор остается актуальной.

Анализ отечественной литературы показал успешные результаты применения иммуномодулирующего препарата местного действия «Суперлимф» при лечении хронических воспалительных заболеваний пародонта [10–12]. «Суперлимф» является иммуномодулирующим препаратом, обладающим противовирусным, противомикробным и противогрибковым действием и представляющим собой естественный комплекс природных противомикробных пептидов и цитокинов. Препарата стимулирует функциональную активность клеток фагоцитарного ряда (моноцитов и нейтрофилов): активирует фагоцитоз, выработку цитокинов (ИЛ-1, ФНО), индуцирует противоопухолевую цитотоксичность макрофагов, регулирует миграцию клеток в очаг воспаления, увеличивает активность естественных киллеров. Также «Суперлимф» обладает антиоксидантной активностью, снижает развитие воспалительных реакций,

Key words: recurrent aphthous stomatitis, microbiota, oral mucosa, topical immunomodulator

FOR CITATION:

Rabinovich O.F., Rabinovich I.M., Umarova K.V., Novozemceva T.N. Studying the clinical effectiveness of local application of a topical immunomodulator in the treatment of recurrent aphthous stomatitis. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 25—30 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_25

стимулирует регенерацию и эпителизацию раневых дефектов.

Цель исследования — оценить эффективность местного применения иммуномодулирующего препарата «Суперлимф» при лечении РАС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 70 пациентов с РАС (45 женщин и 25 мужчин) от 18 до 55 лет, обратившиеся на консультативный прием в отделение заболеваний слизистой оболочки ЦНИИСиЧЛХ. Критерии включения в исследование: фибринозная и глангулярная форма РАС, частота рецидивов заболевания не менее 3 раз в год, размеры афтозных поражений не более 1 см в диаметре (малые афты). Критерии исключения: беременность, лактация, острые инфекционные заболевания, декомпенсированные формы общесоматической патологии, заболевания крови, злокачественные новообразования, болезнь Бехчета, воспалительные заболевания кишечника (болезнь Крона, неспецифический язвенный колит), прием иммунодепрессантов, цитостатических и противоопухолевых средств.

В зависимости от способа местного лечения пациенты были разделены на две группы:

I — 40 пациентов, 16 мужчин и 24 женщины, в качестве монотерапии использовали иммуномодулятор местного действия «Суперлимф» в виде альгинатных платин для десен (основная группа);

II — 30 пациентов, 9 мужчин и 21 женщина, при местном лечении использовали эпителизирующие средства и препараты, влияющие на микробиоту, — антибактериальные средства, бактериофаги, пробиотики местного действия (контрольная группа).

При первичном обращении все больные были обследованы на состояние микробиоты полости рта. Определяли количественный и качественный состав представителей условно-патогенных микроорганизмов полости рта: лактобактерий, стрептококков, стафилококков, дрожжеподобных грибов рода *Candida*, энтеробактерий и прочих микроорганизмов.

Материал для микробиологического исследования брали в виде соскоба со слизистой оболочки рта, натощак, стерильной ватной палочкой, и помещали в тубу с угольной средой. Материал использовали для

прямого посева на дифференциально-диагностические среды — кровяной и желточно-солевой агары, среды Эндо и Сабуро и специальную среду для выделения лактобактерий и энтерококков. Рост факультативных микроорганизмов учитывали через 24, 48 и 72 ч инкубации при 37 и 38°C с последующей идентификацией по общепринятой методике.

Методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) выявляли присутствие вируса простого герпеса 1-го и 2-го типа (ВПГ-1 и ВПГ-2), вируса Эпштейна—Барр (ВЭБ) и цитомегаловируса (ЦМВ). Эпителиальные скобы с участков поражения брали одноразовыми стерильными зондами Cervex brush или Voba-brush. После забора материала зонд опускают в пластиковую пробирку со 100 мкл стерильного физрастворя, тщательно перемешивают, остатки жидкости на зонде отжимают о стенки пробирки, зонд извлекают, а приготовленную таким образом пробу передают в лабораторию.

В обеих группах в динамике оценивали уровень боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), сроки уменьшения и исчезновения боли, сроки уменьшения патологических элементов (афт) в размерах, сроки заживления (эпителизации).

При статистической обработке данных для оценки достоверности результатов использовали метод непараметрической статистики с применением *U*-критерия Манна—Уитни. Различия между величинами считали статистически значимыми при уровне достоверности $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При осмотре полости рта у пациентов определялись одна или несколько одиночно расположенных афт от 2 до 8 мм, овальной или круглой формы, покрытые

Таблица 1. Частота выявления повышенного роста представителей микробиоты у пациентов с РАС до и после лечения, %

Table 1. Frequency of detection of increased growth of microbiota representatives in patients with RAS before and after treatment (in percent)

Представители микробиоты полости рта	До лечения		После лечения	
	I группа	II группа	I группа	II группа
<i>Streptococcus</i> spp. ($>10^3$ КОЕ/мл)	35	33	15	20
<i>Staphylococcus</i> spp. ($>10^4$ КОЕ/мл)	15	17	10	13
<i>Enterobacteriaceae</i> spp. (>100 КОЕ/мл)	25	23	—	—
<i>Candida albicans</i> (>100 КОЕ/мл)	30	27	5	7
<i>Neisseria subflava</i> ($>10^4$ КОЕ/мл)	5	7	—	—
<i>Lactobacillus</i> ($\geq 10^4$ КОЕ/мл)	50	50	100	100
Нормальный рост представителей микробиоты	20	20	70	60

фибринозным налетом, с венчиком гиперемии по периферии, на фоне незначительного отека (рис. 1). При гlandулярной форме афты локализовались в зоне концевых отделов выводных протоков малых слюнных желез (слизистая губ, щек, мягкого нёба, дна полости рта; рис. 2 и 3).

По ВАШ пациенты в среднем оценивали степень болезненности на 4–6 баллов.

По данным микробиологического исследования лишь у 20% пациентов основной и контрольной групп не выявлены отклонения в составе микробиоты, тогда



Рис. 1. Афта слизистой оболочки языка
Fig. 1. Aphthae of tongue mucosa



Рис. 2. Афта слизистой оболочки нижней губы
Fig. 2. Aphthae of lower lip mucosa



Рис. 3. Афты на нижней поверхности языка с переходом на дно полости рта
Fig. 3. Aphthae of sublingual mucosa

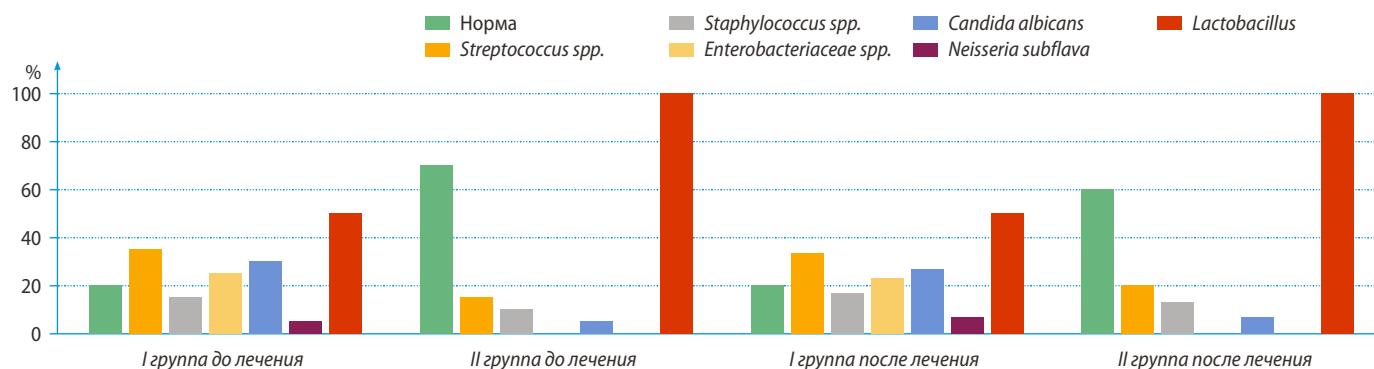


Рис. 4. Динамика изменений состава микробиоты пациентов с РАС
Fig. 4. Changes in microbiota composition in patients with RAS

как у преобладающей доли (80%) пациентов обнаружены признаки дисбиотического сдвига и дисбактериоза (табл. 1, рис. 4).

Дисбиотический сдвиг наблюдался у трети пациентов – 12 (30%) человек в основной и 8 (27%) человек в контрольной группе. Для него было характерно количественное превышение одного из видов условно-патогенных микроорганизмов при сохранении нормального видового состава основной части микробиоты. Представители лактобактерий при этом выявлялись в достаточном количестве (не менее 10^4 КОЕ/мл). У половины пациентов наблюдался дисбактериоз I–II степени, при котором выявлялся повышенный рост двух видов условно-патогенных представителей микрофлоры на фоне снижения количества или отсутствия лактобактерий. По результатам исследования чаще всего были превышены (более 10^3 КОЕ/мл) показатели роста *Streptococcus spp.*, таких как *Streptococcus pneumoniae* и *Streptococcus viridans* (*Streptococcus mutans*, *Streptococcus salivarius*, *Streptococcus mitis*), – у 14 (35%) основной и у 10 (33%) пациентов контрольной группы. Также у 12 (30%) пациентов основной и 8 (27%) пациентов контрольной группы повышенный рост давали грибы *Candida albicans* (более 100 КОЕ/мл). Наряду с ними в повышенном количестве выявлялись стафилококки, а именно *Staphylococcus aureus* (более 10^4 КОЕ/мл), у 6 (5%) пациентов в основной и у 5 (17%) пациентов в контрольной группе. У ряда пациентов повышенный рост давали *Enterobacteriaceae spp.*, такие как *Escherichia coli* и *Klebsiella* (более 100 КОЕ/мл), – у 10 (25%) пациентов основной и у 7 (23%) пациентов контрольной

группы, а также *Neisseria subflava* (более 10^4 КОЕ/мл) – у 2 (5%) пациентов основной и у 2 (7%) контрольной группы. При дисбактериозе I–II степени в основном встречались ассоциации *Candida albicans* со стрептококками и энтеробактериями. Сочетание повышенного роста *Candida albicans* с *Streptococcus aureus* выявлялось у 7 (18%) пациентов основной и 5 (17%) пациентов контрольной группы, в то время как ассоциация *Candida albicans* и *Enterobacteriaceae spp.* выявлялась у 5 (13%) пациентов основной и у 3 (10%) пациентов контрольной группы.

После лечения микробиологические показатели значительно улучшились в обеих группах. Однако в основной группе результаты были лучше. Количество пациентов с отсутствием отклонений в составе микробиоты полости рта после лечения в основной группе увеличилось до 28 (70%) человек, а в контрольной – до 18 (60%). У остальных пациентов изменения микробиологических показателей носили характер легкого дисбиотического сдвига, в основном за счет повышенного содержания кокковой флоры, на фоне нормального содержания других представителей микробиоты, в том числе лактобактерий. Дисбактериоз I–II степени после лечения не обнаружен ни в одной группе.

По данным ПЦР-диагностики мазков из полости рта у пациентов с РАС до лечения в обеих группах с большой частотой выявлялись ВПГ-1, ВПГ-2 – у 30 (75%) пациентов основной и у 21 (70%) контрольной группы. В большинстве случаев ВПГ выявляли на фоне изменений количественного состава микробиоты, на фоне роста стрептококков, энтробактерий и *Candida albicans*. Частота выявления ВЭБ в основной группе составила 25 (63%) случаев и 17 (57%) в контрольной. Цитомегаловирус в соскобах с поверхности афт определялся у 21 (53%) пациентов основной и у 15 (50%) контрольной группы (табл. 2).

Данные ПЦР-диагностики после лечения показали положительные результаты в обеих группах. Пациенты, у которых определялись ВПГ-1 и ВПГ-2, в основной группе составили 11 (28%) человек, а в контрольной – 12 (40%). Случаи выявления ВЭБ и ЦМВ в соскобах у пациентов с РАС после лечения в основной группе

Таблица 2. Частота выявления вирусов у пациентов с РАС до и после лечения, %

Table 2. Frequency of virus detection in patients with RAS before and after treatment (in percent)

	До лечения		После лечения	
	I группа	II группа	I группа	II группа
Вирус простого герпеса 1, 2 типа	75	70	28	40
Вирус Эпштейна—Барр	63	57	23	33
Цитомегаловирус	53	50	18	23

уменьшились до 9 (23%) и 5 (13%), а в контрольной — до 10 (33%) и 7 (23%) соответственно.

У пациентов основной группы до лечения наблюдалась ассоциации различного рода между вирусами семейства герпеса и другими микроорганизмами. У 12 (30%) пациентов встречалось сочетание ВПГ-1, ВПГ-2 с ВЭБ и ЦМВ. В 5 (13%) случаях встречались ассоциации вирусов герпеса с *Candida albicans* и стрептококками и в 4 (10%) — вирусов герпеса с *Candida albicans* и энтеробактериями (рис. 5).

Динамика развития клинических признаков и сроки эпителизации элементов поражения у пациентов с РАС в обеих группах до лечения были одинаковыми. В среднем пациенты отмечали уменьшение болезненности в полости рта (до 2–3 баллов по ВАШ) к 5-му дню без лечения. Уменьшение элементов поражения в размере наблюдали к 8-му дню, а эпителизацию афт без лечения — в среднем на 12-й день.

После лечения у пациентов в обеих группах клинически наблюдалась положительная динамика (табл. 3). В основной группе на фоне применения препарата «Суперлимф» пациенты отмечали значительное уменьшение (до 1–2 баллов) или полное исчезновение болезненности афт в среднем на 2-й день лечения, а в контрольной — к 3-му. Уменьшение афт в размерах в основной группе происходило в среднем на 4-й день, а полная эпителизация элемента — на 7-й. В контрольной группе афты уменьшались в размере к 6-му дню лечения, а полностью проходили на 10-й день.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Местное применение иммуномодулирующего препарата «Суперлимф» у пациентов с РАС показало лучшие результаты, а именно отмечено сокращение сроков клинических проявлений (уменьшение боли и размеров патологических элементов) и ускорение эпителизации афт, наряду с традиционными средствами для местного симптоматического лечения.

Данные клинических и лабораторных исследований, положительная динамика течения заболевания свидетельствуют об эффективности применения препарата «Суперлимф» при лечении РАС. При использовании препарата пациенты отмечали исчезновение болезненности на 2-й день, уменьшение афт в размерах на 4-й день,

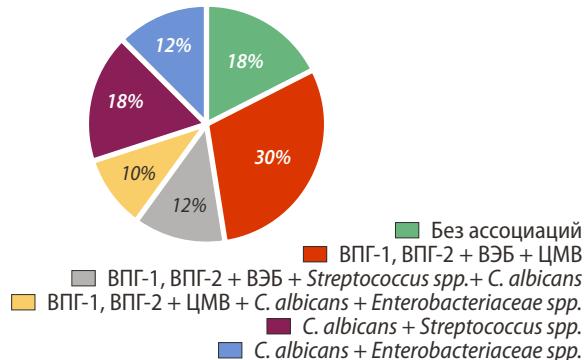


Рис. 5. Ассоциации микроорганизмов и вирусов у пациентов основной группы до лечения

Fig. 5. Associations of microorganisms and viruses in patients of the main group before treatment

Таблица 3. Динамика изменений клинических проявлений у пациентов с РАС на фоне лечения, дни

Table 3. Dynamics of changes in clinical manifestations in patients with RAS during treatment, days

	До лечения		После лечения	
	I группа	II группа	I группа	II группа
Уменьшение болезненности	5,0±0,4	5,0±0,4	2,0±0,4	3,0±0,3
Уменьшения размера афт	8,0±0,8	8,0±0,9	4,0±0,3	6,0±0,4
Эпителизация поражений	12,0±1,2	12,0±1,4	7,0±0,5	10,0±0,9

и полную эпителизацию элементов на 7-й день. Полученные положительные результаты можно объяснить определенным иммунологическим эффектом препарата за счет противомикробных пептидов и цитокинов. Общеизвестно, что микробиологическое состояние является отражением эффективности иммунной системы. Именно поэтому нормализация микробного пейзажа происходит на фоне местного применения иммуномодулирующего препарата. Изучение иммунологического статуса пациентов с РАС будет целью последующих исследований.

Поступила/Received: 25.11.2024

Принята в печать/Accepted: 01.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Kaur R., Behl A.B., Punia R.S., Nirav K., Singh K.B., Kaur S. Assessment of prevalence of recurrent aphthous stomatitis in the North Indian population: A cross-sectional study. — *J Pharm Bioallied Sci.* — 2021; 13 (Suppl 1): S363-S366. [PMID: 34447110](#)
- Collado Pérez V.C., Pérez Suárez M.C., Collado Hernández C.M., Pérez Núñez V. [Prevalence of recurrent aphthous stomatitis in a family medical office, Manzanillo, Cuban. A cross-sectional study]. — *Rev Cient Odontol (Lima).* — 2023; 11 (4): e172 (In Spanish). [PMID: 38312464](#)
- Taheri M.H., Eshraqi A.M., Anwari A., Stanikzai A.M. Prevalence of recurrent aphthous ulcers among dentistry students' in Kabul, Afghanistan: A questionnaire-based study. — *Clin Cosmet Investig Dent.* — 2022; 14: 275—279. [PMID: 36132195](#)
- Baş Y., Seçkin H.Y., Kalkan G., Takçı Z., Önder Y., Çitil R., Demir S., Şahin Ş. Investigation of Behcet's disease and recurrent aphthous stomatitis frequency: The highest prevalence in Turkey. — *Balkan Med J.* — 2016; 33 (4): 390—5. [PMID: 27606133](#)

5. Shulman J.D. Prevalence of oral mucosal lesions in children and youths in the USA. — *Int J Paediatr Dent.* — 2005; 15 (2): 89—97. [PMID: 15790365](#)
6. Jin B., Wang P., Liu P., Wang Y., Guo Y., Wang C., Jia Y., Zou R., Niu L. Genetic connectivity of gut microbiota and oral ulcers: A Mendelian randomization study. — *Int Dent J.* — 2024; 74 (4): 696—704. [PMID: 38458846](#)
7. Yang Z., Cui Q., An R., Wang J., Song X., Shen Y., Wang M., Xu H. Comparison of microbiomes in ulcerative and normal mucosa of recurrent aphthous stomatitis (RAS)-affected patients. — *BMC Oral Health.* — 2020; 20 (1): 128. [PMID: 32349736](#)
8. Seoudi N., Bergmeier L.A., Drobniwski F., Paster B., Fortune F. The oral mucosal and salivary microbial community of Behcet's syndrome and recurrent aphthous stomatitis. — *J Oral Microbiol.* — 2015; 7: 27150. [PMID: 26037240](#)
9. Zhu Z., He Z., Xie G., Fan Y., Shao T. Altered oral microbiota composition associated with recurrent aphthous stomatitis in young females. — *Medicine (Baltimore).* — 2021; 100 (10): e24742. [PMID: 33725829](#)
10. Грудянов А.И., Фоменко Е.В., Лепихова А.А., Фролова О.А. Изучение клинической эффективности местного применения препарата на основе комплекса антимикробных пептидов и цитокинов при лечении пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта. — *Стоматология для всех.* — 2022; 4 (101): 12—17.
- [Grudyanov A.I., Fomenko E.V., Lepikhova A.A., Frolova O.A. Study of the clinical efficacy of the crystalline form of the immunomodulatory drug based on antimicrobial peptides and cytokines complex in the treatment of patients with inflammatory periodontal diseases. — *International Dental Review.* — 2022; 4 (101): 12—17 (In Russian)]. [eLibrary ID: 49973903](#)
11. Грудянов А.И., Фоменко Е.В., Беркутова И.С. Изучение клинической эффективности местного иммуномодулирующего препарата Суперлимф при лечении пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом легкой степени. — *Клиническая стоматология.* — 2022; 1: 44—47.
- [Grudyanov A.I., Fomenko E.V., Berkutova I.S. Clinical evaluation of Superlymph a local immunomodulator in the treatment of patients with a slight chronic generalized periodontitis. — *Clinical Dentistry (Russia).* — 2022; 1: 44—47 (In Russian)]. [eLibrary ID: 48156197](#)
12. Просокова С.В., Воронецкая В.А., Еникеев А.М., Кутузов Д.Н., Пирогов А.Е., Богданова К.М. Оценка эффективности иммуномодулирующей терапии при лечении травматических поражений слизистой оболочки полости рта у ортодонтических пациентов. — *Медицинский алфавит.* — 2023; 20: 35—37.
- [Proskokova S.V., Voronetskaya V.A., Enikeev A.M., Kutuzov D.N., Pirogov A.E., Bogdanova K.M. Evaluation of the effectiveness of immunomodulatory therapy in the treatment of traumatic lesions of the oral mucosa in orthodontic patients. — *Medical alphabet.* — 2023; 20: 35—37 (In Russian)]. [eLibrary ID: 55862429](#)



ДЕНТАЛ-ЭКСПО САМАРА 2025

5-7 ноября

Де[®] МИР СТОМАТОЛОГИИ
САМАРА

28-я межрегиональная
специализированная
выставка-форум



ЭКСПО-ВОЛГА
организатор выставок с 1986 г.

И.Н. Усманова¹,д.м.н., профессор кафедры
терапевтической стоматологии**И.А. Лакман²,**к.т.н., доцент кафедры биомедицинской
инженерии, зав. лабораторией
исследования социально-экономических
проблем регионов**О.А. Гурьевская^{3,4},**к.м.н., ассистент кафедры стоматологии
ДПО; стоматолог-терапевт**А.И. Булгакова¹,**д.м.н., профессор, зав. кафедрой пропедев-
тики стоматологических заболеваний**О.Х. Борзилова¹,**к.м.н., доцент кафедры анатомии человека
К.Ш. Фазлыахметова¹,
студентка III курса факультета лечебного
дела**А.А. Хафизова⁵,**студентка V курса института клинической
медицины**И.И. Терегулов¹,**магистр биологических наук, м.н.с.
морфологической лаборатории**Ю.Л. Васильев^{6,7},**д.м.н., профессор кафедры оперативной
хирургии и топографической анатомии;
с.н.с. лаборатории антимикробной
фотодинамической терапии¹ БашГМУ, 450000, Уфа, Россия² Уфимский университет науки
и технологий, 450076, Уфа, Россия³ ОмГМУ, 644099, Омск, Россия⁴ Стоматологическая клиника «Элита»,
644012, Омск, Россия⁵ РНИМУ им. Н.И. Пирогова,
117513, Москва, Россия⁶ Сеченовский университет,
119048, Москва, Россия⁷ РГУ МИРЭА, 125993, Москва, Россия

Анализ данных иммуногистохимического исследования слизистой оболочки полости рта при эрозивно-язвенной форме плоского лишая

Реферат. Использование цитологического исследования позволяет всесторонне провести клиническую диагностику эрозивно-язвенной формы (ЭЯФ) плоского лишая (ПЛ) слизистой оболочки рта (L43.82) с целью исключения озлокачествления. **Цель исследования** — оценка экспрессии факторов антигенности (HLA-DR), фиброза (MMP-9, TGF- β), белка острой фазы воспаления (TNF- α), воспалительно-клеточной инфильтрации (CD68) методом иммуногистохимического исследования в диагностике ЭЯФ ПЛ. **Материалы и методы.** Проанализированы 14 случаев пациентов с ЭЯФ и 8 с типичной формой ПЛ. У них были отобраны образцы биоптатов слизистой оболочки щеки для иммуногистохимического анализа. Плотность изучаемых клеток измеряли в интраэпителиальной и субэпителиальной областях. При статистической обработке данных применяли многофакторный дисперсионный анализ, а также корреляционный и регрессионный анализ. **Результаты.** При ЭЯФ ПЛ количество антигена HLA-DR+ в 6,2 раза, экспрессия фагоцитарных макрофагов CD68+ в субэпителиальной области в 6,6 раза, TNF- α -+клеток в 2 раза, количество MMP-9+-клеток в 2,4 раза, TGF- β -позитивных клеток в 5,7 раза выше значений при типичной (ретикулярной) форме ($p\leq 0,05$). Фагоцитарные макрофаги CD68+ связаны с иммунопатогенезом ПЛ СОР.

что указывает на провоспалительную активность и регуляторную роль в типе Т-клеточного ответа. Кроме того, CD68+ макрофаги могут участвовать в диагностике ПЛ СОР. **Заключение.** При ЭЯФ ПЛ СОР наблюдались высокие уровни факторов антигенности (HLA-DR), фиброза (MMP-9, TGF- β), белка острой фазы воспаления (TNF- α), воспалительно-клеточной инфильтрации (CD68), что стало критерием соблюдения онконастороженности.

Ключевые слова: эрозивно-язвенная форма плоского лишая, иммуногистохимия, макрофаги, Т-клетки, HLA-DR+-клетки, плотность макрофагов, CD68+, экспрессия белков, TNF- α , TGF- β

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Усманова И.Н., Лакман И.А., Гурьевская О.А., Булгакова А.И., Борзилова О.Х., Фазлыахметова К.Ш., Хафизова А.А., Терегулов И.И., Васильев Ю.Л. Анализ данных иммуногистохимического исследования слизистой оболочки полости рта при эрозивно-язвенной форме плоского лишая. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 31—37. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_31

I.N. Usmanova¹,Doctor of Science in Medicine, professor
of the Therapeutic dentistry Department**I.A. Lakman²,**PhD in Engineering, assistant professor
of the Biomedical engineering Department,
head of the Scientific Lab for the study
of socio-economic problems of regions**O.A. Gurievskaya^{3,4},**PhD in Medical Sciences, assistant professor
of the Dentistry Department; dental therapist

Immunohistochemical study data analysis off oral mucosa in the erosive and ulcerative form of the lichen planus

Abstract. The use of cytologic examination enables a comprehensive clinical diagnosis of the erosive an ulcerative form (L43.82) of the Lichen Planus in the oral mucosa (EUF LP OM) to exclude malignancy. **The goal** of the study consisted of evaluating the expression of the factors of antigenicity (HLA-DR), fibrosis (MMP-9, TGF- β), acute phase inflammation protein (TNF- α), inflammatory cell infiltration (CD68) by immunohistochemical study in the diagnosis of the erosive and ulcerative form

A.I. Bulgakova¹,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Dentistry diseases propaedeutics Department

O.H. Borzilova¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Human anatomy Department

K.Sh. Fazlyakhmetova¹,

3rd year student of the Faculty of Medicine

A.A. Khafizova⁵,

5th year student at the Institute of Clinical Medicine

I.I. Teregulov¹,

Master of Biological Sciences, junior researcher of the morphological Lab

Yu.L. Vasil'ev^{6,7},

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Operative surgery and topographic anatomy Department; senior researcher at the Antimicrobial Photodynamic Therapy Lab

of the Lichen Planus in the oral mucosa (L43.82). **Materials and methods.** The study involved the analysis of 14 cases of the EUF and 8 with the typical form of the Lichen Planus in the oral mucosa (OM) from whom the buccal mucosa biopsy samples have been taken for immunohistochemical analysis of antigenicity factors (HLA-DR), fibrosis (MMP-9, TGF- β), acute phase inflammation protein (TNF- α), and inflammatory cell infiltration (CD68). The density of the HLA-DR+, MMP-9+, CD68+, TGF- β cells studied has been measured in intraepithelial and subepithelial areas. Multivariate analysis of variance, as well as correlation and linear regression have been used as statistical tests. **Results.** In the erosive and ulcerative form of the Lichen Planus (EUF LP), the amount of HLA-DR+ antigen has been 6.2 times higher, expression of phagocytic macrophages CD68+ in the subepithelial area has been 6.6 times higher, TNF- α + cells has been 2 times higher, the number of MMP-9+ cells has been 2.4 times higher, and of TGF- β positive cells has been 5, 7 times higher than the values of typical (reticular) form ($p \leq 0.05$). Phagocytic macrophages CD68+ have been associated with immunopathogenesis of the LP OM, indicating pro-inflammatory activity and regulatory role in the type of T cell response. Furthermore, CD68+ macrophages may be involved in the diagnosis of the LP OM. **Conclusion.** High levels of the factors of antigenicity (HLA-DR), fibrosis (MMP-9, TGF- β), acute phase inflammation protein (TNF- α), inflammatory cell infiltration (CD68) have been observed in the erosive and ulcerative form of the LP OM, which has become a criterion for cancer alertness.

Key words: erosive and ulcerative form of the Lichen Planus, immunohistochemistry, macrophages, T cells, HLA-DR+ cells, CD68+ macrophage density, protein expression of TNF- α and TGF- β

FOR CITATION:

Usmanova I.N., Lakman I.A., Gurievskaya O.A., Bulgakova A.I., Borzilova O.H., Fazlyakhmetova K.Sh., Khafizova A.A., Teregulov I.I., Vasil'ev Yu.L. Immunohistochemical study data analysis off oral mucosa in the erosive and ulcerative form of the lichen planus. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 31—37 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_31

¹ Bashkir State Medical University,
450000, Ufa, Russia

² Ufa University of Science and
Technology, 450076, Ufa, Russia

³ Omsk State Medical University,
644099, Omsk, Russia

⁴ Dental clinic "Elite", 644012, Omsk, Russia

⁵ Pirogov Russian National
Research Medical University,
117513, Moscow, Russia

⁶ Sechenov University,
119048, Moscow, Russia

⁷ MIREA – Russian Technological
University, 125993, Moscow, Russia

ВВЕДЕНИЕ

Плоский лишай (ПЛ) является относительно распространенной патологией слизистой оболочки рта, опосредованной аутоиммунным заболеванием с нарушением Т-клеток. ПЛ усугубляется кластером дифференцировки 4+ (CD4+) Т-клеточных лимфоцитов, инфильтрирующих очаги поражения, может поражать все слизистые оболочки, в том числе полость рта, в среднем риск озлокачествления варьирует от 1,14 до 2,38% случаев [1–3].

Клинические проявления эрозивно-язвенной формы (ЭЯФ) ПЛ на слизистой оболочке рта представляет собой выраженное хроническое воспаление с наличием папул и эрозивно-язвенных элементов с характерными периодами ремиссии [4].

Диагностика ЭЯФ ПЛ сложна, должна основываться на сочетании классических клинических и гистопатологических критериев: ликворной дегенерации базального слоя эпителия и наличием воспалительного инфильтрата с полосчатым видом в поверхностном кориуме, дегенерацией базального слоя, наличием клеток Чиватта, проявлениями гиперкератоза [5], наличием лимфоцитов [6], отсутствием дисплазии эпителия [7], наличием

разжижения и дегенерацией базальных клеток, макрофагов, полосовидного инфильтрата лимфоцитов [8].

ПЛ остается заболеванием без четкой этиологии или этиопатогенеза с незначительным количеством частоты озлокачествления [9]. В связи с данным утверждением у данной категории лиц наряду с традиционным клиническим обследованием требуется проведение дополнительных иммуногистохимических исследований [10–12].

HLA-DR (Human Leukocyte Antigen DR, человеческий лейкоцитарный антиген – изотип DR) представляет собой receptor клеточной поверхности МНС класса II (главный комплекс гистосовместимости), кодируемый комплексом антигенов лейкоцитов человека. Основная функция HLA-DR заключается в представлении пептидных антигенов, потенциально чужеродных по происхождению, иммунной системе с целью выявления или подавления ответа Т-хелперных клеток, которые в конечном итоге приводят к выработке антител против того же пептидного антигена. Антигенпрезентирующие клетки (макрофаги, В-клетки и дендритные клетки) – это клетки, в которых обычно обнаруживаются DR. Повышенное количество DR-антитела

на поверхности клетки часто является ответом на стимуляцию и, следовательно, DR также является маркером иммунной стимуляции. Т-активированные лимфоциты с фенотипом HLA-DR+ — маркер поздней активации, показатель гиперреактивности иммунитета. По экспрессии данного маркера можно судить о выраженности и силе иммунного ответа. Появляется на Т-лимфоцитах после 3-го дня острого заболевания. При благоприятном течении заболевания снижается до нормы. Увеличение экспрессии на Т-лимфоцитах может наблюдаться при многих заболеваниях, связанных с хроническим воспалением, аутоиммунными патологиями и т.д.

Фактор некроза опухоли альфа (ФНО- α , TNF- α) относится к белкам острой фазы воспаления. Он высвобождается из макрофагов и макрофагальных клеток, клеток Лангерганса, активных кератиноцитов и т.д. В области поражения это приводит к адгезии нейтрофильных, эндотелиальных клеток и к миграции лейкоцитов. Взаимодействие между макрофагами и Т-клетками подчеркивает важность фагоцитарных макрофагов в прогрессировании изучаемой патологии слизистой оболочки рта.

Цель и задачи исследования — количественное измерение выраженности экспрессии факторов антигенных (HLA-DR), фиброза (MMP-9, TGF- β), белка острой фазы воспаления (TNF- α), воспалительно-клеточной инфильтрации (CD68) методом иммуногистохимического исследования при диагностике ЭЯФ ПЛ слизистой оболочки рта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено двухцентровое исследование 111 пациентов двух дерматовенерологических лечебных учреждений Уфы и Омска от 31 года до 60 лет с диагнозом «красный плоский лишай слизистой полости рта» в типичной (бессимптомной) или эрозивно-язвенной форме с давностью заболевания не более 10 лет. В исследование не включали пациентов с диагнозом «красный плоский

лишай слизистой полости» в типичной (симптомной), экссудативно-гиперемической, гиперкератотической, буллезной и атипичной форме.

Все пациенты проходили комплексное стоматологическое обследование-опрос, осмотр, оценку жалоб и данных анамнеза. Клинические критерии включения в исследование: двустороннее, симметричное поражение на слизистой оболочке дистального участка щеки; зоны гиперемии и сетки Уитхема; эрозивно-язвенные элементы на слизистой оболочке рта. Гистопатологические критерии: наличие четко очерченной полосо-видной зоны клеточной инфильтрации, ограниченной поверхностной частью соединительной ткани; признаки разжижающей дегенерации в базальном клеточном слое и отсутствие эпителиальной дисплазии. При наличии всех критериев ставился окончательный диагноз — ЭЯФ ПЛ СОР (L43.82; рис. 1).

Для проведения иммуногистохимических реакций биопсийные ткани заливали в парафин по общепринятой технологии, толщина срезов составляла 4–5 мкм. Окраску проводили на аппарате Leica Microsystems Bond (ФРГ). Использовали антитела Novus Biologicals (США):

- 1) HLA-DR — человеческий лейкоцитарный антиген изотипа DR;
- 2) CD68 — маркер макрофагов;
- 3) MMP-9 — металлопротеиназа-9;
- 4) TGF- β — трансформирующий фактор роста бета;
- 5) TNF- α — фактор некроза опухоли альфа (ФНО- α).

Все антитела разводили до концентрации 1:300 после предварительного титрования. Для демаскировки использовали непрямую стрептавидин-биотиновую систему детекции Leica BOND (Novocastra, Германия). Подсчет специфически окрашенных клеток проводили под световым микроскопом в 20 полях зрения каждого образца при 400-кратном увеличении.

По итогам подсчета клеток вычисляли их медианное количество и значения 1-го и 3-го квартиля (Me [Q_1 ; Q_3]). Анализ данных проводили с использованием двухфакторного дисперсионного анализа и применения



Рис. 1. Дизайн исследования
Fig. 1. Study design

непараметрических методов — однофакторного дисперсионного анализа по Краскелу—Уоллесу и сравнения некоррелированных данных методом Манна—Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По итогам обследования пациентов поделили на 2 группы:

- I — 86 пациентов с ЭЯФ ПЛ СОР — 10 мужчин (средний возраст — $50,4 \pm 2,8$ года) и 76 женщин ($46,0 \pm 5,2$ года);
- II — 25 пациентов с типичной (ретикулярной) формой ПЛ на слизистой оболочке щек и ретромолярной области (L43.80) — 10 мужчин (средний возраст — $44,4 \pm 5,2$ года) и 15 женщин ($43,0 \pm 2,6$ года).

В I группе у 61 (71%) пациента, у 7 мужчин и 54 женщин, локализация эрозивно-язвенных элементов охватывала слизистую оболочку щек и ретромолярной области (коды 19, 20, 55, 56 по ТК ВОЗ). У 16 (19%) пациентов площадь эрозивно-язвенных элементов на слизистой оболочке щеки ретромолярной области варьировала от $2,89 \pm 0,16$ до $4,50 \pm 0,31$ см². Во II группе при типичной форме ПЛ в 8 (32%) случаях площадь ретикулярной сетки Уикхема составила 5 см². Для подтверждения хронического воспаления и соблюдения принципов онкоастороженности методом иммуногистохимического исследования в 18,6 и 32% случаев

Количество специфически окрашенных клеток после иммуногистохимического анализа

Number of specifically stained cells after immunohistochemical analysis

Антитела	I группа (n=86)		II группа (n=25)		p
	Me	Q ₁ —Q ₃	Me	Q ₁ —Q ₃	
HLA-DR	187	182—190	30	28—32	$\leq 0,05$
CD68	73	71—76	11	11—13	$< 0,05$
MMP-9	18	15—18	7,3	7—8	$\leq 0,05$
TGF- β	80	78—91	14	13—15	$\leq 0,05$
TNF- α	21	19—24	11	10—14	$\leq 0,05$

были изучены экспрессия HLA-DR+-клеток, подсчет специфически окрашенных клеток CD68+-макрофагов, белков TNF- α , TGF- β .

В биоптате пациентов с ЭЯФ методом непрямого иммуноферментного метода выявлено достоверно более высокое количество (187 клеток) антигена HLA-DR+ по сравнению с типичной формой (30 клеток; $p \leq 0,05$; рис. 2, таблица).

Несмотря на доминирующую роль лимфоцитов в патогенезе КПЛ в составе воспалительного инфильтрата преобладали макрофаги, которые располагались в эпидермисе и вдоль дермо-эпидермального соединения. В исследовании Т.М. Ferrisse и соавт. (2021), у 14 пациентов с ЭЯФ ПЛ СОР окрашенные антителами к CD68 макрофаги выявлялись чаще, чем среди пациентов с типичной формой ПЛ [8], что согласуется с нашими данными.

На основании данных R. Merry и соавт. (2012), макрофаги присутствуют в здоровой слизистой, а их количество значительно увеличивается при хроническом воспалении, макрофаги продуцируют высокие уровни провоспалительных цитокинов, таких как TNF- α [13], что подтверждает полученные нами данные.

При ЭЯФ ПЛ медиана экспрессии CD68+клеток в субэпителиальной области (73 клетки) в 6,6 раза превышает таковую у пациентов с типичной формой ПЛ (11 клеток; $p < 0,05$), что подтверждает обострение хронического воспаления, обуславливает его продолжительный и вялотекущий характер (рис. 3).

По данным A. Mantovani и соавт. (2007), фагоцитарные макрофаги обладают преимущественно противовоспалительным действием за счет секреции противовоспалительного цитокина TGF- β [14], что согласуется с нашими данными.

В качестве механизмов этиопатогенеза КПЛ СОР выступают дегрануляция тучных клеток и активация матричных металлопротеиназ, которые приводят к деградации и ремоделированию межклеточного матрикса. Источниками MMP-9 являются кератиноциты, моноциты, лаброциты, лейкоциты, макрофаги и фибробласты [15]. Выработка большого количества TNF- α во взаимодействии с макрофагами инициирует апоптоз базальных кератиноцитов и увеличивает скорость разрушения базальной мембраны MMP-9 продуцируемыми базальными клетками [13]. Приведенное утверждение полностью согласуется с данными, полученными

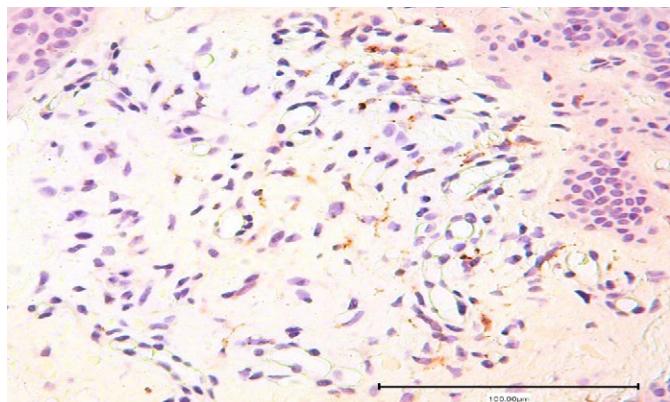
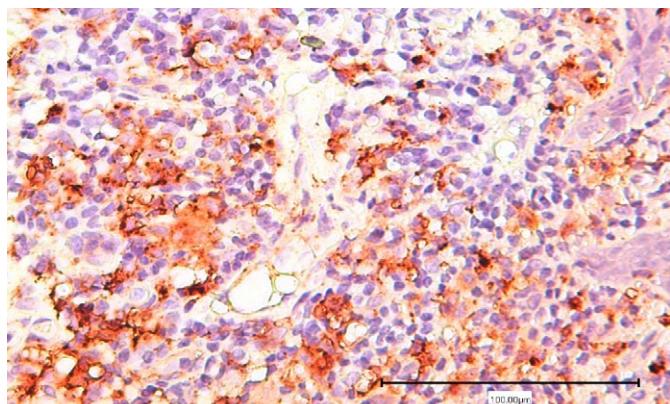


Рис. 2. HLA-DR+ клетки при эрозивно-язвенной и типичной (ретикулярной) форме плоского лишая слизистой оболочки щеки. Непрямой иммунопeroxидазный метод выявления HLA-DR с докраской гематоксилином, коричневое окрашивание клеток
Fig. 2. HLA-DR+ cells in erosive and ulcerative and typical (reticular) forms of the lichen planus in the buccal mucosa. Indirect immunoperoxidase method of HLA-DR detection with hematoxylin dyeing, and brown staining of cells

в нашем исследовании, и подтверждает характерные признаки хронического воспаления в стадии обострения, связанного с недостаточностью иммуносупрессивных механизмов. Хотя причины злокачественной трансформации ЭЯФ ПЛ до конца не выяснены, считается, что иммуносупрессия, вызванная некоторыми видами терапии, а также действие некоторых внешних мутагенных агентов (табак, алкоголь, кандидоз и ВПЧ) могут сделать слизистую оболочку рта более чувствительной, повышая риск озлокачествления. В этом отношении MMP-9 является потенциальным маркером злокачественной трансформации ЭЯФ ПЛ слизистой оболочки рта [16].

По данным M.R. Roopashree и соавт. (2010), активаторы MMP-9, высвобождаемые из Т-клеток при ПЛ способствуют активации про-MMP-9, приводя к разрушению базальной мембраны [17].

Хронический характер заболевания КПЛ также связан с недостаточностью иммуносупрессивных механизмов. В нашем исследовании в биоптатах ЭЯФ ПЛ СОР медианное количество MMP-9+ клеток (18) в 2,4 раза превышало их количество (7,3) при типичной форме ($p \leq 0,05$; рис. 4).

TGF- β могут проявлять различные клеточные популяции: макрофаги, фибробласты, миофибробласты. Данный цитокин стимулирует развитие малодифференцированных клеток в фибробластическом направлении,

синтезе ими коллагеновых волокон и новообразованной стромы, т.е. является профиброгенным фактором [18]. При ЭЯФ медианное количество TGF- β -позитивных клеток составило 80, при типичной – ($p \leq 0,05$; рис. 5).

Инфильтрирующие моноциты, рекрутированные в очаг поражения, развиваются провоспалительный фенотип из-за высокого уровня TNF- α и IFN- γ , вырабатываемых в этом месте [13], TNF могут продуцироваться CD68+ макрофагами [19], что подтверждает данные, полученные в нашем исследовании, и является критерием характерных признаков хронического воспаления при ЭЯФ ПЛ. Это приводит к клеточно-опосредованной цитотоксичности и разрушению кератиноцитов.

При высоких концентрациях в эпителиальных клетках TNF- α цитотоксичен и антипролиферативен, инициирует и пролонгирует заболевание [20]. С этой целью были определены его количественные характеристики TNF- α при различных формах КПЛ. При ЭЯФ медианное количество TNF- α + клеток составило 21, при типичной – ($p \leq 0,05$; рис. 6), т.е. при ЭЯФ количество цитокина TNF- α + в 2 раза больше, что полностью согласуется с данными, приведенными R. Meggy и соавт. (2012) [13].

Выработка большого количества TNF- α во взаимодействии с макрофагами инициирует апоптоз базальных кератиноцитов и увеличивает скорость разрушения базальной мембраны MMP-9 продуцируемыми базальными клетками [13, 17]. Приведенное утверждение

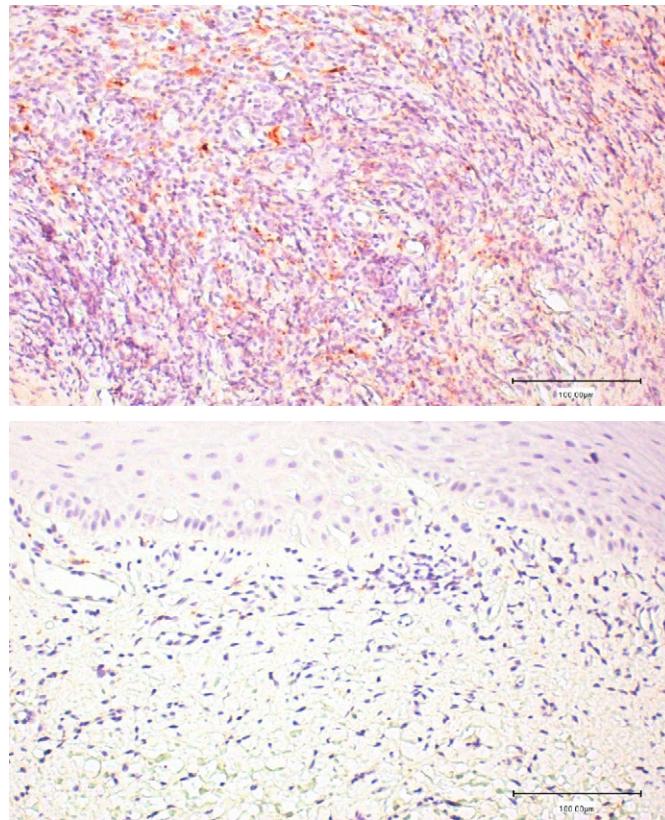


Рис. 3. Выявление CD68+ клеток при эрозивно-язвенной и типичной форме плоского лишая (коричневое окрашивание клеток). Непрямой иммунопероксидазный метод выявления CD68 с докраской гематоксилином

Fig. 3. Detection of CD68+ cells in erosive and ulcerative and typical forms of the lichen planus (brown staining of cells). Indirect immunoperoxidase method of CD68 detection with hematoxylin dyeing

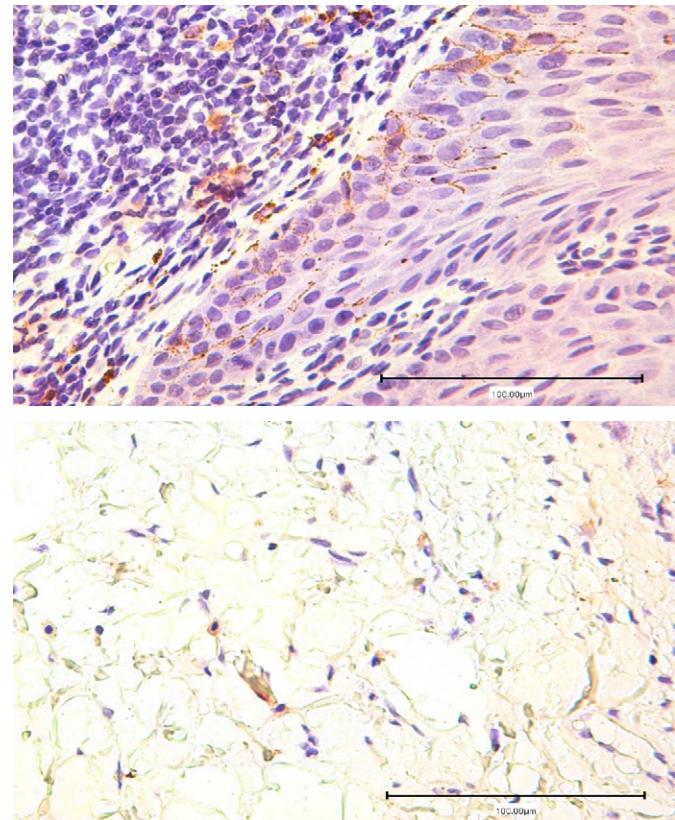


Рис. 4. Выявление MMP-9+ при эрозивно-язвенной и типичной форме плоского лишая. Непрямой иммунопероксидазный метод выявления MMP-9 с докраской гематоксилином и коричневое окрашивание клеток

Fig. 4. Detection of MMP-9+ cells in erosive and ulcerative and typical forms of the lichen planus. Indirect immunoperoxidase method of MMP-9 detection with hematoxylin dyeing, and brown staining of cells

полностью согласуется с данными, полученными в нашем исследовании, и подтверждает характерные признаки хронического воспаления в стадии обострения, связанного с недостаточностью иммunoупрессивных механизмов. Хотя причины злокачественной трансформации ЭЯФ ПЛ до конца не выяснены, считается, что иммunoупрессия, вызванная некоторыми видами терапии, а также действие некоторых внешних мутагенных агентов (табак, алкоголь, кандидоз и DGZ) могут сделать слизистую оболочку рта более чувствительной, повышая риск злокачествления. В этом отношении MMP-9 является потенциальным маркером злокачественной трансформации ЭЯФ ПЛ слизистой оболочки рта [16]. В слизистой оболочке с наличием клеток ПЛ содержится более высокая концентрация MMP-9+ по сравнению с лицами без дерматоза [20].

Провоспалительные макрофаги могут усугублять проявление ЭЯФ ПЛ слизистой оболочки рта за счет выработки таких агентов, как TNF- α или TGF- β +, выработка TNF- α макрофагами может инициировать апоптоз базальных кератиноцитов и косвенно увеличивать скорость разрушения базальной мембраны MMP-9, вырабатываемой Т-клетками [13], что подтверждает полученные нами данные.

При ПЛ слизистой оболочки рта клеточно-опосредованный иммунитет, инициированный эндо- или экзогенными факторами, приводит к выработке TNF- α ,

TGF- β + и ассоциации кератиноцитов/клеток/антитела-представляющих клеток.

В слизистой оболочке с наличием клеток ПЛ содержится более высокая концентрация MMP-9+ по сравнению с лицами без дерматоза [21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сравнительном аспекте ЭЯФ с типичной (ретикулярной) КПЛ наблюдались высокие уровни факторов антигенности (HLA-DR), что служит показателем активности Т-лимфоцитов, фиброза (MMP-9, TGF- β), разрушения базальной мембраны (MMP-9), белка острой фазы воспаления (TNF- α), воспалительно-клеточной инфильтрации (CD68). При типичной форме заболевания эти показатели были значительно снижены. Данные антитела могут служить важными индикаторами хронического воспаления, а также маркерами потенциальной злокачественной трансформации, что подчеркивает необходимость соблюдения принципа онкоастороженности при планировании и проведении лечебно-профилактических мероприятий у данной категории пациентов.

Поступила/Received: 02.02.2025

Принята в печать/Accepted: 28.02.2025

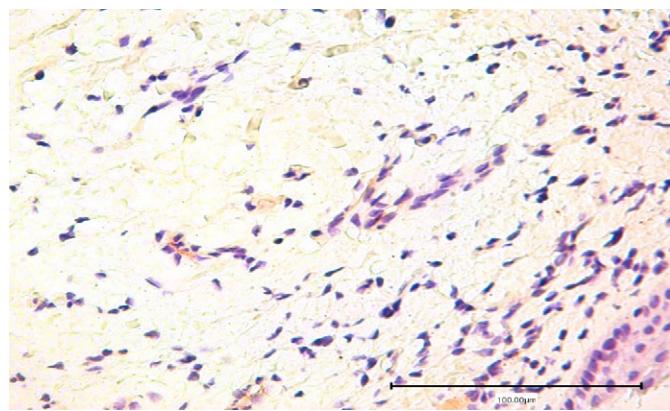
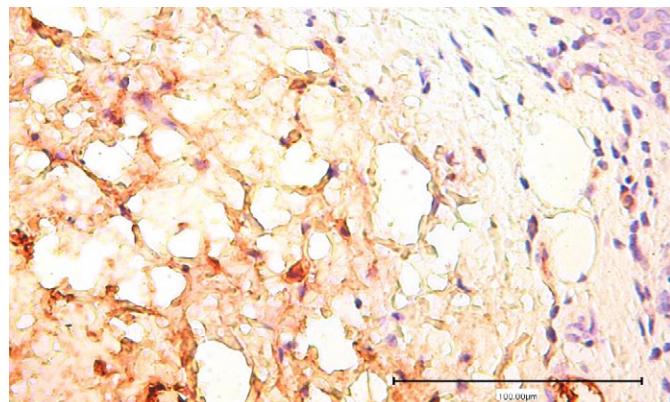


Рис. 5. Выявление TGF- β + -клеток при эрозивно-язвеннои и типичной форме плоского лишая. Непрямой иммунопeroxидазный метод выявления TGF- β с докраской гематоксилином

Fig. 5. Detection of TGF- β + cells in erosive and ulcerative and typical forms of the lichen planus. Indirect immunoperoxidase method of TGF- β detection with hematoxylin dyeing

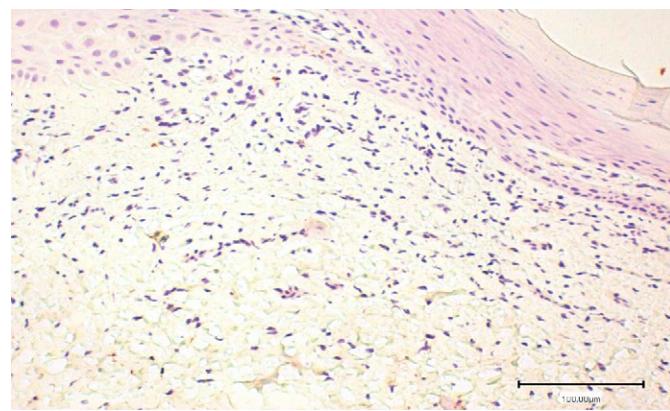
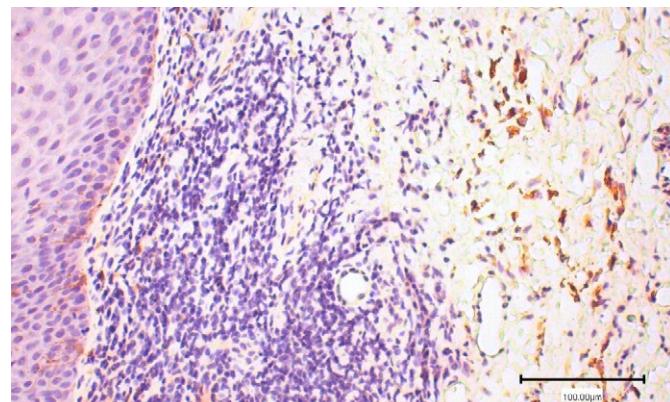


Рис. 6. Выявление TNF- α + -клеток при эрозивно-язвеннои и типичной форме красного плоского лишая. Непрямой иммунопeroxидазный метод выявления TNF- α с докраской гематоксилином, коричневое окрашивание клеток

Fig. 6. Detection of TNF- α + cells in erosive and ulcerative and typical forms of the lichen planus. Indirect immunoperoxidase method of TNF- α detection with hematoxylin dyeing, and brown staining of cells

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. González-Moles M.Á., Warnakulasuriya S., González-Ruiz I., González-Ruiz L., Ayén Á., Lenouvel D., Ruiz-Ávila I., Ramos-García P. Worldwide prevalence of oral lichen planus: A systematic review and meta-analysis. — *Oral Dis.* — 2021; 27 (4): 813—828. [PMID: 32144836](#)
2. González-Moles M.Á., Ramos-García P., Warnakulasuriya S. An appraisal of highest quality studies reporting malignant transformation of oral lichen planus based on a systematic review. — *Oral Dis.* — 2021; 27 (8): 1908—1918. [PMID: 33274561](#)
3. Iocca O., Sollecito T.P., Alawi F., Weinstein G.S., Newman J.G., De Virgilio A., Di Maio P., Spriano G., Pardiñas López S., Shanti R.M. Potentially malignant disorders of the oral cavity and oral dysplasia: A systematic review and meta-analysis of malignant transformation rate by subtype. — *Head Neck.* — 2020; 42 (3): 539—555. [PMID: 31803979](#)
4. Гурьевская О.А., Ливзан М.А., Усманова И.Н., Хисматуллина З.Р., Чепуркова О.А., Гранот И., Тиунова Н.В., Березин К.А. Некоторые особенности клинической манифестации типичных и осложненных форм красного плоского лишая на слизистой оболочке рта по данным наблюдения. — *Проблемы стоматологии.* — 2021; 1: 63—69.
[Guryevskaya O., Livzan M., Usmanova I., Hismatullina Z., Chepukova O., Granot Y., Tiunova N., Berezin K. Some features of clinical manifestation of typical and complicated forms of lichen planus on the oral mucosa according to observation data. — *Actual Problems in Dentistry.* — 2021; 1: 63—69 (In Russian)]. [eLibrary ID: 45699797](#)
5. Haqiqi M.A., Pourmoshir N., Bereshneh A.H. Clinical and genetic aspects of oral lichen planus. — *International Journal of Biomedical and Advance Research.* — 2016; 7: 251—256.
[DOI: 10.7439/ijbar.v7i6.3269](#)
6. DeAngelis L.M., Cirillo N., McCullough M.J. The immunopathogenesis of oral lichen planus—Is there a role for mucosal associated invariant T cells? — *J Oral Pathol Med.* — 2019; 48 (7): 552—559. [PMID: 31172572](#)
7. van der Meij E.H., van der Waal I. Lack of clinicopathologic correlation in the diagnosis of oral lichen planus based on the presently available diagnostic criteria and suggestions for modifications. — *J Oral Pathol Med.* — 2003; 32 (9): 507—12. [PMID: 12969224](#)
8. Ferrisse T.M., de Oliveira A.B., Palaçon M.P., Silva E.V., Massuca-to E.M.S., de Almeida L.Y., Léon J.E., Bufalino A. The role of CD68+ and CD163+ macrophages in immunopathogenesis of oral lichen planus and oral lichenoid lesions. — *Immunobiology.* — 2021; 226 (3): 152072. [PMID: 33677150](#)
9. Коучурова Е.В., Иконникова А.В., Джураева Ш.Ф. Взаимосвязь онкологической настороженности и малигнизации предопухолевых поражений слизистой оболочки полости рта в практике врача-стоматолога. — *Клиническая стоматология.* — 2023; 4: 12—17.
[Kochurova E.V., Ikonnikova A.V., Dzhuraeva Sh.F. Relationship of oncological alerts and magnification of precancer lesions of the oral mucosa in the practice of a dentist. — *Clinical Dentistry (Russia).* — 2023; 4: 12—17 (In Russian)]. [eLibrary ID: 59397983](#)
10. Warnakulasuriya S., Kujan O., Aguirre-Urizar J.M., Bagan J.V., González-Moles M.Á., Kerr A.R., Lodi G., Mello F.W., Monteiro L., Ogden G.R., Sloan P., Johnson N.W. Oral potentially malignant disorders: A consensus report from an international seminar on nomenclature and classification, convened by the WHO Collaborating Centre for Oral Cancer. — *Oral Dis.* — 2021; 27 (8): 1862—1880. [PMID: 33128420](#)
11. Перламутров Ю.Н., Старшинина В.А., Ольховская К.Б. Анализ данных иммуногистохимического исследования при красном плоском лишае слизистой оболочки полости рта на фоне папилломавирусной инфекции. — *Клиническая дерматология и венерология.* — 2018; 6: 46—52.
[Perlmutrov Yu.N., Starshinina V.A., Olkhovskaya K.B. Analysis of immunohistochemical data in the case of lichen ruber planus of the oral mucosa with underlying human papillomavirus infection. — *Russian Journal of Clinical Dermatology and Venereology.* — 2018; 6: 46—52 (In Russian)]. [eLibrary ID: 36950253](#)
12. Сыдиков А.А., Заславский Д.В., Садыков А.И., Чупров И.Н., Козлова Д.В., Насыров Р.А., Тимошчук Е.А. Вопросы иммуногистохимической характеристики красного плоского лишая и лichenoidной реакции кожи. — *Иммунопатология, аллергология, инфектология.* — 2020; 3: 66—72.
[Sidikov A.A., Zaslavsky D.V., Sadykov A.I., Chuprov I.N., Kozlova D.V., Nasyriv R.A., Timoshchuk E.A. Questions of immunohistochemical characteristics of lichen planus and lichenoid drug eruption of the skin. — *Immunopathology, Allergology, Infectology.* — 2020; 3: 66—72 (In Russian)]. [eLibrary ID: 44808883](#)
13. Merry R., Belfield L., McArdle P., McLennan A., Crean S., Foey A. Oral health and pathology: a macrophage account. — *Br J Oral Maxillofac Surg.* — 2012; 50 (1): 2—7. [PMID: 21310515](#)
14. Mantovani A., Sica A., Locati M. New vistas on macrophage differentiation and activation. — *Eur J Immunol.* — 2007; 37 (1): 14—6. [PMID: 17183610](#)
15. Adamcová M., Potáčová A., Popelová O., Štěrba M., Mazurová Y., Upperman H., Gersl V. Cardiac remodeling and MMPs on the model of chronic daunorubicin-induced cardiomyopathy in rabbits. — *Physiol Res.* — 2010; 59 (5): 831—836. [PMID: 20406046](#)
16. Rubaci A.H., Kazancioglu H.O., Olgac V., Ak G. The roles of matrix metalloproteinases-2, -7, -10 and tissue inhibitor of metalloproteinase-1 in the pathogenesis of oral lichen planus. — *J Oral Pathol Med.* — 2012; 41 (9): 689—96. [PMID: 22554030](#)
17. Roopashree M.R., Gondhalekar R.V., Shashikanth M.C., George J., Thippeswamy S.H., Shukla A. Pathogenesis of oral lichen planus—a review. — *J Oral Pathol Med.* — 2010; 39 (10): 729—34. [PMID: 20923445](#)
18. Rachmiel A., Leiser Y. The Molecular and Cellular Events That Take Place during Craniofacial Distraction Osteogenesis. — *Plast Reconstr Surg Glob Open.* — 2014; 2 (1): e98. [PMID: 25289295](#)
19. Di Benedetto P., Ruscitti P., Vadasz Z., Toubi E., Giacomelli R. Macrophages with regulatory functions, a possible new therapeutic perspective in autoimmune diseases. — *Autoimmun Rev.* — 2019; 18 (10): 102369. [PMID: 31404701](#)
20. Akpinar Kara Y. The measurement of serum TNF- α levels in patients with lichen planus. — *Acta Dermatovenerol Alp Pannonic Adriat.* — 2017; 26 (4): 85—88. [PMID: 29264897](#)
21. Zhou X.J., Sugerman P.B., Savage N.W., Walsh L.J. Matrix metalloproteinases and their inhibitors in oral lichen planus. — *J Cutan Pathol.* — 2001; 28 (2): 72—82. [PMID: 11168755](#)

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_38

Y. Mayasari,

doctoral student at the Faculty of Dentistry

R.R. Darwita,

PhD, professor at the Dental Public Health and Preventive Dentistry Department

F. Setiawati,

Dr, drg, professor at the Dental Public Health and Preventive Dentistry Department

H. Novrinda,

PhD, associate professor at the Dental Public Health and Preventive Dentistry Department

University of Indonesia,
16424, Depok, Indonesia**FOR CITATION:**Mayasari Y., Darwita R.R., Setiawati F., Novrinda H. Dental caries and quality of life of visually impaired children: A systematic review. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 38—49.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_38

Dental caries and quality of life of visually impaired children: A systematic review

Abstract. This study aimed to determine the prevalence of dental caries in visually impaired children, its impact on their quality of life, influencing factors, and to recommend effective preventive interventions. **Materials and methods.** A systematic literature review was conducted following PRISMA guidelines using secondary data from Scopus and PubMed. From 238 retrieved articles, title screening and duplicate removal reduced the count. Applying inclusion and exclusion criteria resulted in 77 articles, and after abstract screening and full-text examination, 30 articles were included in the study. **Results.** The study reveals a high prevalence of dental caries in visually impaired children, ranging from 57.7% to 71%, due to challenges in maintaining oral hygiene and limited dental care access. Dental caries adversely affects their quality of life, causing pain, discomfort, and functional limitations, underscoring the need for early detection and treatment. Internal factors such as oral hygiene practices, detection abilities, and saliva activity influence caries prevalence. External factors, including family support, access to dental services, and social environment, significantly impact the oral health and quality of life of these children. **Conclusion.** To prevent dental caries in visually impaired children, it is recommended to employ multisensory education, innovative techniques, family involvement, community programs, specialized prevention, early intervention, regular check-ups, and effective oral hygiene practices. Given the high risk of dental caries due to hygiene challenges and limited access to care, comprehensive interventions and family support are essential for improving oral health.

Key words: dental caries, tooth decay, visually impaired, blind, children, oral health

Ю. Майасари,
докторант стоматологического факультета
Р.Р. Дарвита,
доктор наук, профессор кафедры стоматологического общественного здравоохранения и профилактической стоматологии

Ф. Сетиавати,
профессор кафедры стоматологического общественного здравоохранения и профилактической стоматологии

Х. Новрinda,
доктор наук, доцент кафедры стоматологического общественного здравоохранения и профилактической стоматологии

Университет Индонезии,
16424, Депок, Индонезия**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Майасари Ю., Дарвита Р.Р., Сетиавати Ф., Новрinda Х. Влияние кариеса зубов на качество жизни детей с нарушениями зрения: систематический обзор. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 38—49.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_38

Влияние кариеса зубов на качество жизни детей с нарушениями зрения: систематический обзор

Реферат. Цель исследования — определить распространенность кариеса зубов у детей с нарушением зрения, его влияние на качество жизни, факторы влияния и рекомендовать эффективные профилактические мероприятия. **Материалы и методы.** Систематический обзор был проведен в соответствии с рекомендациями PRISMA с использованием вторичных данных из Scopus и PubMed. Из 238 найденных статей отбор по названию и удаление дубликатов позволили сократить число статей. В результате применения критерии включения и исключения было отобрано 77 статей, а после проверки аннотаций и изучения полного текста в исследование включено 30 статей. **Результаты.** Исследование показало высокую распространенность кариеса зубов у детей с нарушениями зрения — от 57,7 до 71%, что связано с трудностями в поддержании гигиены полости рта и ограниченным доступом к стоматологической помощи. Кариес зубов негативно влияет на качество их жизни, вызывая боль, дискомфорт и функциональные ограничения, что подчеркивает необходимость раннего выявления и лечения. Внутренние факторы: практика гигиены полости рта, способность к обнаружению и активность слюны — влияют на распространенность кариеса. Внешние факторы, включая поддержку семьи, доступ к стоматологическим услугам и социальное окружение, значительно влияют на здоровье полости рта и качество жизни этих детей. **Заключение.** Для профилактики кариеса у детей с нарушениями зрения рекомендуется использовать мультисенсорное обучение, инновационные методы, вовлечение семьи, общественные программы, специализированную профилактику, раннее вмешательство, регулярные осмотры и эффективные методы гигиены полости рта. Учитывая высокий риск развития кариеса зубов из-за проблем с гигиеной и ограниченного доступа к медицинской помощи, комплексные вмешательства и поддержка семьи необходимы для улучшения здоровья полости рта.

Ключевые слова: кариес зубов, кариес, инвалиды по зрению, слепые, дети, здоровье полости рта

INTRODUCTION

Dental caries is the most common chronic disease in children worldwide. According to the World Health Organization (WHO), dental caries affects a significant proportion of children worldwide, with figures indicating that 60 to 90% of schoolchildren are impacted by this oral health issue [1]. According to the National Basic Health Research in 2018, the prevalence of dental caries in Indonesia increased to 57.6 from 53.2% in 2013, with dental caries affecting up to 90% of the toddler population [2]. Moreover, other study highlighted that the prevalence of dental caries in Indonesia was 88.8%, with a root caries prevalence of 56.6% [3]. Furthermore, the Indonesia Basic Health Research (Rskesdas) in 2013 reported an increase in the prevalence of dental caries to 53.2% from 43.4% in 2007 [4].

The prevalence of dental caries in visually impaired children can range from 40% to as high as 98.7% [5]. Other study reported a dental caries prevalence of 71% in the blind group, indicating a significant burden of dental caries among visually impaired children [6]. The study highlighted that visually impaired individuals are at a higher risk of developing dental caries due to challenges in detecting early signs of caries development, such as discoloration, which serves as an early indication of the disease process [7]. Factors such as poor oral hygiene practices, dietary habits, limitations in cleaning ability, and inadequate parental and healthcare provider support contribute to the heightened risk of dental diseases in visually impaired children [8]. Visually impaired children often face challenges in maintaining proper oral hygiene, leading to issues such as gingivitis, periodontal diseases, and ultimately dental caries [9, 10]. They also tend to have difficulty accessing dental health facilities that are friendly and able to treat children with visual impairments. Additionally, the inability to visualize plaque on dental surfaces and the challenges in effective plaque removal are significant contributors to the development of caries and periodontal diseases in this population [11].

Dental caries not only causes pain and discomfort, but can also negatively affect the quality of life of a visually impaired child. These negative impacts include feeding difficulties caused due to pain and discomfort due to dental caries. This can cause nutritional deficiencies and result in physical and mental development of children to cause stunting [12]. Dental caries can impact the ability to engage in educational activities and daily routines. The pain and discomfort associated with dental caries can interfere with activities such as studying, sleeping, and eating, affecting the overall well-being and functioning of these children [13]. Difficulty socializing due to blind children with dental caries may feel embarrassed or uncomfortable to socialize with their friends because of bad breath or pain they experience [14]. This can cause them to feel isolated and lonely.

Understanding the impact of dental caries prevalence on the quality of life of visually impaired children is very important because it can be used as an effort to develop effective interventions to prevent dental caries in visually impaired children, can improve access to dental health services for visually impaired children, and increase public awareness about the importance of dental health in visually

impaired children. The results of this study are expected to help improve the quality of life of visually impaired children in Indonesia.

This study aimed to determine the prevalence data of dental caries in visually impaired children in various regions, the impact of dental caries on the quality of life of visually impaired children, what factors influence the relationship between dental caries and quality of life in visually impaired children, and recommend effective interventions to prevent dental caries in visually impaired children.

MATERIAL AND METHODS

The method used in this study is systematic literature review. This method is used to collect relevant research about impact of dental caries prevalence on quality of life of visually impaired children. The search instrument used by Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses (PRISMA).

Search strategy

This study is a systematic literature review that aimed to determine the prevalence data of dental caries in visually impaired children in various regions, the impact of dental caries on the quality of life of visually impaired children, what factors influence the relationship between dental caries and quality of life in visually impaired children, and recommend effective interventions to prevent dental caries in visually impaired children.

A literature search will be conducted in May 2024. The data used in this study were secondary data obtained from research conducted by previous researchers and not from direct research. The secondary data sources were obtained from reputable international journal articles according to predetermined themes. The literature was obtained from the Scopus and PubMed databases. Keywords related to “dental caries”, “oral hygiene”, “visually impaired”, “blind”, “children” and obtained 238 documents. Articles included in the search were those published in English from 2014–2024. During the search process, researcher used Boolean operators and wildcard characters precisely to focus our search and detect the singular or plural form of the same term in all databases used.

Study selection and eligibility criteria

The process of collecting data in this systematic literature review began with an article search. To prevent errors and bias in selecting articles, at least 2 researchers screened each article independently. Researchers filtered articles by title and abstract, and then assessed the full text of potentially relevant articles resulting in 30 articles worthy of use in the study. A further 30 articles underwent data extraction, where relevant information such as research location, research subjects and samples, research instruments, research design, and research results would be extracted and synthesized. Finally, a narrative synthesis would be performed to summarize the findings and identify patterns and themes throughout the study. Systematic review is a research method that can be used to answer these questions. It can combine results from several studies and provide stronger evidence

about the impact of dental caries prevalence on quality of life of visually impaired children.

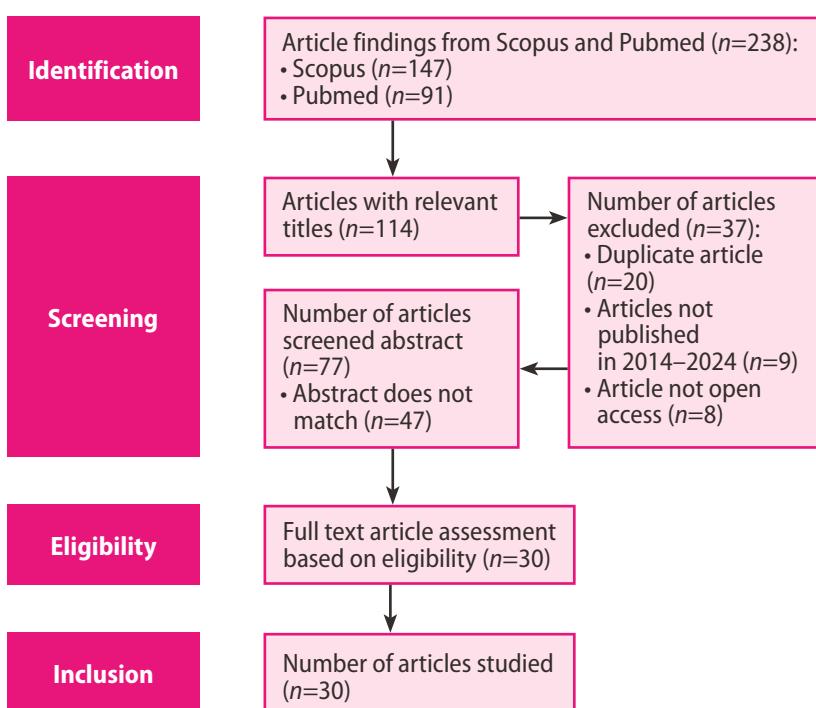
Inclusion criteria:

- Research article that discusses the impact of dental caries prevalence on quality of life of visually impaired children;
 - English language documents published in recent 10 years (2014–2024);
 - Open access full text available;
 - Research conducted in different countries;
 - Quantitative, qualitative, experimental research methods.
- Exclusion criteria:
- Systematic review;
 - Literature review;
 - Non-research.

RESULT

Based on the search results utilizing predetermined keywords and inclusion criteria, a total of 238 potential articles were initially retrieved from two prominent databases: Scopus ($n=147$) and PubMed ($n=91$). Subsequent to the title screening process, the number of articles with relevant titles is 114. Following the removal of duplicate articles ($n=20$), as well as those not published between 2014 and 2024 ($n=9$), and non-open access article ($n=8$). Total 77 articles were retained for further analysis. A subsequent screening of abstracts led to the evaluation of 77 articles, with 47 found to have abstracts not meeting the predetermined criteria (see Figure).

A subsequent assessment involving full-text examination was then conducted to ascertain eligibility, resulting in the inclusion of 30 articles for the study (see Table).



Article extraction process flowchart

DISCUSSION

Prevalence of dental caries in visually impaired children

Research about the prevalence of dental caries in visually impaired children indicates a high prevalence with rates ranging from 57.7% to 66.1% [24, 25, 39]. Research by Mishra et al. (2021) observed a high prevalence of dental caries in visually impaired children, with 71% affected, indicating a significant burden of this oral health issue in this specific group [26]. This finding is further supported by Sarwendah et al. (2022), who noted a low to moderate caries index in visually impaired children aged 6–12, emphasizing the presence of dental caries even in visually impaired individuals [31]. Additionally, Waheed et al. (2022) reported that 60.68% of children in their study had dental caries, further highlighting the widespread nature of this condition among children, including those with visually impaired [40].

The etiology of dental caries in visually impaired children is multifactorial, influenced by various factors contributing to the development of this oral health issue. One significant factor contributing to the increased prevalence of dental caries in visually impaired children is the challenges they encounter in maintaining optimal oral hygiene practices. Natarajan et al. (2023) highlighted that visually impaired individuals are at a higher risk of developing dental caries because they may not be able to detect early signs of caries development, such as discoloration, which serves as an early indication of the disease process [7]. This inability to visually identify oral health issues may lead to delayed detection and treatment of dental caries, contributing to its higher prevalence in visually impaired children. Moreover, the study by Liu et al. (2019) in Northeast China noted that visually impaired schoolchildren exhibited a high prevalence of dental caries, poor periodontal health, and severe malocclusion [25]. This suggests that the oral health status of visually impaired children may be compromised due to factors such as inadequate access to dental care, lack of awareness about oral hygiene practices, and difficulties in performing routine oral care tasks independently, all of which can contribute to the development of dental caries. Additionally, parental factors and socioeconomic status play a crucial role in the occurrence of dental caries in children, including those with visually impaired. Research Li et al. (2023) found that fluoride use and parents' educational background had an impact on the caries experience of visually impaired students [24]. This indicates that parental knowledge, attitudes, and practices regarding oral health can influence the oral health outcomes of visually impaired children, highlighting the importance of parental involvement in promoting good oral hygiene habits and preventive dental care.

Research results		Methods	Findings
Title, Author, Year Are teachers working with visually impaired children prepared to be advocates of oral health? Pilot study Chalas et al., 2023 [15]	Aims To assess the level of pro-health awareness in oral health prevention among teachers working with visually impaired children in Poland and Slovakia.	Sample 109 teachers working directly with visually impaired children.	Questionnaire survey. The knowledge of proper oral hygiene was found to be unsatisfactory, highlighting the need for further education and resources in this area.
Impact of verbal, braille text, and tactile oral hygiene awareness instructions on oral health status of visually impaired children Chowdary et al., 2016 [16]	Same as title.	120 institutionalized visually impaired children aged 6–16 years, divided into 3 groups: verbal and tactile, verbal and braille, and verbal, braille, and tactile	A prospective, interventional design with 3 groups receiving different types of oral hygiene instructions. Plaque and gingival scores were evaluated at 1, 3, and 6 months intervals. The reduction in plaque and gingival scores in all groups, with the highest reduction in plaque scores 70.6% and the highest reduction in gingival scores 84%.
Effectiveness of a novel oral health education technique in maintenance of gingival health and plaque removal efficacy among institutionalized visually impaired children of Bhubaneswar city: A randomized controlled trial. Das et al., 2019 [17]	To assess the effectiveness of the Audio Tactile Performance (ATP) technique in maintaining gingival health and plaque removal efficacy among institutionalized visually impaired children.	60 persons divided into control group (Braille combined with audio-aids) or test group (ATP).	Randomized controlled trial. The ATP technique was comparable to the control group. The gingival score reduction showed higher baseline scores in the test group (4.58 ± 1.63) than in the control group (4.12 ± 1.66), but the difference was not statistically significant.
New vision for improving the oral health education of visually impaired children – A non-randomized control trial. Debnath et al., 2017 [18]	To assess the effectiveness of innovative oral health education methods among visually impaired children in Bengaluru city, India, using a close-ended questionnaire and plaque index	40 visually impaired individuals attending a special school for the blind in Bengaluru, Karnataka, India	A significant improvement in oral health knowledge, attitudes, and practices among visually impaired children after the oral health education intervention. The mean KAP score increased from 6.98 to 14.68, and there was a notable decrease in poor plaque scores
Effectiveness of various sensory input methods in dental health education among blind children – a comparative study. Ganapathi et al., 2015 [19]	Same as title.	200 blind children aged 8 to 14 years from two blind schools with similar teaching standards.	A non-randomized controlled trial over six months at KLE Institute of Dental Sciences in Bengaluru, Karnataka, India. It involved assessing oral health knowledge, attitudes, and practices using a questionnaire in Braille and plaque assessment. Innovative education methods included a music-based brushing technique, dental cast models, and a health talk with a Braille booklet
Effect of oral health education by audio aids, Braille & tactile models on the oral health status of visually impaired children of Bhopal city. Gautam et al., 2018 [20]	Same as title.	Sixty visually impaired children aged 5–18 years were selected and divided into three groups: Group A (Audio aids + Braille), Group B (Audio aids + tactile models), and Group C (Audio aids + Braille + Tactile models)	Randomized the 200 blind children into five groups and provided dental health education through different sensory input methods. Oral health knowledge and plaque scores were assessed before and after the intervention. There was a statistically significant increase in knowledge scores and plaque scores in all study groups compared to baseline, indicating the effectiveness of the sensory input methods in dental health education among blind children. A decrease in mean plaque scores in all groups, indicating improved oral hygiene. However, inter-group comparison of PHP index scores was not statistically significant

Title, Author, Year	Aims	Sample	Methods	Findings
Dental disease outcomes following a 2-year oral health promotion program for Australian aboriginal children and their families: A 2-arm parallel, single-blind, randomised controlled trial. Jameson et al., 2018 [21]	To reduce children's experience of dental disease at age 2 years through a multifaceted oral health promotion initiative developed for Aboriginal Australian communities.	448 women pregnant with an Aboriginal child who were randomly allocated to either the intervention ($n=223$) or control group ($n=225$).	The study was a single-blind, parallel-arm, randomized controlled trial that included providing dental care to mothers during pregnancy, applying fluoride varnish to children's teeth at specific ages, and using motivational interviewing along with anticipatory guidance.	At the two-year follow-up, 325 mother-child dyads were retained, with 159 in the intervention group and 165 in the control group. The mean dt. at age two years was 0.62 for the intervention group and 0.89 for the control group, showing improvements in oral health for Aboriginal children
Prevalence of dental caries, oral hygiene knowledge, status, and practices among visually impaired individuals in Chennai, Tamil Nadu. John et al., 2017 [22]	Same as title.	404 visually impaired individuals in Chennai city, Tamil Nadu, aged between 15 and 30, from four randomly selected schools for the visually impaired.	Cross-sectional design and adopted WHO guidelines for diagnosing dental caries. Data collection included interviews, clinical examinations, and oral hygiene education.	42% of visually impaired individuals had fair oral hygiene, with a high prevalence of dental caries. The mean DMFT was 4.5 ± 2.7 , indicating a need for improved oral health education and preventive measures.
Assessment of oral hygiene status and prevalence of dental caries and traumatic injuries to anterior teeth among visually impaired children in Chennai city. Natarajan et al., 2023 [7]	Same as title.	130 visually impaired children from two blind schools in Chennai city.	Cross-sectional design to assess the oral hygiene status, dental caries, and traumatic injuries to anterior teeth among visually impaired children in Chennai city. Data on schools for blind children were obtained from "Welfare of the differently abled—Tamil Nadu", and statistical software was used to estimate the sample size.	54.6% of children had good oral hygiene, 40% had dental caries in permanent dentition, and 35.4% had traumatic injuries to anterior teeth.
Effectiveness of oral health education program using braille text in a group of visually impaired children-before and after comparison trial. Khurana et al., 2019 [23]	To evaluate the impact of Braille text and verbal, oral hygiene instructions on the oral health status of visually impaired children.	165 visually impaired males aged 7–19 years residing in a Blind School in New Delhi.	Nonrandomized before and after comparison trial design without controls. Oral health education was provided using Braille text and verbal instructions, with assessments conducted at regular intervals.	The statistically significant improvements in plaque index and gingival index scores among both completely and partially visually impaired children
Oral health status of students with visual or hearing impairments in Northeast China. Li et al., 2023 [24]	Same as title.	118 visually impaired students and 56 hearing impaired students who underwent oral examinations and questionnaire-based surveys	Oral examinations and questionnaire surveys	The prevalence of dental caries in visually impaired and hearing-impaired students was around 66%, with various factors impacting their oral health status
Oral health status among visually impaired schoolchildren in Northeast China Liu et al., 2019 [25]	To assess the oral health status of visually impaired schoolchildren in northeast China and investigate the influencing factors	103 visually impaired schoolchildren from the only special school for the blind in northeast China	Oral examinations and questionnaire surveys	An overall caries prevalence of 78.64% among visually impaired schoolchildren in northeast China, with a mean number of caries of 2.43
Prevalence of Oral Health Status and Needs in Institutionalized Physically Challenged Children Mishra et al., 2021 [26]	Same as title.	700 physically handicapped children, with 400 males and 300 females, attending various special schools in the city.	Epidemiological survey among physically handicapped children aged 6–15 in special schools. Oral examinations were done using standardized methods	48.8% of the physically challenged children had dental caries, with varying prevalence among different handicap groups.
Efficacy of a Modified Audio-Tactile Performance Technique with Braille (ATPb) on the Oral Hygiene Status of Visually-Impaired Children Nair et al., 2021 [27]	To develop a new oral health education program, specifically the Modified Audio-Tactile Performance Technique with Braille (ATPb), to improve oral hygiene maintenance in visually-impaired children	90 visually-impaired institutionalized children aged 6–15 years from schools in southern India, with the ability to read braille as an essential criterion for inclusion	Three different oral health education techniques were utilized: Audio Method (AM), Audio-Tactile Performance (ATP) technique, and Modified ATPb Technique.	The Modified Audio-Tactile Performance Technique with Braille (ATPb) showed the most significant reduction in plaque scores

Title, Author, Year	Aims	Sample	Methods	Findings
Oral health behavior and its association with the Caries Index in visually impaired children	Puteri et al., 2020 [28]	Same as title.	68 subjects, with 34 visually impaired children and 34 nonvisual impaired children, who were selected from four schools in Surabaya, Indonesia.	The visually impaired group had a low Caries Index (CI) of 1.5, with no significant difference in CI between visually impaired and nonvisually impaired groups. Knowledge significantly affected the CI of visually impaired children.
Overview of Dental Caries Severity and Nutritional Status in Preschool Children in Jatinangor in September 2014	Putri et al., 2016 [13]	To investigate the proportion of dental caries severity related to the nutritional status of children aged 3–5 years in Jatinangor.	64 children aged 3–5 years selected through cluster random sampling from three Pre-school Education Centers in Jatinangor.	Descriptive approach to assess dental caries severity and nutritional status in preschool children aged 3–5 years in Jatinangor. Dental caries was measured using the def-t index, while nutritional status was determined through anthropometric measurements.
Comparison of Different Modes of Oral Health Education in Visually Impaired Children	Santhoshi, 2024 [29]	To evaluate and compare the effectiveness of different modes of oral health education in improving oral hygiene knowledge and practices among visually impaired children.	Visually impaired children aged 8–15 years who were totally blind (certified as 100% blind by an ophthalmologist) and willing to participate.	The study divided 100 visually impaired children into four groups: Braille, NVDA, Braille + NVDA, and control.
Effect of specially designed oral health preventive programme on oral health of visually impaired children: use of audio and tactile aids	Sardana et al., 2019 [30]	To educate and motivate visually impaired children to maintain their oral health using methods that are easy for them to understand and to evaluate the changes in gingival index, plaque index, and knowledge, attitude, and practice (KAP) over a 6-month period	148 visually impaired children from two institutes, with Group I from the Government Institute for the Blind in Panipat and Group II from the Vocational Rehabilitation and Training Center in Ludhiana	Especially designed oral health education program and two different motivational techniques (tactile and auditory) to educate visually impaired children over a 6-month period
Overview of Blind-Children Caries Index in Special Need Schools in Cimahi City	Sarwendah et al., 2022 [31]	To assess the caries index in blind children and emphasize the importance of oral health in this population.	21 blind children aged 6–12 from SLBN A Citeureup Cimahi City and SLBN A Bandung City, using consecutive sampling.	A descriptive method with a cross-sectional design and consecutive sampling of blind children aged 6–12 at SLBN A Citeureup Cimahi City and SLBN A Bandung City.
A music- and game-based oral health education for visually impaired school children; multilevel analysis of a cluster randomized controlled trial	Shariffard et al., 2020 [32]	To compare the effectiveness of oral health education using the Audio Tactile Performance (ATP) technique alone, ATP combined with oral health education for mothers, and ATP along with an art package on the oral health status of visually impaired school children.	Visually impaired children from preschool to 10th grade in Tehran, Iran, with a total of 200 participants from 32 classes.	Stratification by grade before cluster randomization to assign visually impaired children from three schools in Tehran to three different groups receiving different oral health education interventions.
Assessment of dental caries, oral hygiene status, traumatic dental injuries and provision of basic oral health care among visually impaired children of Eastern Odisha	Suresan et al., 2017 [33]	Same as title.	238 visually impaired children from institutionalized special schools in eastern Odisha, with a total population of 250 children.	A descriptive, cross-sectional design with a universal sampling protocol. Clinical examinations were conducted using ADA Type III criteria, and data were collected through a structured questionnaire and oral health assessments.

Title, Author, Year	Aims	Sample	Methods	Findings
Effectiveness of different oral health education interventions in visually impaired school children Tiwari et al., 2019 [10]	To improve the knowledge, attitude, practices (KAP), and oral hygiene status in visually impaired school children using different interventions such as the Audio Tactile Performance technique (ATP), Braille, and a combination of both methods.	90 visually impaired children aged 12 – 15 years from a school in Maharashtra were selected for the study through a nonrandomized method and divided into three groups for the interventions.	A nonrandomized interventional design with three groups of visually impaired children. Different oral health education interventions, including ATP, Braille, and a combination of both, were implemented to assess their impact on oral hygiene status and KAP scores.	The improvements in oral hygiene status and knowledge, attitude, and practices (KAP) scores in visually impaired school children after receiving different oral health education interventions.
Knowledge, Attitude, and Practice of Pediatric Dentists Regarding Oral Health Management of Visually Impaired Children Tyagi et al., 2023 [34]	Same as title.	511 pediatric dentists from various continents, with the majority being postgraduate students practicing in the private sector	An observational cross-sectional design with an online survey questionnaire to assess pediatric dentists' knowledge, attitudes, and practices related to managing oral health in visually impaired children	The pediatric dentists had limited knowledge and practices in managing oral health in visually impaired children, highlighting the need for improved education and training in this area
Impact of dental caries severity and activity on oral health-related quality of life among children aged 8 – 11 years do Oliveira et al., 2023 [35]	Same as title.	119 children aged 8 to 11 years from Pelotas, southern Brazil.	The observational study followed STROBE guidelines. Data collection occurred between July 2019 and February 2020, with ethical approval obtained.	92.44% of children evaluated had dental caries, with 39.5% having severe carious lesions, 34.45% with initial carious lesions, and 18.49% with moderate lesions.
Impact of untreated dental caries on oral health-related quality of life of children with special health care needs Faker et al., 2018 [36]	To evaluate the impact of untreated dental caries, along with sex, age, and socioeconomic factors, on the oral health-related quality of life (OHRQoL) of children with special health care needs (SHCN)	128 children with special health care needs (SHCN) aged 1 to 9 years who participated in the research	A cross-sectional design with a convenience sample of children with special health care needs (SHCN) in Brazil, assessing their oral health-related quality of life (OHRQoL)	68.75% of children with special health care needs (SHCN) experience with caries severity being associated with a negative impact on OHRQoL
Oral health status and treatment needs among deaf, mute and visually impaired children of Gulbarga district – A population based cross sectional study Goud et al., 2021 [37]	Same as title.	284 school children aged 6 – 24 years, comprising deaf, mute, and visually impaired children.	A cross-sectional study was conducted using a structured questionnaire to gather demographic data and oral hygiene practices. Clinical examinations were performed using WHO assessment forms to assess oral health status and treatment needs	The majority of children lacked knowledge about dental caries and gum disease. Visually impaired children had higher mean OHQoL scores compared to deaf and mute children. Deaf and mute children showed a higher percentage of healthy periodontium
Effectiveness of Different Educational Methods on Oral Health in 7–13-Year-Old Visually Impaired Children in Tehran: A Randomized Trial Masoumi et al., 2021 [11]	Same as title.	88 visually impaired children aged 7 to 13 years from elementary schools for visually impaired children.	A clinical trial design and included verbal-tactile, verbal-braille, multisensory, and control groups	All groups experienced a decrease in plaque and gingival indices, with the multisensory group demonstrating the most significant reduction.
Oral Hygiene Status, Salivary and Microbiological Parameters Among Visually Impaired and Normal-Sighted Children After Specialized Oral Health Education: An Interventional Study Deshpande et al., 2024 [38]	Same as title.	50 participants, with 25 visually impaired children (Group A) and 25 normal-sighted children (Group B), aged between 12 and 15 years.	Simple random sampling to select 25 visually impaired children (Group A) and 25 normal-sighted children (Group B) aged 12 to 15 years.	Visually impaired children demonstrated greater improvements in salivary pH, buffering capacity, and Streptococcus mutans count compared to normal-sighted children, while normal-sighted children showed a greater reduction in Lactobacillus acidophilus count.

Furthermore, dietary habits and nutritional status have been identified as significant factors contributing to the development of dental caries in children. Research by Putri et al. (2016) reported a high prevalence of dental caries in preschool children and emphasized the importance of nutritional status in relation to dental health [13]. Poor dietary choices, high sugar consumption, and inadequate nutrition can increase the risk of dental caries in visually impaired children, underscoring the need for promoting healthy eating habits and nutritional education in this population. In conclusion, the causes of dental caries in visually impaired children are complex and multifaceted, involving factors such as challenges in maintaining oral hygiene, limited access to dental care, parental influences, socioeconomic status, dietary habits, and nutritional status. Addressing these factors through targeted interventions, education, and access to appropriate dental services is essential to prevent and reduce the prevalence of dental caries in visually impaired children, ultimately improving their oral health outcomes.

Impact of dental caries on the quality of life of visually impaired children

Quality of life encompasses an individual's overall well-being and satisfaction with various aspects of life, including physical, social, and mental health, appearance, and interpersonal relations. It involves the subjective evaluation of one's life circumstances, happiness, and fulfillment across different domains, reflecting the individual's perception of their health and life experiences [23]. In the context of oral health, quality of life is influenced by factors such as oral diseases, pain, functional limitations, and psychological well-being, underscoring the significance of maintaining good oral health for overall quality of life [37].

Dental caries can have a significant negative impact on the quality of life of visually impaired children. Research has shown that untreated dental caries is associated with various detrimental effects that can affect the overall well-being of children with special needs, including those who are visually impaired [36]. Studies have indicated that severe dental caries can lead to discomfort, toothache, changes in body weight, and growth, all of which contribute to a decline in the Oral Health-Related Quality of Life (OHRQoL) of affected children and their families [41]. The impact of dental caries on children's quality of life is well-documented and is linked to factors such as pain, impaired function, and even loss of school days [42].

Moreover, the negative consequences of dental caries on the quality of life of children, particularly in preschoolers, have been highlighted in various studies. Additionally, the severity and activity of dental caries have been shown to lead to pain, functional impairment, and other negative effects on the oral health-related quality of life among children aged 8–11 years [35]. In the context of visually impaired children, the challenges posed by dental caries can be exacerbated due to limitations in performing activities that require vision assistance, such as maintaining oral hygiene practices like brushing teeth [31]. This can result in multiple dental problems, including caries, which can further deteriorate the quality of life of visually impaired children. The association between dental caries and oral

health-related quality of life in disabled children has been extensively studied, revealing a substantial negative impact on various domains related to quality of life [43]. The presence of dental caries has been linked to reduced school performance and social life in children, highlighting the far-reaching consequences of untreated tooth decay [44].

In conclusion, dental caries can significantly diminish the quality of life of visually impaired children by causing pain, discomfort, functional limitations, and other challenges that affect their overall well-being. Early detection, prevention, and treatment of dental caries are crucial in mitigating these negative impacts and improving the oral health-related quality of life of children with visually impaired.

Internal factors

The risk factors and prevalence of dental caries are influenced by various internal factors. These internal factors encompass aspects such as oral hygiene knowledge and behaviors [11, 22, 28, 30]. The ability to detect early signs of caries development, such as discoloration, is compromised in visually impaired individuals, leading to delayed intervention and increased susceptibility to dental caries [7]. Additionally, the physical constraints and lack of cleaning habits among visually impaired children contribute to a higher prevalence of dental caries and gingival diseases [30]. Furthermore, the oral health status and treatment needs among visually impaired children are influenced by factors such as urease activity in saliva and plaque, which can act as endogenous protection against dental caries [2]. Salivary parameters, including urease activity, play a crucial role in maintaining oral health and preventing caries in this population [38].

In conclusion, internal factors such as oral hygiene practices, the ability to detect early signs of caries development, and physical constraints and lack of cleaning habits play a crucial role in influencing the prevalence of dental caries among visually impaired individuals. By addressing these internal factors through targeted interventions and specialized care, it is possible to enhance the oral health status and overall well-being of visually impaired individuals.

External factors

Research has emphasized the importance of family support in promoting oral health practices and improving the quality of life of visually impaired children. Studies have shown that family members play a crucial role in assisting visually impaired children with daily oral hygiene routines, reinforcing positive oral health behaviors, and ensuring regular dental check-ups, which can significantly influence the prevention of dental caries and the overall oral health status of these children [21]. Moreover, the effectiveness of oral health promotion programs involving family participation has been demonstrated in enhancing dental health outcomes among visually impaired children. Interventions focusing on providing dental care to mothers during pregnancy, applying fluoride varnish to children's teeth, and delivering motivational interviewing alongside anticipatory guidance have shown positive results in reducing the prevalence of dental caries and improving oral health among visually impaired children and their families [21]. This highlights the importance

of involving families in oral health initiatives to support the well-being of visually impaired children.

Additionally, studies have indicated that family support and participation in oral health education programs can lead to improved oral hygiene knowledge and practices among visually impaired children. Educational interventions utilizing a combination of Braille and NVDA (NonVisual Desktop Access) have been effective in educating and motivating visually impaired children about maintaining oral hygiene, underscoring the positive impact of family-supported educational approaches on oral health outcomes [29]. By incorporating family-friendly educational materials and strategies, researchers aim to empower families to actively engage in promoting the oral health of visually impaired children.

Furthermore, the evaluation of oral health status and care needs among visually impaired children has highlighted the significance of family support in addressing the challenges faced by this population. Families of visually impaired children may encounter difficulties in accessing oral health information and services, emphasizing the necessity for tailored educational programs involving family members in promoting oral health awareness and self-care practices [15]. By equipping families with the essential knowledge and resources to support the oral health needs of visually impaired children, researchers aim to enhance the quality of life and overall well-being of this vulnerable population. Research has emphasized the importance of ensuring that visually impaired children have sufficient access to oral health services, including regular dental check-ups, preventive care, and treatment for dental issues, to enhance oral health and overall well-being [19]. Access to specialized oral health services tailored to the needs of visually impaired children is crucial in addressing dental caries and improving the quality of life within this population.

Additionally, studies have highlighted the importance of effective oral health education interventions in improving access to oral health services for visually impaired children. Educational programs utilizing sensory input methods, such as audio aids, Braille, and tactile models, have been pivotal in providing essential oral health information and promoting access to oral health services for visually impaired children [22]. By incorporating innovative educational techniques that cater to the unique needs of visually impaired individuals, researchers aim to enhance access to oral health resources and services, ultimately influencing the relationship between dental caries and quality of life in this population. Furthermore, the efficacy of oral health educational interventions in enhancing access to oral health services for visually impaired children has been demonstrated in various studies.

Interventions focusing on oral health education in institutionalized settings for visually impaired children have shown positive outcomes in improving access to oral health information and services, leading to enhancements in oral hygiene status and practices [10]. By implementing targeted educational programs that improve access to oral health resources, researchers aim to bridge the gap in oral health

services for visually impaired children and promote better oral health outcomes. The assessment of oral health status and care needs among visually impaired children has underscored the significance of addressing barriers to accessing oral health services. Factors such as lack of awareness, limited availability of specialized oral health care facilities, and challenges in communication with healthcare providers can impede access to essential oral health services for visually impaired children [9]. By identifying and addressing these access barriers through tailored interventions and educational programs, researchers aim to enhance oral health outcomes and improve the quality of life for visually impaired children.

Social environmental factors are crucial in influencing the relationship between dental caries and quality of life in visually impaired children. Access to social support systems, community resources, and societal attitudes towards oral health significantly impact the oral health outcomes and overall well-being of visually impaired children. Research has highlighted the importance of social environmental factors in shaping oral health behaviors, access to oral health services, and the quality of oral health education for this vulnerable population [10]. Studies have demonstrated that social environmental factors, such as family support, peer influence, and community engagement, can positively influence oral health practices and outcomes in visually impaired children. Family involvement in oral health care, encouragement from peers to maintain good oral hygiene, and community initiatives promoting oral health awareness can enhance the quality of life and oral health status of visually impaired children [19]. By fostering a supportive social environment that values oral health and promotes positive oral health behaviors, researchers aim to mitigate the impact of dental caries and improve the overall well-being of visually impaired children.

Moreover, the effectiveness of oral health education interventions in addressing social environmental factors has been shown in various studies. Educational programs utilizing sensory input methods, community outreach initiatives, and peer support networks have shown promise in improving access to oral health resources, promoting oral health awareness, and enhancing oral hygiene practices among visually impaired children [5]. By incorporating social environmental factors into oral health education programs, researchers aim to create a supportive ecosystem that empowers visually impaired children to prioritize their oral health and well-being. Assessment of oral health status and care needs among visually impaired children has emphasized the importance of considering social environmental factors in oral health interventions. Factors such as social deprivation, limited access to dental services, and community infrastructure can impact the oral health outcomes of blind children [22]. By addressing these social determinants of health through targeted interventions and community-based programs, researchers aim to improve access to oral health services, reduce the prevalence of dental caries, and enhance the quality of life for visually impaired children.

In conclusion, research underscores the critical role of family support in promoting oral health practices and improving the quality of life for visually impaired children. Family involvement is pivotal in assisting with daily oral hygiene routines, reinforcing positive behaviors, and ensuring regular dental check-ups, which significantly influence the prevention of dental caries. Effective oral health promotion programs that involve family participation, such as those providing prenatal dental care and motivational interviewing, have shown substantial improvements in dental health outcomes. Moreover, educational interventions using Braille and audio aids have proven successful in enhancing oral hygiene knowledge and practices among visually impaired children. Addressing barriers to oral health services through tailored educational programs that incorporate sensory methods can bridge gaps in access and promote better oral health outcomes. Social environmental factors, including family support, peer influence, and community engagement, also play a crucial role in shaping oral health behaviors and improving the overall well-being of visually impaired children. By fostering supportive social environments and utilizing innovative educational approaches, researchers aim to enhance oral health and quality of life for this vulnerable population.

Recommendations for effective interventions for the prevention of dental caries

Some recommendations for effective interventions for preventing dental caries in visually impaired children are:

- 1) Utilization of multisensory input methods for educational interventions such as audio aids, Braille, and tactile models, to provide comprehensive oral health education to visually impaired children [10, 16, 19, 20, 23, 27, 30, 33]. This approach can enhance the understanding and retention of oral health information, leading to improved oral hygiene practices and reduced risk of dental caries.
- 2) Integrate innovative educational techniques, such as music-based and game-based oral health education, to engage visually impaired children and make oral health education more interactive and enjoyable [32, 45]. By incorporating fun and engaging elements into educational programs, children are more likely to retain information and adopt positive oral health behaviors.
- 3) Encourage family members to actively participate in oral health education programs and support the oral hygiene practices of visually impaired children. Family support plays a crucial role in reinforcing good oral health habits and ensuring regular dental check-ups, which are essential for preventing dental caries.
- 4) Implement community-based oral health promotion programs that target visually impaired children and provide access to essential oral health resources and services. By engaging with the community and raising awareness about oral health, these initiatives can help improve oral hygiene practices and reduce the prevalence of dental caries in this population.

- 5) Develop specialized oral health preventive programs tailored to the unique needs of visually impaired children, incorporating audio and tactile aids to enhance oral hygiene practices [5]. These programs can focus on practical skills and techniques that are accessible and effective for visually impaired individuals.
- 6) Emphasize the importance of early identification of dental caries coupled with effective oral health promotion programs to provide practical knowledge to visually impaired children [22]. Early intervention can help prevent the progression of dental caries and promote better oral health outcomes in this population.
- 7) Encourage regular dental check-ups for visually impaired children to monitor their oral health status, detect any early signs of dental caries, and provide timely interventions [21]. Routine dental visits are essential for maintaining oral health and preventing the development of dental caries.
- 8) Focus on promoting effective oral hygiene practices, such as proper tooth brushing techniques and the use of fluoride products, to prevent dental caries in visually impaired children [17]. By equipping visually impaired children with the necessary knowledge and tools to engage in self-care practices, researchers aim to empower them to uphold good oral hygiene and prevent the occurrence of dental caries [9]. Providing hands-on demonstrations and practical guidance can help reinforce good oral hygiene habits.

Effective interventions for preventing dental caries in visually impaired children should encompass a holistic approach that includes multisensory input methods, innovative educational techniques, family involvement, community outreach initiatives, specialized oral health programs, early identification and intervention, regular dental check-ups, and promotion of oral hygiene practices. By addressing these key areas, healthcare providers and educators can work towards improving oral health outcomes and enhancing the quality of life for visually impaired children.

CONCLUSION

Visually impaired children have a high prevalence of dental caries due to challenges in maintaining oral hygiene, delayed detection, and inadequate access to dental care. Poor dietary habits and nutritional status further increase their risk. Comprehensive interventions, including multisensory educational methods and innovative techniques, are essential for improving oral health outcomes. Family support plays a crucial role in promoting good oral hygiene and ensuring regular dental check-ups. Community-based programs and specialized preventive care tailored to visually impaired children are also important. Early detection and effective oral hygiene practices are vital for maintaining their oral health and overall well-being.

REFERENCES:

- Chuyen N.V., Du V., Ba N.V., Long D.D., Son H.A. The prevalence of dental caries and associated factors among secondary school children in rural highland Vietnam. — *BMC Oral Health*. — 2021; 21 (1): 349. [PMID: 34271899](#)
- Handayani A.T.W., Budirahardjo R., Mafilda F.N. The relationship between knowledge and attitude of mothers towards their toddlers dental health care. — *Dentino: Jurnal Kedokteran Gogo*. — 2022; 28; 7 (2): 220. [DOI: 10.20527/dentino.v7i2.14635](#)
- Cahyaningrum F.D., Hermawati. The relationship level of knowledge of teeth-brushing to the dental caries incidence in school-age children. — *Jurnal Kesehatan Komunitas Indonesia*. — 2023; 31; 3 (2): 217—25. [DOI: 10.58545/jkki.v3i2.194](#)
- Agustina D., Hanindriyo L., Widita E., Widyaningrum R. The correlation between occurrence of dental caries and oral health-related quality of life (OHRQoL) of elderly population in Yogyakarta Special Region. — *Journal of Medical Sciences*. — 2018; 50 (2): 191—200. [DOI: 10.19106/JMedSci005002201808](#)
- Maulanti T., Nurmala I. A systematic review of oral health educational media innovation for visually impaired children: which one brings the best impact of change? — *Special Care In Dentistry*. — 2021; 41 (4): 442—52. [PMID: 33825212](#)
- Mishra N.K. Renal calculi (kidney stones) and its therapy. — *Indo Global Journal of Pharmaceutical Sciences*. — 2019; 9 (1): 1—4. [DOI: 10.35652/IGPS.2019.9101](#)
- Natarajan D., Kannappan J., Srinivasan D., Chiriyankandath J.L., Arumugam S.E., Annamalai S.S.R. Assessment of oral hygiene status and prevalence of dental caries and traumatic injuries to anterior teeth among visually impaired children in Chennai City. — *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. — 2023; 21; 16 (1): 93—96. [PMID: 37020782](#)
- Aggarwal T., Goswami M., Dhillon J.K. Assessment of oral health educational program on oral health status of visually impaired children in New Delhi. — *Special Care in Dentistry*. — 2019; 39 (2): 140—146. [PMID: 30648764](#)
- Bhor K.B., Vinay V., Ambildhok K., Shetty V. Effectiveness of oral health educational interventions on oral health of visually impaired school children: a systematic review and meta-analysis. — *Special Care in Dentistry*. — 2021; 41 (3): 291—308. [PMID: 33471416](#)
- Tiwari B.S., Ankola A.V., Jalihal S., Patil P., Sankeshwari R.M., Kashyap B.R. Effectiveness of different oral health education interventions in visually impaired school children. — *Special Care in Dentistry*. — 2019; 39 (2): 97—107. [PMID: 30657191](#)
- Masoumi S., Askarizadeh N., Ghasemi M. Effectiveness of different educational methods on oral health in 7—13-year-old visually impaired children in Tehran: A randomized trial. — *Journal of Comprehensive Pediatrics*. — 2021; 12 (4): e112406. [DOI: 10.5812/comprep.112406](#)
- Setijanto D., Bramantoro T., Anggraini N.D., Maharani A.D., Angesti D., Hidayat D.S., Ramadhani A. The correlation analysis of dental caries, general health conditions and daily performance in children aged 2—5 years old. — *Dental Journal*. — 2020; 53 (3): 122—125. [DOI: 10.20473/j.djmkg.v53.i3.p122-125](#)
- Putri A.D., Ma E.S., Djaïs J.T.B. Overview of dental caries severity and nutritional status in preschool children in Jatinangor in September 2014. — *Althea Medical Journal*. — 2016; 3 (2): 314—318. [DOI: 10.15850/amj.v3n2.464](#)
- Shimada A., Noda M., Matoba Y., Kumagai T., Kozai K., Sugiyama M. Oral lactic acid bacteria related to the occurrence and/or progression of dental caries in Japanese preschool children. — *Bioscience of Microbiota, Food and Health*. — 2015; 34 (2): 29—36. [PMID: 25918670](#)
- Chałas R., Mikuláková W.B., Maksymiuk P., Skawińska-Bednarczyk A., Hudáková L., Pietrak J., Andraščíková Ľ., Zubrzycka J., Jordán D., Radács A., Szóke J. Are teachers working with visually impaired children prepared to be advocates of oral health? Pilot study. — *Children (Basel)*. — 2023; 10 (7): 1235. [PMID: 37508732](#)
- Chowdary P.B., Uloopi K., Vinay C., Rao V.V., Rayala C. Impact of verbal, braille text, and tactile oral hygiene awareness instructions on oral health status of visually impaired children. — *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*. — 2016; 34 (1): 43—47. [PMID: 26838147](#)
- Das D., Suresan V., Jnaneswar A., Pathi J., Bala Subramaniam G. Effectiveness of a novel oral health education technique in maintenance of gingival health and plaque removal efficacy among institutionalized visually impaired children of Bhubaneswar city: A randomized controlled trial. — *Special Care in Dentistry*. — 2019; 39 (2): 125—134. [PMID: 30597580](#)
- Debnadh A., Srivastava B.K., Shetty P., Eshwar S. New vision for improving the oral health education of visually impaired children — A non randomized control trial. — *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. — 2017; 11 (7): ZC29—ZC32. [DOI: 10.7860/JCDR/2017/26515.10170](#)
- Ganapathi A.K., Namineni S., Vaaka P.H., K V., Das R., Devi M., Akkaloori A., Kumbakonam A. Effectiveness of various sensory input methods in dental health education among blind children — A comparative study. — *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. — 2015; 9 (10): ZC75—8. [PMID: 26557623](#)
- Gautam A., Bhambal A., Moghe S. Effect of oral health education by audio aids, braille & tactile models on the oral health status of visually impaired children of Bhopal City. — *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. — 2018; 8 (3): 168—170. [PMID: 30191102](#)
- Jamieson L., Smithers L., Hedges J., Parker E., Mills H., Kapellas K., Lawrence H.P., Broughton J.R., Ju X. Dental disease outcomes following a 2-year oral health promotion program for australian aboriginal children and their families: a 2-arm parallel, single-blind, randomised controlled trial. — *EClinicalMedicine*. — 2018; 1: 43—50. [PMID: 31193658](#)
- John J.R., Daniel B., Paneerselvam D., Rajendran G. Prevalence of dental caries, oral hygiene knowledge, status, and practices among visually impaired individuals in Chennai, Tamil Nadu. — *International Journal of Dentistry*. — 2017; 2017: 9419648. [PMID: 28458691](#)
- Khurana C., Tandon S., Chand S., Chinmaya B. Effectiveness of oral health education program using braille text in a group of visually impaired children-before and after comparison trial. — *JEdu Health Promot*. — 2019; 8 (1): 50. [PMID: 31008117](#)
- Li J., Zhang K., Cha C., Lu Z., Liu L. Oral health status of students with visual or hearing impairments in Northeast China. — *BMC Oral Health*. — 2023; 26; 23 (1): 242. [PMID: 37101257](#)

25. Liu L., Zhang Y., Wu W., He M., Lu Z., Zhang K., Li J., Lei S., Guo S., Zhang Y. Oral health status among visually impaired schoolchildren in Northeast China. — *BMC Oral Health*. — 2019; 19 (1): 63. [PMID: 31029116](#)
26. Mishra R., Singh A.K., Tyagi S., Choudhary H.V., Gupta S.K., Kumar K. Prevalence of oral health status and needs in institutionalized physically challenged children. — *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*. — 2021; 13 (Suppl 1): S184—S186. [PMID: 34447071](#)
27. Nair D.J., Shetty A.A., Hegde A.M. Efficacy of a modified audio-tactile performance technique with braille (ATPb) on the oral hygiene status of visually-impaired children. — *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. — 2021; 1; 45 (1): 15—21. [PMID: 33690826](#)
28. Puteri M.M., Ruslan F.K.D.R., Wibowo T.B. Oral health behavior and its association with the caries index in visually impaired children. — *Special Care in Dentistry*. — 2020; 40 (1): 79—83. [PMID: 31808184](#)
29. Santhoshi K., Ansari K.R., Mekala S., Kala T., Madala M.V., Onteru P. Comparison of different modes of oral health education in visually impaired children. — *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*. — 2024; 16 (Suppl 2): S1721—S1725. [PMID: 38882738](#)
30. Sardana D., Goyal A., Gauba K., Kapur A., Manchanda S. Effect of specially designed oral health preventive programme on oral health of visually impaired children: use of audio and tactile aids. — *International Dental Journal*. — 2019; 69 (2): 98—106. [PMID: 30238976](#)
31. Sarwendah S., Hartman H., Alfin M. Overview of blind-children caries index in special need schools in Cimahi city. — *Journal of Health and Dental Sciences*. — 2022; 2 (2): 356—374. [DOI: 10.54052/jhds.v2n2.p365-374](#)
32. Sharifard N., Sargeran K., Gholami M., Zayeri F. A music- and game-based oral health education for visually impaired school children; multilevel analysis of a cluster randomized controlled trial. — *BMC Oral Health*. — 2020; 20 (1): 144. [PMID: 32423446](#)
33. Suresan V., Das D., Jnaneswar A., Jha K., Kumar G., Subramaniam G. Assessment of dental caries, oral hygiene status, traumatic dental injuries and provision of basic oral health care among visually impaired children of Eastern Odisha. — *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. — 2017; 35 (4): 284—290. [PMID: 28914238](#)
34. Tyagi P., Mali S., Tiwari S., Kale S., Bhargava S., Akhani U. Knowledge, attitude, and practice of pediatric dentists regarding oral health management of visually impaired children. — *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. — 2023; 15 (6): 764—769. [PMID: 36866142](#)
35. Oliveira T.T.D.V., Menegaz A.M., Rosário A.M.D., Romano A.R., Schardosim L.R., Mendes F.M., Göettemens M.L., Azevedo M.S. Impact of dental caries severity and activity on oral health-related quality of life among children aged 8—11 years. — *Braz Oral Res*. — 2023; 37: e41. [PMID: 37132728](#)
36. Faker K., Tostes M.A., Paula V.A.C.D. Impact of untreated dental caries on oral health-related quality of life of children with special health care needs. — *Braz oral res*. — 2018; 32: e117. [PMID: 30892372](#)
37. Goud V., Gupta R., Suresh Babu A., Das D., Kulkarni G., Swathi K. Oral health status and treatment needs among deaf, mute and visually impaired children of gulgarga district — a population based cross sectional study. — *J Family Med Prim Care*. — 2021; 10 (10): 3664—3669. [PMID: 34934663](#)
38. Deshpande A.P., Ankola A.V., Sankeshwari R.M., Nagmoti M.B., Kabra L., Pai Khot A.J., Kumar R.S. Oral hygiene status, salivary and microbiological parameters among visually impaired and normal-sighted children after specialized oral health education: An interventional study. — *Cureus*. — 2024; 16 (3): e56304. [PMID: 38629023](#)
39. Singh A., Dhawan P., Gaurav V., Rastogi P., Singh S. Assessment of oral health-related quality of life in 9—15 year old children with visual impairment in Uttarakhand, India. — *Dent Res J*. — 2017; 14 (1): 43—49. [PMID: 28348617](#)
40. Waheed M.S., Shirazi M.F., Khan M.J., Khan N., Naeemullah, Ishtiaq M., Darwesh N.M. Dental caries: Epidemiological & public health approach among children of District Nowshera Khyber Pakhtunkhwa Pakistan. — *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*. — 2022; 16 (5): 1175—1177. [DOI: 10.53350/pjmhs221651175](#)
41. Akhter R., Hassan N.M.M., Martin E.F., Muhit M., Smithers-shedy H., Badawi N., Khandaker G. Caries experience and oral health-related quality of life (OHRQoL) of children and adolescents with cerebral palsy in a low-resource setting. — *BMC Oral Health*. — 2019; 19 (1): 15. [PMID: 30646890](#)
42. Knapp R., Gilchrist F., Rodd H.D., Marshman Z. Change in children's oral health-related quality of life following dental treatment under general anaesthesia for the management of dental caries: a systematic review. — *Int J Paed Dentistry*. — 2017; 27 (4): 302—312. [PMID: 27531644](#)
43. Jawed R., Khan Z., Younus M., Abid K., Saleem M., Kibria Z. Association of dental caries and oral health related quality of life (ohrqol) in disabled children. — *PAFMJ*. — 2021; 71 (4): 1198—1203. [DOI: 10.51253/pafmj.v71i4.3842](#)
44. Amer A.I., Alsehaim W.Y., Alabdalaal W.H., Alsemran O.M., Mansori O.M., Almahmadi D.S., Subahi M.S., Feteih M.M., Alshehri S.A., Alasmari M.F., Alqahtani M.A. Effect of untreated dental caries on school performance and social life. — *Int J Community Med Public Health*. — 2021; 9 (1): 481. [DOI: 10.18203/2394-6040.ijcmph20214796](#)
45. Shankar K.S., Arumugham M., Mohammed M.A.A., Kaur Sandhu S., Bennadi D., Verma J., Pulluri S.S. Effectiveness of oral health education interventions using braille on oral health among visually impaired children: proposal for a systematic review. — *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*. — 2024; 16 (Suppl 1): S97—S101. [PMID: 38595616](#)

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_50

Е.В. Корсакова^{1,2},

аспирант кафедры терапевтической стоматологии; врач — стоматолог-терапевт отделения сложных случаев в стоматологии

Е.В. Иванова¹,

д.м.н., доцент, профессор кафедры терапевтической стоматологии

М.С. Подпорин³,

к.м.н., м.н.с. лаборатории молекулярно-биологических исследований НИМСИ

Е.Г. Сабанцева¹,

д.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии

¹ РМАНПО, 125993, Москва, Россия² МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, 129110, Москва, Россия³ Российский университет медицины, 127006, Москва, Россия**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Корсакова Е.В., Иванова Е.В., Подпорин М.С., Сабанцева Е.Г. Изменение состава биопленки корневых каналов зубов с хроническим апикальным периодонтитом при проведении их ревизии современными машинными системами (in vivo). — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 50—57.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_50

Изменение состава биопленки корневых каналов зубов с хроническим апикальным периодонтитом при проведении их ревизии современными машинными системами (in vivo)

Реферат. Цель — изучить изменение состава биопленки корневых каналов, в том числе со сложной анатомией, у зубов с хроническим апикальным периодонтитом при проведении их ревизии непосредственно в полости рта с применением современных машинных систем: Reciproc (VDW GmbH), XP-endo Retreatment (FKG), R-Endo (Micro-Mega). **Материалы и методы.** 60 зубов в полости рта пациентов, имеющих клинические и рентгенологические признаки хронического апикального периодонтита, обтурированные различными пломбировочными материалами, имеющие в том числе сложную анатомию строения корневых каналов (С- и S-образные каналы, изгиб более 60° на разных уровнях, ответвления, широкие каналы). Каждые 20 зубов обработаны соответствующей машинной системой и разделены на группы: I — система Reciproc, II — R-Endo, III — XP-endo Retreatment. Методы: микробиологический, статистический, рентгенологический. **Результаты.** Статистический анализ показал, что в III группе к значимым результатам привела обработка корневых каналов в отношении *S. constellatus*, *P. gingivalis* и *E. faecalis*, во II группе — *S. intermedius*, *S. constellatus* и *E. faecalis*, а в I группе — *S. intermedius* и *S. constellatus*. Значительное изменение микробной флоры при обработке корневых каналов показала система XP-endo. В случаях II и III группы статистически значимые результаты показали разные виды микроорганизмов. При осмотрах через 6, 12, 18 месяцев и при повторной рентгенологической диагностике в 95% случаев положительная динамика отмечена у зубов, леченых системой XP-endo, т.е. у III группы. **Заключение.** Но-визна исследования заключалась в том, что оно проводилось непосредственно в полости рта (in vivo). Наглядные примеры изменения микробной биопленки корневых каналов непосредственно до и после их обработки в полости рта рентгеновских исследований отдаленных результатов подтверждают эффективность применения машинных файлов XP-endo Retreatment, а опираясь на изменения состава анаэробной микрофлоры, способствующей образованию периапикального воспаления, было выявлено, что совместная работа этих инструментов с системой R-endo в корневых каналах позволит клиницистам изменять состав биопленки в более широких видовых категориях и экономить время на приеме благодаря отсутствию поиска дополнительных файлов для прохождения запломбированных корневых каналов и полного очищения их стенок от пломбировочного материала.

Ключевые слова: хронический апикальный периодонтит, повторная ревизия корневых каналов, механический метод обработки корневых каналов, биопленка корневых каналов, современные эндодонтические системы, анатомия корневых каналов

Changing the composition of the biofilm of the root canals of teeth with chronic apical periodontitis during their revision by modern machine systems (in vivo)

Abstract. Aim: to study the change in the composition of the biofilm of root canals, including those with complex anatomy, in teeth with chronic apical periodontitis during their revision directly in the oral cavity using modern machine systems: Reciproc (VDW GmbH), XP-endo Retreatment (FKG), R-Endo (Micro-Mega). **Materials and methods.** 60 teeth in the oral cavity of patients with clinical and radiological signs of chronic apical periodontitis, lined with various filling materials, including complex anatomy of the structure of root canals (C-shaped channels, S-shaped channels, bending of more than 60° at different levels, branches, wide channels). Every 20 teeth are processed by an appropriate machine system and divided into groups: 1st group — Reciproc system, 2nd group — R-Endo, 3rd group — XP-endo Retreatment. **Results.** Statistical analysis showed that in 3rd group, root canal treatment in the following types of microorganisms led to significant results: *S. constellatus*, *P. gingivalis*, *E. faecalis*. The following results were determined in 2nd group: *S. intermedius*, *S. constellatus*, *E. faecalis*. In 1st group: *S. intermedius*, *S. constellatus*. The XP-endo

Е.В. Корсакова^{1,2},

postgraduate at the Therapeutic dentistry Department; dentist of the Complex cases in dentistry ward

Е.В. Иванова¹,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Therapeutic dentistry Department

М.С. Подпорин³,

PhD in Medical Sciences, researcher at the Molecular biology research Laboratory of the Medico-dental research Institute

Е.Г. Сабанцева¹,

Doctor of Science in Medicine, associate professor of the Therapeutic dentistry Department

¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 125993, Moscow, Russia

² Moscow Regional Research Clinical Institute (MONIKI), 129110, Moscow, Russia

³ Russian University of Medicine, 127006, Moscow, Russia

Rettreatment system showed a significant change in the microbial flora during root canal treatment. In the cases of group 2 and 3, statistically significant results were shown by different types of microorganisms. During examination and repeated X-ray diagnosis, in 95% of cases, positive dynamics was observed in teeth treated with the XP-endo Rettreatment system. **Conclusions.** The novelty of the study was that it was conducted directly in the oral cavity (in vivo). Illustrative examples of changes in the microbial biofilm of root canals immediately before and after their treatment in the oral cavity, X-ray studies of long-term results confirm the effectiveness of using XP-endo Rettreatment machine files, and based on changes in the composition of anaerobic microflora contributing to the formation of periapical inflammation, it was found that the joint work of these tools with the R-endo system in root canals, it will allow clinicians to change the composition of biofilm in wider species categories and save time on admission, due to the absence of searching for additional files to pass the sealed root canals and completely clean their walls from the filling material.

Key words: chronic apical periodontitis, repeated revision of root canals, mechanical method of root canal treatment, biofilm of root canals, modern endodontic systems, anatomy of root canals

FOR CITATION:

Korsakova E.V., Ivanova E.V., Podporin M.S., Sabantseva E.G. Changing the composition of the biofilm of the root canals of teeth with chronic apical periodontitis during their revision by modern machine systems (in vivo). *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 50—57 (In Russian).

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_50

ВВЕДЕНИЕ

В большей части успешное эндодонтическое лечение зависит от тщательного удаления биопленки из корневого канала с помощью химико-механической обработки [1]. Фекальный энтерококк *E. faecalis* — наиболее часто выделяемая бактерия из инфицированных корневых каналов после неудачного эндодонтического лечения, вследствие которого со временем появляется воспалительный процесс в периапикальных тканях. Она является одним из основных патогенов, составляющих мультивидовую биопленку корневых каналов при хроническом апикальном периодоните, будучия ее ядром, вокруг которого формируется матрикс, объединяющий все микроорганизмы корневого канала в единое целое. Это делает ее более устойчивой к антибактериальным препаратам и требует оптимальной химико-механической обработки для максимальной дезинфекции корневых каналов с целью предотвращения возникновения осложнений [2]. В частности, к ним относятся развитие гнойно-воспалительных процессов, начиная от абсцесса или периостита до остеомиелита или медиастинита, что делает проблему микробной деконтаминации корневого канала и периапикальных тканей при эндодонтическом лечении одной из важнейших задач терапевтической стоматологии [3].

Исследование микробиома корневых каналов осуществляется с помощью микроскопических, культивальных и молекулярно-биологических методов. Для культивирования бактерий на питательных средах необходимо соблюдать условия их выделения и дифференциации по морфологическим, биохимическим и антигенным свойствам. Некоторые микроорганизмы являются некультивируемыми агентами [4].

В последнее десятилетие высокая чувствительность и специфичность полимеразной цепной реакции (ПЦР) позволила идентифицировать микроорганизмы в корневых каналах до видовой и штаммовой принадлежности, а также получила возможность установить уровень

микробной контаминации и оценить контроль эффективности эрадикации патогенов корневого канала [5]. При периодоните на долю облигатно-анаэробных и микроаэрофильных микробов приходилось свыше 2/3 выделенных видов. Представители ряда грамположительных анаэробных видов, а многие из них являются стабилизирующими видами микробиоты полости рта, встречаются с довольно высокой частотой [6]: микроаэрофильные и строго анаэробные стрептококки — виды *S. sanguis*, *S. mutans*, *S. intermedius*, *Peptostreptococcus spp.*, выделяли у 60% пациентов и более, а *S. milleri* и *Peptococcus nigery* — соответственно у 18,8 и 12,5%. У 66,6% больных также выделяли актиномицеты *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *A. odontolyticus* и *A. viscosus* [7].

С помощью ПЦР была выявлена и идентифицирована значительная частота пародонтопатогенных видов: *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* и *Tannerella forsythia* у 21,9%, *Prevotella intermedia* — у 71,9%, *Porphyromonas gingivalis* — у 34,4% и *Treponema denticola* — у 40,6% обследованных [8]. В содержимом корневых каналов больных зубов с хроническими периодонитами частота выделения фузобактерий составляла 71,8%. На факультативно-аэробную группу бактерий приходится менее 12% от общего числа выделенных штаммов. Более значительной оказалась частота обнаружения грибов рода *Candida albicans* — примерно у 46,9% пациентов. У 18,8% выделяли более редкий вид — *C. krusei* [9]. Установлено, что при повторном эндодонтическом лечении высыпаются устойчивые представители факультативных анаэробов: *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus haemolyticus*, а грибковая flora становится более устойчивой к антисептическим препаратам, в частности к гидроокиси кальция. Энтерококки обнаруживались после препарирования канала и его последующего временного пломбирования, они демонстрировали устойчивость к антибиотикам и способность выживать в условиях значительных колебаний pH среды, с чем многие исследователи связывают неудачи повторного эндодонтического лечения [10, 11].

Исследования последних лет основаны на определении влияния современных машинных файлов на качество обработки корневых каналов, а именно удаления пломбировочных материалов. Так, в связи с появлением на стоматологическом рынке машинных систем Reciproc (VDW GmbH), R-Endo (Micro-Mega), XP-endo Retreatment (FKG), рекомендуемых производителями для повторного эндодонтического лечения, в научных изданиях все чаще публикуются исследовательские данные о них. Следует отметить, что большинство исследований сделано в условиях *in vitro* и об отдаленных результатах таких исследований упоминаний в научных статьях нет. Однако при анализе таких исследований было выявлено, что эндосистема XP-endo Retreatment является лидирующей при удалении пломбировочного материала из искривленных корневых каналов [12]. Применение ее совместно с другими системами улучшало показатели удаления пломбировочного материала из корневых каналов, в том числе со сложной анатомией [13]. В нескольких исследованиях было указано о неспособности системы R-Endo полностью удалить пломбировочный материал из корневых каналов [14, 15]. Примечательно и то, что при ревизии корневых каналов машинная система Reciproc выводила остатки пломбировочного материала и дентинных опилок вperiапикальную область, повышая риск возникновения постпломбировочных болей после эндодонтического лечения [16–18].

Также имеются сведения о большом количестве исследований по воздействию машинных инструментов в сочетании с ирригантами на состав биопленки инфицированных корневых каналов. В научных изданиях публикуются работы об эффективности применения файлов Hyflex EDM, XP-endo Shaper, WaveOne Gold, ProTaper Next (PTN), HyFlex CM (HCM) в сочетании с физиологическим раствором, 3%-ным гипохлоритом натрия, 17%-ной этилендиаминететрауксусной кислотой, 9%-ной этидроновой кислотой (HEDP) в смеси с 5,25%-ным гипохлоритом натрия в отношении *E. faecalis*. Все они применялись на удаленных зубах в условиях искусственно созданной микробной биопленки. Важно, что ни в одном исследовании не говорится о полном удалении микробной биопленки [19–22].

Цель — изучить изменение состава биопленки корневых каналов, в том числе со сложной анатомией, в зубах с хроническим апикальным периодонтитом при их ревизии непосредственно в полости рта с применением современных машинных систем Reciproc (VDW), XP-endo Retreatment, R-Endo.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В проведенном нами микробиологическом исследовании отображено воздействие трех машинных эндодонтических систем (Reciproc, XP-endo Retreatment, R-Endo) на микробную составляющую биопленки корневых каналов при повторном эндодонтическом лечении. Исследовали облигатно-анаэробные и микроаэрофильные микроорганизмы, которые, как было сказано выше, наиболее широко распространены в биопленках

пролеченных корневых каналов зубов с хроническим апикальным периодонтитом. Вся работа по набору материала из корневых каналов, их медикаментозная и механическая обработка и пломбирование проводились *in vivo*, т.е. в условиях полости рта пациентов, что отображает новизну исследования. Собранный материал в пробирках доставлялся в микробиологическую лабораторию, где *in vitro* проводилось лабораторное исследование. Предварительно с каждым участником исследования было подписано добровольное информированное согласие.

Для формирования групп исследования были определены критерии включения, невключения и исключения. Критерии включения:

- возраст от 21 года до 68 лет;
- установленный после эндодонтического лечения диагноз «хронический апикальный периодонтит» (K04.5);
- пациенты с каналами, запломбированными различными эндодонтическими пастами, С-, S-образными корневыми каналами, искривлением корня в 90°, перешейками;
- отсутствие у пациента в анамнезе психоневрологических заболеваний;
- отсутствие у пациента в анамнезе аллергических реакций на препараты, применяемые в исследовании. Критерии невключения в исследование:
- первичное эндодонтическое лечение, непроходимые корневые каналы, отломки инструментов, перфорации;
- обострение хронического пародонтита тяжелой степени (K05.3);
- болезни пародонта в стадии обострения, сахарный диабет;
- прием антибактериальных препаратов менее чем за 2 недели на момент обследования;
- тяжелые системные заболевания в декомпенсированной стадии;
- острые или обострения хронических сопутствующих соматических воспалительных заболеваний;
- беременность и лактация;
- психоневрологические заболевания;
- наличие в анамнезе аллергических реакций на применяемые в исследовании препараты;
- наличие в анамнезе онкологических заболеваний.

Критерии исключения из исследования:

- выявление в ходе исследования индивидуальной непереносимости пациента на какой-либо применяемый препарат;
- развитие у пациента в ходе лечения общесоматической патологии;
- пропуск пациентами регламентируемых повторных контрольных приемов и несоблюдение предписанных рекомендаций во время и после проведенного лечения;
- отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании на одном из этапов лечения.

Участники исследования заполняли анкету здоровья, давали письменное информированное согласие на обработку персональных данных. Все пациенты случайным

образом были разделены на 3 группы по 20 человек в каждой, в зависимости от применяемой эндодонтической системы для механической обработки корневых каналов:

- I — система Reciproc;
- II — R-Endo;
- III — XP-endo Retreatment.

Для транспортировки исследуемого материала в микробиологическую лабораторию использовалась нейтрализующая среда Ди-Ингли (Himedia, Индия). Культивирование представителей микробиоты полости рта проводилось с использованием питательных среды производства Himedia (Индия): основа колумбийского кровяного агара с добавлением 5%-ной дефибринированной крови барана, основа колумбийского кровяного агара с добавлением 5%-ной дефибринированной крови барана и селективной добавкой для выделения неспоровых анаэробов, селективно-элективная питательная среда для культивирования стафилококков № 110, хромогенная питательная среда для грибов рода *Candida spp.*, питательная среда Эндо. Условия анаэробиоза создавали с использованием системы Mark III (Himedia, Индия) с прямой заменой кислорода на поверочную газовую смесь ГСО ПГС 10700-2018 и с использованием вакуумного насоса. Видовую идентификацию микроорганизмов проводили с использованием наборов для биохимической идентификации Biochemical Identification Test Kits (Himedia, Индия), а также с использованием ПЦР-идентификации.

При статистической обработке результатов количественные показатели оценивали на соответствие нормальному распределению с помощью критерия Шапиро—Уилка (при числе исследуемых менее 50) или Колмогорова—Смирнова (при числе исследуемых более 50). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей ($Q_1—Q_3$). Категориальные данные описывали с указанием абсолютных значений и процентных долей. При сравнении количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, в двух связанных группах использовали критерий Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перед тем как взять материал для микробиологического исследования из корневых каналов, проводились этапы эндодонтического лечения в соответствии с протоколом Европейского общества эндодонтистов: обезболивание и установка коффердама; иссечение и удаление инфицированных твердых тканей зуба, старых пломб [9], формирование доступа к устью корневого канала, распломбирование устьевой части корневого канала, прохождение корневого канала, определение рабочей длины канала; взятие первичного пломбировочного материала из корневого канала (рис. 1), механическая и медикаментозная обработка корневого канала; высушивание корневого канала; взятие материала из корневого канала повторно, пломбирование корневых каналов.

Далее материал направлялся в лабораторию для микробиологического исследования, в ходе которого были определены статистически значимые изменения показателей следующих видов микроорганизмов, способствующих развитию воспаления в периапикальных тканях: *S. intermedius*, *S. constellatus*, *E. faecalis* и *Bacteroides*. Были составлены диаграммы, где наглядно показаны изменения численного состава каждого вида этих микроорганизмов после механической обработки корневых каналов.

Количество *S. intermedius* в биопленке инфицированных корневых каналов статистически достоверно снизилось после механической обработки системами Reciproc и R-Endo (рис. 2). Также выявлено достоверное уменьшение количества *S. constellatus* после обработки корневых каналов системами Reciproc, R-Endo и XP-endo Retreatment (рис. 3). В отношении *E. faecalis* статистически значимый эффект снижения количества микроорганизмов в корневых каналах показала обработка эндодонтическими системами R-Endo и XP-endo Retreatment (рис. 4). В отношении представителей *Bacteroides* на статистически достоверно значимое уменьшение их присутствия в биопленке инфицированных корневых каналов показала эндодонтическая система XP-endo Retreatment (рис. 5).

При сравнении разницы средних значений показателей микроорганизмов до и после проведенной механической обработки корневых каналов выявились значительные изменения средних показателей статистически значимых результатов по изменению состава биопленки корневых каналов у системы XP-endo Retreatment (табл. 1).

Данная система оказывает влияние на большее разнообразие микроорганизмов, играющих одну из главных ролей в образовании периапикального воспалительного процесса. Так, в ходе исследования были получены данные по другим микроорганизмам биопленки корневых каналов, и они были статистически достоверны. В III группе к значимым результатам привела обработка корневых каналов в следующих видах микроорганизмов, кроме указанных выше: *S. sanguis*, *S. epidermidis*, *S. mutans*, *Corynebacterium spp.*,



Рис. 1. Момент взятия материала из корневого канала после его первичного прохождения при проведении ревизии корневого канала зуб 4.5

Fig. 1. The moment of taking material from the root canal after its initial passage during the revision of the root canal of the tooth 4.5

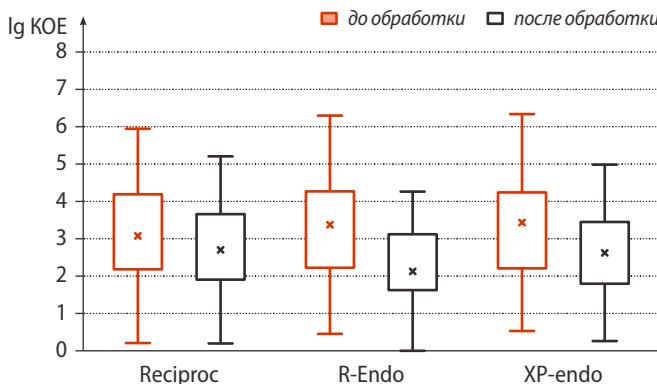


Рис. 2. Диаграммы изменения количества *S. intermedius* в биопленке корневых каналов до и после механической обработки ($p<0,05$)
Fig. 2. Diagrams of changes in the amount of *S. intermedius* in root canal biofilm before and after mechanical treatment ($p<0,05$)

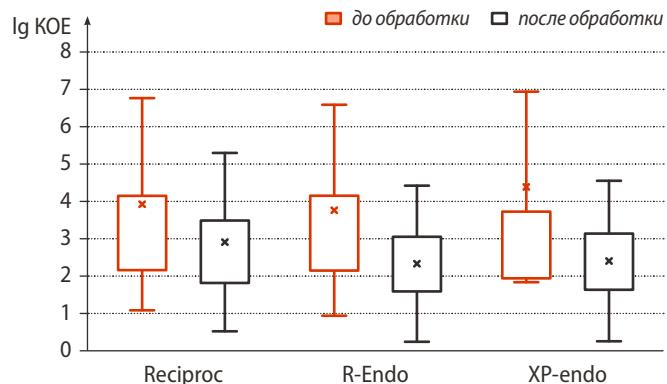


Рис. 4. Диаграммы изменения количества *E. faecalis* в биопленке корневых каналов до и после механической обработки ($p<0,05$)
Fig. 4. Diagrams of changes in the amount of *E. faecalis* in root canal biofilm before and after mechanical treatment ($p<0,05$)

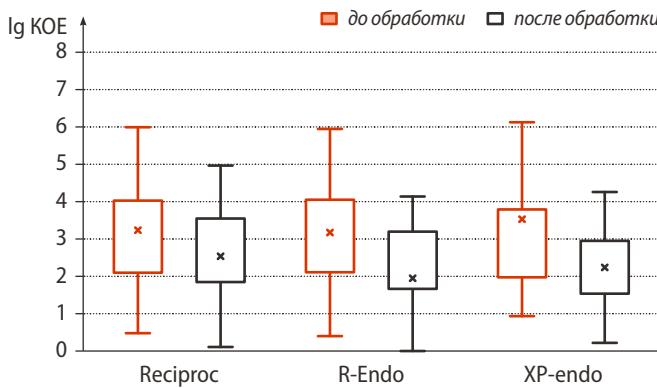


Рис. 3. Диаграммы изменения количества *S. constellatus* в биопленке корневых каналов до и после механической обработки ($p<0,05$)
Fig. 3. Diagrams of changes in the amount of *S. constellatus* in root canal biofilm before and after mechanical treatment ($p<0,05$)

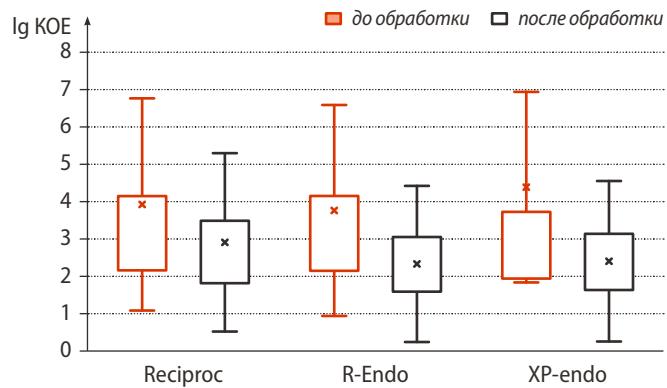


Рис. 5. Диаграммы изменения количества *Bacteroides* в биопленке корневых каналов до и после механической обработки ($p<0,05$)
Fig. 5. Diagrams of changes in the amount of *Bacteroides* in root canal biofilm before and after mechanical treatment ($p<0,05$)

во II группе были определены следующие результаты: *S. sanguis*, *P. anaerobius*, *F. nucleatum* и в I группе: *S. aureus*, *F. nucleatum*. В результатах эндосистем II и III группы присутствует *E. faecalis*, который является ядром биопленки и главным микроорганизмом, способствующим образованию других колоний бактерий на стенках корневых каналов. Также изменения в составе биопленки коснулись облигатно-анаэробных микроорганизмов, способных выживать исключительно в условиях обтурированных корневых каналов, имеющих резистентность к антибиотикам и способность уклоняться от иммунных свойств макроорганизма, а именно *P. anaerobius*, *P. gingivalis*. Несмотря на простоту применения файлов Reciproc воздействие инструмента на биопленку

корневого канала не характеризуется видовым разнообразием, а те микроорганизмы, содержание которых было уменьшено до значений, не вызывающих воспаления, не имеют основы в образовании биопленки корневых каналов зубов с хроническим апикальным периодонтитом. Кроме того, большая часть из них являются факультативными анаэробами, за исключением *F. nucleatum*, грамотрицательной, облигатно анаэробной бактерии, входящей в нормальную микрофлору полости рта человека и играющей одну из главных ролей в заболеваниях пародонта [23].

Эндодонтические системы Reciproc и R-Endo состоят из файлов, не имеющих свойств принимать форму корневого канала, при обработке корневых каналов они

Таблица 1. Изменение среднего количества микроорганизмов при обработке корневых каналов различными эндодонтическими системами

Table 1. Changes in the average amount of microorganisms during root canal treatment by various endodontic systems

Микроорганизм	Reciproc			R-Endo			XP-endo Retreatment		
	до	после	Δ	до	после	Δ	до	после	Δ
<i>S. intermedius</i>	$3,92 \cdot 10^6$	$0,85 \cdot 10^6$	$3,07 \cdot 10^6*$	$0,75 \cdot 10^6$	$0,03 \cdot 10^6$	$0,72 \cdot 10^6*$	$0,95 \cdot 10^6$	$0,83 \cdot 10^6$	$0,12 \cdot 10^6$
<i>S. constellatus</i>	$5,93 \cdot 10^6$	$0,82 \cdot 10^6$	$5,10 \cdot 10^6*$	$1,14 \cdot 10^6$	$0,03 \cdot 10^6$	$1,11 \cdot 10^6*$	$2,43 \cdot 10^6$	$0,03 \cdot 10^6$	$2,39 \cdot 10^6*$
<i>E. faecalis</i>	$11,15 \cdot 10^6$	$4,02 \cdot 10^6$	$7,13 \cdot 10^6$	$8,22 \cdot 10^6$	$0,11 \cdot 10^6$	$8,11 \cdot 10^6*$	$8,99 \cdot 10^6$	$0,83 \cdot 10^6$	$8,15 \cdot 10^6*$
<i>Bacteroides</i>	$7,03 \cdot 10^6$	$0,20 \cdot 10^6$	$6,83 \cdot 10^6$	$3,74 \cdot 10^6$	$0,10 \cdot 10^6$	$3,73 \cdot 10^6$	$4,03 \cdot 10^6$	$0,02 \cdot 10^6$	$4,01 \cdot 10^6*$

Таблица 2. Отдаленные результаты эндодонтического лечения через 6, 12 и 18 месяцев (в %)

Table 2. Long-term results of endodontic treatment after 6, 12, and 18 months (in per-cent)

	6 месяцев			12 месяцев			18 месяцев		
	Reciproc	R-Endo	XP-endo	Reciproc	R-Endo	XP-endo	Reciproc	R-Endo	XP-endo
Боль	30	25	25	5	5	5	10	5	0
Пальпация переходной складки	25	0	0	10	0	0	0	0	0
Перкуссия	15	5	15	5	5	0	5	5	0
Расширение Pt щели	20	0	0	5	5	0	10	0	0
Деструкция к/т	65	80	90	35	35	40	15	15	5
Удаленные	0	0	0	0	0	0	5	0	0

стремятся принять прямую форму. Инструмент системы Reciproc легко проходит прямые и незначительно искривленные корневые каналы, обтурированные гуттаперчевыми штифтами и другими фильтрами, но в случаях с резорцин-формалиновой пастой данные файлы не всегда эффективны и могут ломаться, помимо этого, из-за своих особенностей вращательных движений данные файлы оказывают влияние на стенки корневых каналов. В отдаленных результатах из 20 пролеченных зубов 1 был удален по причине перелома после лечения, постпломбировочные боли не проходили в течение 12 месяцев. Эндосистема R-Endo имеет в своем составе 5 файлов, она объемная для проведения лечения, но благодаря последовательной обработке данной системе поддаются любые пломбировочные материалы. Однако в зубах со сложной анатомией корневых каналов ею тоже довольно трудно работать из-за отсутствия необходимой гибкости файлов. В обеих системах пришлось прибегать к помощи ультразвуковых файлов во время распломбирования труднопроходимых корневых каналов без применения ирригантов, за исключением дистиллированной воды. В отдаленных результатах за 1,5 года отмечалось заживление очага воспаления у 85% зубов (табл. 2).

Машинная система XP-endo Retreatment справлялась с очисткой любых корневых каналов, однако для их прохождения, как и в двух предыдущих группах, был применен ультразвуковой эндодонтический файл. Эта эндосистема убирала весь пломбировочный материал, в том числе резорцин-формалиновую пасту, из самых труднодоступных участков корневых каналов, — ни на рентгеновских снимках (рис. 6), ни после ирригационной обработки канала фрагментов пломбировочного материала не обнаружено.

Кроме того, обработка зубов со сложной анатомией корневых каналов была осуществима благодаря строению файлов: их формы и гибкости. При переломе инструмента этой системы в корневом канале его можно легко извлечь с помощью ультразвука. Таким образом, механическая обработка корневых каналов машинными файлами XP-endo Retreatment становится высокоэффективной и безопасной (рис. 7).

Учитывая разнообразие изменения состава микробной флоры при обработке ранее обтурированных корневых каналов системой XP-endo Retreatment и ее способностью обрабатывать корневые каналы с различной анатомией, можно сделать выбор в пользу сочетания

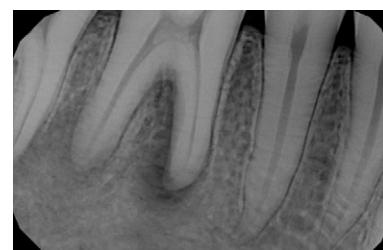


Рис. 6. Рентгенограмма зуба 4.6 после инструментальной обработки корневых каналов файлами XP-endo Retreatment ранее обтурированных гуттаперчевыми штифтами с сепаратором

Fig. 6. An X-ray of a 4.6 tooth after instrumental treatment of root canals with XP-endo Retreatment files previously lined with gutta-percha pins with a sealer



Рис. 7. Иллюстрация процесса повторного эндодонтического лечения зуба 4.5 с применением инструментов XP-endo Retreatment до, во время и после лечения

Fig. 7. An illustration of the process of repeated endodontic treatment of tooth 4.5 using XP-endo Retreatment before, during and after treatment

Таблица 3. Обобщение результатов исследования
Table 3. Summarizing the results of the study

Метод исследования	Reciproc	R-Endo	XP-endo
Микробиологический — изменения видового состава основных патогенных микроорганизмов после ревизии корневых каналов	<i>S. intermedius</i> <i>S. constellatus</i>	<i>S. intermedius</i> <i>S. constellatus</i> <i>E. faecalis</i> <i>Bacteroides</i>	
Статистический — уменьшение количества выявленных патогенных микроорганизмов после ревизии корневых каналов	78% 86%	96% 97% 99%	99% 91% 99%
Рентгенологический — изменения в периапикальных тканях, выявленные в отдаленных результатах	25%	15%	5%

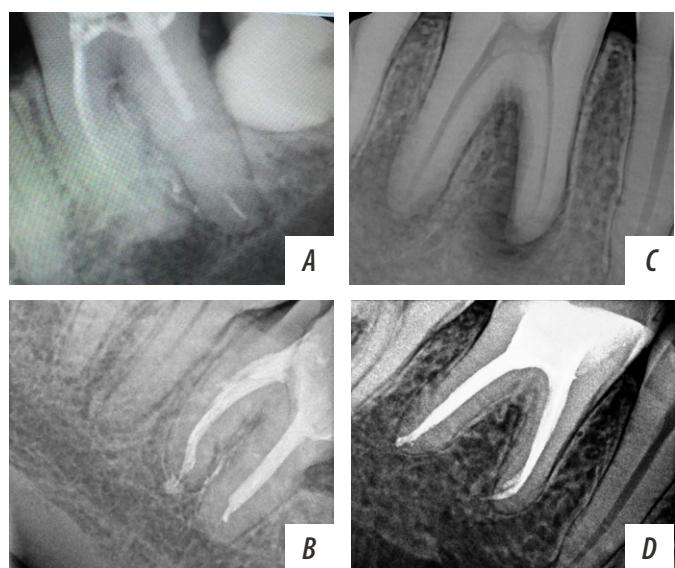


Рис. 8. Зубы 3.7 (A) и 4.6 (B) в первое посещение при проведении повторного эндодонтического лечения и через 1,5 года после обтурации корневых каналов (C и D), механическая обработка которых проводилась XP-endo Retreatment

Fig. 8. Dental X-rays: 3.7 (A, C) and 4.6 (B, D) on the first visit during repeated endodontic treatment and 1.5 years after root canal obturation, the mechanical treatment of which was carried out by XP-endo Retreatment

ее работы с системой R-Endo, которая характеризуется таким же многообразием изменения микрофлоры корневых каналов и удобством в прохождении корневых каналов, обтурированных любым пломбировочным материалом, создавая благоприятные условия для повторного эндодонтического лечения и полного заживления воспалительного процесса.

В отдаленных результатах у данной системы лучшие показатели как по заживлению воспалительного очага в периапикальной области, так и по отсутствию постпломбировочных болей (рис. 8, табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новизна исследования заключалась в том, что оно проводилось непосредственно в полости рта (in vivo). Наглядные примеры изменения микробной биопленки корневых каналов непосредственно до и после их обработки в полости рта, рентгеновских исследований отдаленных результатов подтверждают эффективность применения машинных файлов XP-endo Retreatment, а опираясь на изменения состава анаэробной микрофлоры, способствующей образованию периапикального воспаления, было выявлено, что совместная работа этих инструментов с системой R-endo в корневых каналах, позволит клиницистам изменять состав биопленки в более широких видовых категориях и экономить время на приеме, благодаря отсутствию поиска дополнительных файлов для прохождения запломбированных корневых каналов и полного очищения их стенок от пломбировочного материала.

Поступила/Received: 26.07.2024

Принята в печать/Accepted: 26.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Li Y., Wang Z., Bao P., Meng T., Liu M., Li H., Shen Y., Liu D., Jia Z., Liu H. Cleaning and disinfecting oval-shaped root canals: Ex vivo evaluation of three rotary instrumentation systems with passive ultrasonic irrigation. — *Medicina (Kaunas)*. — 2023; 59 (5): 962. [PMID: 37241194](#)
- Shaaban S., Hamad G.M., Genena S., Meheissen M.A., Moussa S. Evaluation of the antibacterial activity of Lactobacilli probiotics supernatants against Enterococcus faecalis (in-vitro study). — *BMC Oral Health*. — 2022; 22 (1): 407. [PMID: 36117178](#)
- Wong J., Manoil D., Näsman P., Belibasakis G.N., Neelakantan P. Microbiological aspects of root canal infections and disinfection strategies: An update review on the current knowledge and challenges. — *Front Oral Health*. — 2021; 2: 672887. [PMID: 35048015](#)
- Румянцев В.А., Родионова Е.Г., Некрасов А.В., Черджиева Ф.Б., Куприянова М.С.Биопленка в эндодонтии Часть I. Свойства и методы изучения (обзор литературы). — Эндодонтия Today. — 2018; 1: 17—21. [Rumyantsev V.A., Rodionova E.G., Nekrasov A.V., Cherdzhieva F.B., Kupriyanova M.S.Biofilm in endodontics Part I. Properties and methods of study (review of the literature). — *Endodontics Today*. — 2018; 1: 17—21 (In Russian)]. [eLibrary ID: 35001909](#)
- Манак Т.Н.Микробиологические аспекты заболеваний эндодонта. — Стоматолог. Минск. — 2011; 2 (2): 49—52. [Manak T.N.Microbiologic aspects of the endodontia diseases. — *Dentist (Minsk)*. — 2011; 2 (2): 49—52 (In Russian)]. [eLibrary ID: 20807056](#)
- Расков А.А., Громова С.Н., Пышкина О.А., Кайсина Т.Н., Колеватых Е.П., Мальцева О.А., Кренева В.А.Состав биопленки корневого канала при хронических формах периодонтитов (обзор литературы). — Вятский медицинский вестник. — 2021; 2 (70): 95—98. [Raskov A.A., Gromova S.N., Pyshkina O.A., Kaysina T.N., Kollevatykh E.P., Maltseva O.A., Kreneva B.A.Composition of root canal biofilm in chronic forms of periodontitis (literature review)]. [eLibrary ID: 20807056](#)
- Расков А.А., Громова С.Н., Пышкина О.А., Кайсина Т.Н., Колеватых Е.П., Мальцева О.А., Кренева В.А.Состав биопленки корневого канала при хронических формах периодонтитов (обзор литературы). — Вятский медицинский вестник. — 2021; 2 (70): 95—98. [Raskov A.A., Gromova S.N., Pyshkina O.A., Kaysina T.N., Kollevatykh E.P., Maltseva O.A., Kreneva B.A.Composition of root canal biofilm in chronic forms of periodontitis (literature review)]. [eLibrary ID: 20807056](#)

- review). — *Medical Newsletter of Vyatka*. — 2021; 2 (70): 95—98 [In Russian]. [eLibrary ID: 46262295](#)
7. Chávez De Paz L.E., Dahlén G., Molander A., Möller A., Bergenholz G. Bacteria recovered from teeth with apical periodontitis after antimicrobial endodontic treatment. — *Int Endod J*. — 2003; 36 (7): 500—8. [PMID: 12823706](#)
8. Оправин А.С., Галиева А.С., Давидович Н.В., Спиречева Э.П., Поливаная Е.А., Бажукова Т.А. Пародонтопатогенная микрофлора и гены антибиотикорезистентности у лиц с хроническим генерализованным пародонтитом. — *Пародонтология*. — 2023; 1: 39—47.
- [Opravin A.S., Galieva A.S., Davidovich N.V., Spiricheva E.P., Polivanaya E.A., Bazhukova T.A. Periodontal pathogens and antibiotic resistance genes in individuals with chronic generalized periodontitis. — *Parodontologiya*. — 2023; 1: 39—47 (In Russian)]. [eLibrary ID: 50451533](#)
9. Кукушкин В.Л., Дутова А.А., Кукушкина Е.А., Смирницикая М.В. Анаэробная микрофлора эндодонта при хроническом апикальном периодоните. — *Эндодонтия Today*. — 2017; 1: 13—15.
- [Kukushkin V.L., Dutova A.A., Kukushkina E.A., Smirnitskaya M.V. Anaerobic endodontic microflora in chronic apical periodontitis. — *Endodontics Today*. — 2017; 1: 13—15 (In Russian)]. [eLibrary ID: 29265623](#)
10. Царев В.Н., Подпорин М.С., Ипполитов Е.В. Оценка эффективности эндодонтической дезинфекции корневых каналов зуба с применением сканирующей электронной микроскопии микробной биопленки. — *Бактериология*. — 2017; 1: 6—13.
- [Tsarev V.T.N., Podporin M.S., Ippolitov E.V. Evaluating of the effectiveness of endodontic disinfection of root channels by using scanning electron microscopy of microbial biofilms. — *Bacteriology*. — 2017; 1: 6—13 (In Russian)]. [eLibrary ID: 35005307](#)
11. Barbosa-Ribeiro M., Arruda-Vasconcelos R., Louzada L.M., Dos Santos D.G., Andreato F.D., Gomes B.P.F.A. Microbiological analysis of endodontically treated teeth with apical periodontitis before and after endodontic retreatment. — *Clin Oral Investig*. — 2021; 25 (4): 2017—2027. [PMID: 32860137](#)
12. Hassan H.Y., Hadhoud F.M., Mandorah A. Retreatment of XP-endo Shaper and R-Endo files in curved root canals. — *BMC Oral Health*. — 2023; 23 (1): 38. [PMID: 36694152](#)
13. Tsenova-Ilieva I., Dogandzhyska V., Raykovska M., Karova E. Micro-CT study on the supplementary effect of XP-Endo Finisher R after endodontic retreatment with Mtwo-R. — *Niger J Clin Pract*. — 2023; 26 (12): 1844—1849. [PMID: 38158351](#)
14. Das S., De Ida A., Das S., Nair V., Saha N., Chattopadhyay S. Comparative evaluation of three different rotary instrumentation systems for removal of gutta-percha from root canal during endodontic retreatment: An in vitro study. — *J Conserv Dent*. — 2017; 20 (5): 311—316. [PMID: 29386777](#)
15. Gaffoor F.M.A., Chintu S., Thota L., Kumar A., Thota G., Dwivedi V., Badiyani B.K. An in vitro study of gutta percha removal commencing from the root canal undergoing endodontic retreatment using different rotary instrumentation systems. — *J Pharm Bioallied Sci*. — 2022; 14 (Suppl 1): S522-S525. [PMID: 36110743](#)
16. Ciftcioglu E., Sungur Guzel R., Akbal Dincer G., Karakaya G., Kucukay E.S. Efficiency of ProTaper Universal Retreatment, Reciproc Blue and XP-endo Shaper in the removal of a bioceramic-based root canal filling. — *Eur Oral Res*. — 2023; 57 (3): 159—164. [PMID: 37929225](#)
17. Altunbas D., Kutuk B., Toyoglu M., Kutlu G., Kustarci A., Er K. Reciproc versus Twisted file for root canal filling removal: assessment of apically extruded debris. — *J Istanbul Univ Fac Dent*. — 2016; 50 (2): 31—37. [PMID: 28955563](#)
18. Çanakçı B.C., Ustun Y., Er O., Genc Sen O. Evaluation of apically extruded debris from curved root canal filling removal using 5 nickel-titanium systems. — *J Endod*. — 2016; 42 (7): 1101—4. [PMID: 27179592](#)
19. Stueland H., Ørstavik D., Handal T. Treatment outcome of surgical and non-surgical endodontic retreatment of teeth with apical periodontitis. — *Int Endod J*. — 2023; 56 (6): 686—696. [PMID: 36938637](#)
20. Crozeta B.M., Lopes F.C., Menezes Silva R., Silva-Sousa Y.T.C., Moretti L.F., Sousa-Neto M.D. Retreatability of BC Sealer and AH Plus root canal sealers using new supplementary instrumentation protocol during non-surgical endodontic retreatment. — *Clin Oral Investig*. — 2021; 25 (3): 891—899. [PMID: 32506324](#)
21. Azarpazhooh A., Khazaei S., Jafarzadeh H., Malkhasian G., Sgro A., Elbarbary M., Cardoso E., Oren A., Kishen A., Shah P.S. A scoping review of four decades of outcomes in non-surgical root canal treatment, nonsurgical retreatment, and apexification studies: Part 3 — A proposed framework for standardized data collection and reporting of endodontic outcome studies. — *J Endod*. — 2022; 48 (1): 40—54. [PMID: 34688792](#)
22. Cardoso É.R., Tookuni I.V.M., Morais C.A.H., Pavan N.N.O., Santin G.C., Capitanio M., Endo M.S. Effectiveness of reciprocating and rotary retreatment files in the removal of endodontic filling material. — *Gen Dent*. — 2022; 70 (1): 22—25. [PMID: 34978985](#)
23. Окулич В.К., Колчанова Н.Э., Чернявский Ю.П. Особенности течения хронического периодонита, ассоциированного с биопленкообразующими микроорганизмами. — *Пародонтология*. — 2018; 4 (89): 9—14.
- [Okulich V.K., Kolchanova N.E., Cherniavsky Yu.P. Features of progress of chronic periodontitis associated with biofilm-forming bacteria. — *Parodontologiya*. — 2018; 4 (89): 9—14 (In Russian)]. [eLibrary ID: 37045901](#)

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_58

И.Г. Романенко,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой стоматологии факультета подготовки медицинских кадров высшей квалификации и дополнительного профессионального образования

Н.И. Чепурова,

ассистент кафедры стоматологии факультета подготовки медицинских кадров высшей квалификации и дополнительного профессионального образования

М.А. Кривенцов,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой патологической анатомии с секционным курсом

Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского,
295006, Симферополь, Россия**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Романенко И.Г., Чепурова Н.И., Кривенцов М.А. Гистопатологические изменения в тканях пародонта при экспериментальном апикальном периодонте и его коррекции гидроксиапатитом и лизоцимом. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 58—65.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_58

I.G. Romanenko,Doctor of Science in Medicine, full professor
of the Dentistry DepartmentN.I. Chepurova,

assistant of the Dentistry Department

M.A. Kriventsov,Doctor of Science in Medicine, full professor
of the Pathomorphology DepartmentCrimean Federal University,
295006, Simferopol, Russia**FOR CITATION:**Romanenko I.G., Chepurova N.I., Kriventsov M.A. Histopathological changes in periodontal tissue during experimental apical periodontitis and its correction with hydroxyapatite and lysozyme. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 58—65 (In Russian).

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_58

Гистопатологические изменения в тканях пародонта при экспериментальном апикальном периодонте и его коррекции гидроксиапатитом и лизоцимом

Аннотация. Апикальный периодонтит представляет собой воспалительное заболевание периапикальных тканей. Несмотря на успехи в терапии случаи с резистентным течением заболевания подчеркивают необходимость разработки новых терапевтических подходов, включающих применение соединений с остеоиндуктивными и антибактериальными свойствами. **Целью** данного исследования являлась оценка гистопатологических изменений при экспериментально индуцированном апикальном периодоните (АП) у крыс на фоне применения гидроксиапатита (ГАП) и лизоцима. Апикальный периодонтит моделировали у крыс линии Вистар путем введения пчелиного яда в пульпарную полость моляров верхней челюсти. Крысы были разделены на 7 групп по 6 животных в каждой, включая группу контроля, группы АП, а также группы изолированного применения ГАП и группы комбинированного применения ГАП и лизоцима. Гистопатологические изменения в тканях периодонта и окружающей костной ткани анализировали с использованием описательного гистопатологического метода. В группе АП наблюдались значительные дегенеративные и воспалительные изменения, включая отек и полнокровие сосудов, а также явления остеокластической резорбции костной ткани. Применение ГАП приводило к снижению остеокластической активности к 30-м суткам, однако демонстрировало минимальные противовоспалительные эффекты. Комбинация ГАП и лизоцима значительно снижала воспаление, стимулировала ремоделирование костной ткани и усиливала reparативную регенерацию на всех этапах исследования. Комбинированное применение ГАП и лизоцима продемонстрировало синергетический эффект в снижении воспаления, вызванного АП, и стимуляции регенерации периодонта, что делает данный подход перспективным в терапии апикального периодонита.

Ключевые слова: экспериментальная модель, апикальный периодонтит, гидроксиапатит, лизоцим, морфология

Histopathological changes in periodontal tissue during experimental apical periodontitis and its correction with hydroxyapatite and lysozyme

Annotation. Apical periodontitis is an inflammatory disease of periapical tissues. Despite advances in treatment, persistent cases highlight the need for innovative therapeutic approaches, including osteoinductive and antibacterial substances. **The objective** of this study was to evaluate the histopathological effects of hydroxyapatite (HAP) and lysozyme on experimentally induced apical periodontitis (AP) in rats. Apical periodontitis was induced in Wistar rats by injecting bee venom into the pulpal cavity of maxillary molars. The rats were divided into seven groups (6 animals each), including a control group, AP groups, as well as groups with isolated application of HAP and groups with combined application of HAP and lysozyme. Histopathological changes in the periodontal tissues and surrounding bone were analyzed using descriptive histopathological method. AP caused significant degenerative and inflammatory changes, including edema, vascular congestion, and osteoclastic bone resorption. HAP alone reduced osteoclastic activity at 30 days but showed minimal anti-inflammatory effects. The combination of HAP and lysozyme significantly reduced inflammation, normalized bone remodeling, and enhanced reparative regeneration at both time points. The combined use of HAP and lysozyme demonstrates synergistic effects in mitigating AP-induced inflammation and promoting periodontal regeneration, providing a promising approach for AP treatment.

Key words: experimental model, apical periodontitis, hydroxyapatite, lysozyme, morphology

ВВЕДЕНИЕ

Апикальный периодонтит представляет собой воспалительное заболевание периапикальных тканей зуба, которое обычно связано с их инфицированием через некротизированную систему корневых каналов зуба [1]. В результате бактериальной инвазии формируется воспалительный ответ, который приводит к разрушению периапикальных тканей, включая периодонтальную связку, и окружающей костной ткани альвеолярного отростка. Апикальный периодонтит может наблюдаться в качестве реакции на первичную одонтогенную инфекцию в нелеченых зубах или в результате стойких или вторичных инфекций после эндодонтического лечения [2, 3].

Современные представления о периодонте указывают на то, что патологический процесс обусловлен сложными взаимодействиями между бактериальными патогенами и местным иммунным ответом, что приводит к динамическому балансу процессов разрушения и восстановления тканей, включая изменения в костной ткани. В неблагоприятных исходах апикальный периодонтит может привести к прогрессирующей резорбции кости и хроническим воспалительным поражениям с формированием периапикальных гранулем или кист [4, 5].

Экспериментальные модели на животных, особенно с использованием крыс, сыграли важную роль в изучении патофизиологии апикального периодонта и оценке новых терапевтических подходов. Такие модели позволяют изучить динамику иммуновоспалительных процессов, резорбции кости и восстановления тканей в контролируемых условиях [6, 7]. Кроме того, экспериментальный подход позволяет оценить эффективность использования перспективных биоматериалов и биологически активных веществ в качестве терапевтических средств. В частности, гидроксиапатит, известный своими остеоиндуктивными свойствами, и лизоцим, фермент с антибактериальными и иммуномодулирующими эффектами, продемонстрировали многообещающие результаты с точки зрения регенерации костной ткани и контроля инфекционного воспалительного процесса [8]. Синергетические эффекты гидроксиапатита и лизоцима позволяют предположить двойное действие — элиминацию микробной флоры, с одной стороны, и интенсификацию процессов reparативной регенерации, с другой стороны. Это подтверждается ранее проведенными исследованиями, в которых был продемонстрирован потенциал этих веществ при стимулировании регенерации костной ткани и модуляции воспалительных процессов [9]. Более того, применение биологически активных веществ, таких как лизоцим, продемонстрировало способность к восстановлению иммунного баланса и уменьшению явлений дисбиоза — ключевых факторов в патогенезе периодонта [10]. При этом имеющиеся в литературе данные, касающиеся сочетанного применения гидроксиапатита и лизоцима в условиях экспериментально индуцированного апикального периодонта, ограничены.

Исходя из вышеизложенного **целью данного исследования** стала оценка влияния гидроксиапатита (в нашей работе — «Гидроксиапол ГАП-85УД» производства «Полистом», Россия) и 0,1%-ного раствора лизоцима на гистопатологическое состояние тканей пародонта в условиях экспериментально индуцированного апикального периодонта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальное исследование проведено на 42 самках белых крыс линии Вистар массой тела 220 ± 15 г, содержащихся в стандартных условиях вивария с доступом к воде и пище. Крысы содержались в стандартных пластиковых клетках в условиях с контролируемой температурой и влажностью с соблюдением 12-часового цикла освещенности. В соответствии со схемой эксперимента по 6 крыс случайным образом распределили на 7 групп:

- I — норма, интактные животные;
- II — экспериментальный периодонтит, 10 дней;
- III — экспериментальный периодонтит, 30 дней;
- IV — экспериментальный периодонтит + гидроксиапатит, 10 дней;
- V — экспериментальный периодонтит + гидроксиапатит, 30 дней;
- VI — экспериментальный периодонтит + гидроксиапатит + 0,1% раствор лизоцима, 10 дней;
- VII — экспериментальный периодонтит + гидроксиапатит + 0,1% раствор лизоцима, 30 дней.

Смесь гидроксиапатита и оксида цинка в равных соотношениях замешивали в физрастворе согласно инструкции. Полученную суспензию в количестве 0,1 мл вводили в канал моляра животных IV и V групп с помощью эндодонтического инструментария для пломбирования корневых каналов зубов. Аналогично смесь гидроксиапатита и оксида цинка в равных соотношениях замешивали на 0,1%-ном изотоническом растворе лизоцима и пломбировали корневые каналы зубов животных VI и VII групп. Вскрытие пульповых камеры герметизировали стеклоиономерным цементом светового отверждения «Цемилайт».

До начала эксперимента проводили осмотр ротовой полости животных. Вскрытие полости зуба осуществляли через жевательную поверхность левого верхнего первого моляра при помощи микромотора с прямым наконечником с использованием шаровидного бора. Для последующего раскрытия пульпарной полости использовали игольчатый бор. После трепанирования пульпарной камеры апикальный периодонтит моделировали путем введения в полость зуба ~ 50 мкл суспензии пчелиного яда. После вскрытия пульпарной камеры в полость зуба вводили гидроксиапатит в качестве самостоятельного средства (IV и V группа) или в сочетании с лизоцимом (VI и VII группа).

На протяжении всего эксперимента за животными осуществлялось наблюдение, включая осмотр полости рта и состояния трепанированного зуба.

После выведения животных из эксперимента (спустя 10 и 30 дней), полученные образцы зубочелюстных сегментов в области моляров верхней челюсти фиксировали в нейтральном забуференном 10%-ном формалине на протяжении ~24 ч с последующей декальцинацией в 10%-ном растворе ЭДТА на протяжении ~2 недель. В дальнейшем проводили стандартную гистологическую подготовку с использованием гибридного гистологического процессора Logos (Milestone Medical, Италия), модуля Leica EG1150 (Leica Biosystems, Германия) и автоматического ротационного микротома Leica RM2255 (Leica Biosystems, Германия). Для проведения описательного гистопатологического и морфометрического анализа образцы окрашивали гематоксилином и эозином с последующей оцифровкой с использованием гистосканера Aperio CS2 (Leica Biosystems, Германия) и анализом цифровых изображений с использованием программного обеспечения Aperio ImageScope и ImageJ [11].

Морфологический блок экспериментального исследования проведен в центральной научно-исследовательской лаборатории Медицинского института КФУ им. В.И. Вернадского на поверенном сертифицированном оборудовании.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На гистологических препаратах моляра верхней челюсти и окружающих его тканей пародонта интактных крыс (I группа) после декальцинации хорошо визуализируются все основные структуры. Твердые ткани представлены дентином, сформированным дентинными трубочками, и цементом с наличием хаотично расположенных в межклеточном матриксе клеточных элементов (цементобластов и цементоцитов) в небольших лакунах. Пульпа зуба хорошо сформирована и представлена хорошо васкуляризованной рыхлой волокнистой соединительной тканью с преобладанием клеток фибробластического ряда. Изнутри пульпарная камера выстлана одним слоем параллельно ориентированных клеток — одонтобластов, с четкой поляризацией на апикальную и базальную части. По периферии от цемента в области корней зуба хорошо визуализируется периодонтальная связка (периодонт), представленная соединительной тканью с выраженным волокнистым компонентом, фибробластами и другими клеточными элементами микроокружения. Костная ткань альвеолярного отростка представлена эозинофильной пластинчатой костной тканью с хорошо сформированными остеонами в области компактной кортикальной пластиинки. Более глубжележащие отделы пластинчатой костной ткани были представлены губчатой костной тканью с наличием различных по толщине трабекул, с расположенными между ними небольшими костно-мозговыми полостями. Клеточный компонент костной ткани альвеолярного отростка был представлен типичными остеоцитами, расположенными в лакунах, а также единичными остеобластами и остеокластами,

локализующимися преимущественно на поверхности костных балок. В группе интактных животных какие-либо гистопатологические изменения, за исключением невыраженных явлений гемодинамических нарушений реактивного характера, как со стороны тканей зуба, так и со стороны периодонта и расположенной по периферии костной ткани отсутствовали.

На 10-е сутки (II группа) в качестве преобладающих гистопатологических изменений выступали изменения дегенеративно-некротического характера в сочетании с выраженными гемодинамическими нарушениями и явлениями острого серозного или гнойного воспаления, как в пульпе, так и в области апикального периodontа. В частности, сохранившиеся элементы пульпы характеризовались явлениями отека с выраженными гемодинамическими нарушениями в виде полнокровия и тромбоза сосудов микроциркуляторного русла с наличием воспалительной клеточной инфильтрации, представленной преимущественно полиморфноядерными нейтрофилами (рис. 1А). Одонтобласти, хоть и сохранили столбчатую структуру, также характеризовались явлениями выраженного внутриклеточного отека с нарушением полярности расположения ядер. Аналогичные изменения наблюдались и в отношении периодонта в периапикальной области с выраженными признаками интерстициального отека, гемодинамических нарушений и диффузной смешанно-клеточной воспалительной инфильтрацией с преобладанием нейтрофилов. Примечательным также являлось наличие в составе воспалительного инфильтрата существенного количества эозинофилов, что может быть связано с особенностью местной тканевой реакции на экспериментальный повреждающий фактор (рис. 1В). В области апикального периodontа также определялись признаки фибринOIDного некроза с появлением бесструктурных гомогенных эозинофильных масс в стенках сосудов и периваскулярных пространствах. Выявленные изменения, а также степень их выраженности позволяют констатировать частично необратимый характер экспериментального повреждения.

Аналогичные по своей направленности и выраженности изменения также наблюдались со стороны костной ткани альвеолярного отростка. При этом, учитывая особенности костной ткани, в качестве преобладающих изменений выступали явления остеолиза с активной резорбцией костной ткани остеокластами (рис. 1С). Подобные изменения сопровождались также выраженными гемодинамическими нарушениями с появлением очагов кровоизлияний в поднадкостничную область. При этом костные пластинки характеризовались дезорганизацией с частичной утратой характерного строения остеонов и формированием участков резорбции вещества костной ткани в виде единичных лакун. В некоторых участках происходило полное разобщение костных балок с формированием бесструктурной некротической массы по типу секвестрации.

На 30-е сутки (III группа) выявленные гистопатологические изменения также включали гемодинамические

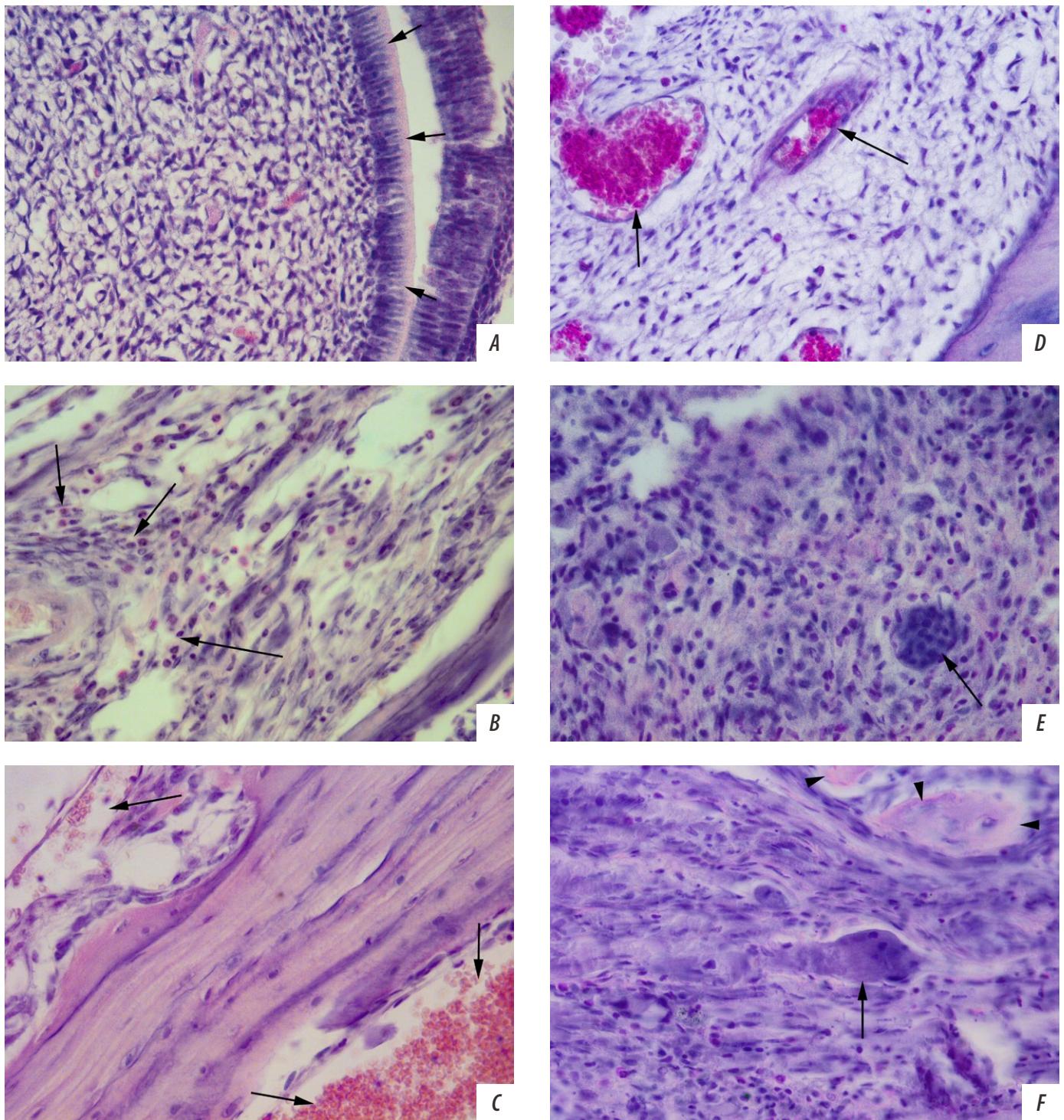


Рис. 1. Апикальный периодонтит, 10-е сутки: А — пульпа зуба с выстилающими пульпарную камеру одонтобластами (стрелки), выраженные признаки отека, гемодинамических нарушений на фоне нейтрофильной воспалительной инфильтрации; В — периодонт в области верхушки зуба с признаками интерстициального отека и смешанной воспалительной инфильтрации с преимущественно периваскулярным скоплением воспалительного экссудата (стрелки); С — участок кортикальной пластинки альвеолярного отростка верхней челюсти с признаками активной резорбции костной ткани на фоне выраженных гемодинамических нарушений и очаговых кровоизлияний (стрелки). **Апикальный периодонтит, 30-е сутки:** Д — участок пульпы зуба с выраженным признаками отека, гемодинамических нарушений (стрелки) и незначительной воспалительной инфильтрацией; Е — участок периодонта с периапикальной гранулемой. Воспалительная смешанно клеточная инфильтрация с наличием гигантских многоядерных клеток по типу остеоклазтов (стрелка); Ф — участок периодонта на границе с истонченными костными балками альвеолярного отростка верхней челюсти (указатели), воспалительная смешанно клеточная инфильтрация с активными остеоклазтами (стрелка). Окраска гематоксилином и эозином, ув. 600.

Fig. 1. Apical periodontitis, Day 10: A — Dental pulp lined with odontoblasts (arrows) forming the pulp chamber, marked signs of edema, hemodynamic disturbances against the background of neutrophilic inflammatory infiltration; B — Periodontal tissue in the apex of the tooth showing signs of interstitial edema and mixed inflammatory infiltration with a predominantly perivascular accumulation of inflammatory exudate (arrows); C — A section of the cortical plate of the alveolar process of the maxilla, demonstrating active bone resorption accompanied by severe hemodynamic disturbances and focal hemorrhages (arrows). **Apical periodontitis, Day 30:** D — A section of the dental pulp with pronounced edema, hemodynamic disturbances (arrows), and mild inflammatory infiltration; E — A section of the periodontal tissue with a periapical granuloma, mixed inflammatory cell infiltration with the presence of multinucleated giant cells of the osteoclast type (arrow); F — A section of the periodontal tissue at the boundary with thinned bony trabeculae of the alveolar process of the maxilla (indicators), mixed inflammatory cell infiltration with active osteoclasts (arrow). H&E staining, mag. 600x.

нарушения, дегенеративно-некротические изменения и воспалительную реакцию. При этом тканевой ответ на повреждение приобретал хронический характер с переходом от экссудативно-некротических изменений к изменениям пролиферативной природы. Кроме того, в значительной степени нарастили признаки активной деструкции костной ткани альвеолярного отростка.

Изменения со стороны пульпы, несмотря на стихание экссудативной фазы воспалительной реакции и уменьшение интенсивности клеточной инфильтрации, по-прежнему характеризовались выраженным в той или иной степени гемодинамическими нарушениями с расширением и полнокровием сосудов микроциркуляторного русла (рис. 1D). В качестве наиболее типичного изменения на 30-е сутки после моделирования апикального периодонтита выступало формирование периапикальной гранулемы, представленной смешанным клеточным инфильтратом, в составе которого по типичным морфологическим признакам были выявлены сегментоядерные нейтрофилы, клетки лимфоидного ряда, включая плазмоциты, клетки моноцитарно-макрофагального ряда, эпителиоидные клетки, а также клетки мезенхимального микроокружения. В качестве немаловажной гистопатологической находки выступало наличие в составе клеточного инфильтрата множества гигантских многоядерных остеокластоподобных клеток (рис. 1Е и F). Наличие хронического моноцитарно-макрофагального воспалительного инфильтрата (гранулемы) в периапикальных тканях способствовало дальнейшей деструкции костной ткани альвеолярного отростка, в том числе за счет трансдифференцировки макрофагов в остеоклости. Выявленные характерные микроскопические признаки указывали на значительное преобладание остеолитических процессов. Костные балки теряли свою структурную организацию с формированием многочисленных лакун, соседствующих с воспалительной клеточной инфильтрацией. В ряде случаев, как и на ранних сроках наблюдения, формировалась расположенные в полости бесструктурные эозинофильные массы по типу секвестров. Наряду с этими изменениями в качестве другого характерного изменения со стороны костной ткани выступала фиброзная дисплазия с разрастанием соединительной ткани между костными балками.

Применение гидроксиапатита на фоне индуцированного периодонтита не оказалось существенного влияния на выявляемые гистопатологические изменения. В частности, на 10-е сутки в IV группе по-прежнему, как со стороны тканей зуба, так и со стороны периапикальных тканей, наблюдались выраженные гемодинамические нарушения, дегенеративно-некротические явления, а также признаки острой экссудативной фазы воспалительного ответа (рис. 2A).

Изменения на фоне применения гидроксиапатита на 30-е сутки (V группа) также характеризовались переходом к пролиферативной фазе воспаления с формированием воспалительной гранулемы, как правило, в периапикальных тканях. Отличительной особенностью

стало наличие единичных участков скопления базофильных масс гидроксиапатита, окруженных различными клеточными элементами (рис. 2B). Несмотря на присутствие в клеточном инфильтрате остеокластов, их количество было существенно меньше, чем в группе без применения гидроксиапатита. Аналогично этому также отмечалась гораздо менее выраженная остеолитическая активность, что, по всей видимости, частично обусловлено восстановлением местного кальциевого гомеостаза за счет применения гидроксиапатита. Тем не менее часть костных балок альвеолярного отростка по-прежнему подвергалась лизису со скоплением остеокластов, как в непосредственной близости от участков костных пластинок, так и в составе воспалительного клеточного инфильтрата (рис. 2C).

Применение комбинации гидроксиапатита и лизоцим-содержащего препарата на фоне экспериментально индуцированного апикального периодонтита приводило к значительной нормализации гистологической картины периодонта и окружающих костных структур альвеолярного отростка верхней челюсти. Выявленные гистопатологические изменения на 10-е сутки эксперимента (VI группа), несмотря на аналогичную тенденцию к развитию гемодинамических нарушений и явлений острого экссудативного воспаления, были выражены в значительно меньшей степени по сравнению с аналогичными сроками наблюдения в группах крыс без коррекции или на фоне применения гидроксиапатита. При этом так же, как и в других группах, отмечались явления очаговой деструкции периапикальной костной ткани с образованием небольших лакун. Со стороны костной ткани альвеолярного отростка также обращало на себя внимание значительно меньшее количество остеокластов и, наоборот, наличие большого числа остеобластов, локализующихся преимущественно в области костных трабекул, что указывает на активные процессы остеосинтеза (рис. 2D).

Гистопатологические изменения спустя 30 дней после экспериментально индуцированного апикального периодонтита на фоне применения гидроксиапатита и лизоцима характеризовались активацией компенсаторно-приспособительных реакций и переходом от экссудативной к пролиферативной фазе воспаления с последующей репарацией поврежденных тканей. Как и в других экспериментальных группах, в тканях периодонта наблюдался смешанно-клеточный инфильтрат, который в основном состоял из клеток моноцитарно-макрофагального ряда и лимфоцитов с примесью небольшого количества плазматических клеток и нейтрофилов (рис. 2E). В составе данного клеточного инфильтрата остеоклости встречались лишь в единичном количестве. Прилежащие к апикальной области костные балки сохраняли свою гистологическую структуру с преобладанием клеток остеобластического ряда. Несмотря на наличие единичных остеокластов с типичной морфологией данные клетки не локализовались в непосредственном контакте с поверхностью костных балок, что указывает на отсутствие выраженных

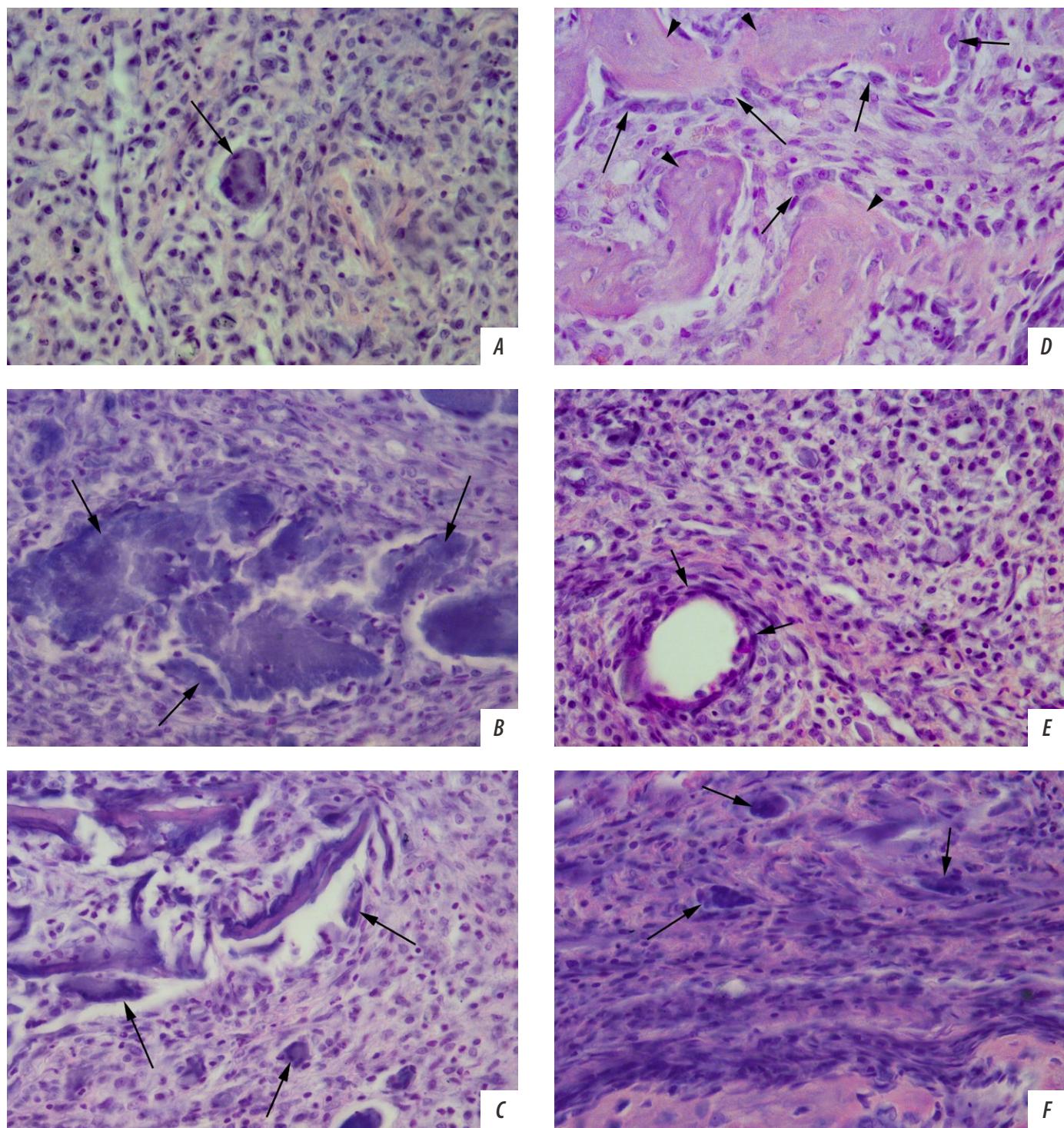


Рис. 2. Апикальный периодонтит + гидроксиапатит: А — участок периодонта с признаками воспалительной клеточной инфильтрации и единичными остеоклазами (стрелка) на 10-е сутки; В — участок периапикального периодонта с многочисленными гомогенными базофильными массами (стрелки), окружеными смешанно клеточным воспалительным инфильтратом на 30-е сутки; С — участок периодонта с остатками лизированных костных балок в окружении остеоклазов (стрелки) на 30-е сутки. Апикальный периодонтит + гидроксиапатит + лизоцим: Д — участок периапикальных тканей с костными балками (указатели) с многочисленными остеобластами (стрелки) на фоне невыраженных гемодинамических нарушений на 10-е сутки; Е — участок периодонта с воспалительным инфильтратом вокруг сосудов (стрелки); F — участок периапикального периодонта с единичными остеоклазами (стрелки) на 30-е сутки. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 600

Fig. 2. **Apical periodontitis + hydroxyapatite:** A — A section of the periodontal tissue showing signs of inflammatory cell infiltration and single osteoclasts (arrow) on day 10; B — A section of the periapical periodontal tissue with numerous homogeneous basophilic masses (arrows) surrounded by mixed-cell inflammatory infiltration on day 30; C — A section of the periodontal tissue with remnants of lysed bone trabeculae surrounded by osteoclasts (arrows) on day 30. **Apical periodontitis + hydroxyapatite + lysozyme:** D — A section of the periapical tissues with bone trabeculae (indicators) containing numerous osteoblasts (arrows) against a background of mild hemodynamic disturbances on day 10; E — A section of the periodontal tissue with an inflammatory infiltrate surrounding blood vessels (arrows); F — A section of the periapical periodontal tissue with single osteoclasts (arrows) on day 30. H&E staining, mag. 600x

явлений остеолиза (рис. 2F). Напротив, остеокласты преимущественно локализовались в поверхностных слоях периодонта, вокруг небольших отдельных глыбок гидроксиапатита. В других случаях кортикальная пластина альвеолярного отростка выглядела практически интактной с формированием типичных структур по типу остеонов.

Таким образом, в данном экспериментальном исследовании был продемонстрирован терапевтический потенциал комбинированного применения гидроксиапатита с лизоцимом при экспериментально индуцированном апикальном периодоните. Как при изолированном применении гидроксиапатита, так и в комбинации с лизоцимом, по данным гистопатологического анализа, выявлены существенные положительные изменения в сравнении с группой без коррекции, проявляющиеся в снижении признаков тканевой воспалительной реакции и уменьшении явлений остеокластической резорбции окружающей костной ткани.

Полученные экспериментальные результаты в целом согласуются с имеющимися в литературе данными. В частности, гидроксиапатит хорошо известен в качестве вещества, обладающего биологической совместимостью и остеоиндуктивными свойствами, что делает его применение перспективным в рамках регенеративной медицины. Так, в исследовании W. Sun и соавт. (2007) было продемонстрировано, что гидроксиапатит стимулирует регенерацию костной ткани и увеличивает активность остеобластов, способствуя reparативной регенерации при повреждении тканей периодонта [12]. Помимо этого, было показано, что соединения гидроксиапатита также способствуют подавлению формирования бактериальной пленки без нарушения естественной микробиоты, что является одним из ключевых факторов в патогенезе периодонита [13]. Роль гидроксиапатита в комплексной терапии также усиливается за счет того, что соединения гидроксиапатита используются в качестве основы для различных антибактериальных агентов, увеличивая их эффективность [14, 15]. Это согласуется с выводами о том, что применение гидроксиапатита способствовало разрешению воспаления и снижению выраженности резорбции кости, особенно к 30-м суткам эксперимента.

С другой стороны, лизоцим, представляющий собой фермент с мощными антибактериальными и иммуномодулирующими свойствами и способный лизировать бактериальные агенты, выступает в качестве потенциально ценного препарата в терапии заболеваний периодонта [16, 17]. В частности, в исследовании *in vitro* была продемонстрирована способность лизоцима подавлять адгезию бактерий к поверхности кристаллов гидроксиапатита, тем самым снижая образование биопленки

и бактериальной колонизации [18]. Полученные данные в отношении эффектов комбинированного применения гидроксиапатита и лизоцима согласуются с результатами исследования биоматериалов, демонстрирующих синергетические эффекты лизоцима в комбинации с другими материалами, усиливая элиминацию бактерий и снижая воспалительный ответ [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные морфологические особенности строения периодонта и прилежащих участков костной ткани альвеолярного отростка верхней челюсти на фоне экспериментально индуцированного апикального периодонита указывают на наличие стадийности течения данного патологического процесса с переходом от дегенеративно-некротических изменений и явлений острого экссудативного воспаления серозного или гнойного характера на 10-е сутки к хронизации патологического процесса с преимущественной реализацией пролиферативной фазы воспаления. Также установлено, что к 30-м суткам эксперимента в группе животных без коррекции усиливаются процессы остеолиза. При этом опосредованный остеокластами остеолиз представляет собой закономерный результат формирования смешанного моноцитарно-макрофагального и лимфоцитарного гранулематозного инфильтрата. Применение в качестве коррекции гидроксиапатита с целью нормализации местного тканевого кальциевого гомеостаза практически не продемонстрировало существенных изменений с точки зрения выявленных гистопатологических изменений на 10-е сутки эксперимента, однако в определенной степени позволило снизить активность остеолитических процессов на более поздних сроках наблюдения (30-е сутки). Сочетанное применение гидроксиапатита и 0,1% раствора лизоцима способствовало более активному разрешению острой воспалительной реакции в тканях зуба и окружающего периодонта на 10-е сутки эксперимента, а также подавлению процессов деструкции костной ткани альвеолярного отростка в последующем.

Результаты проведенного исследования подтверждают потенциальную эффективность комбинированного применения гидроксиапатита с лизоцимом при апикальном периодоните. Сочетанные эффекты и потенцирующее действие использовавшихся компонентов может послужить основой разработки новых подходов к лечению апикального периодонита, особенно при резистентности к традиционным методам терапии.

Поступила/Received: 22.10.2024

Принята в печать/Accepted: 28.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Meirinhos J., Martins J.N.R., Pereira B., Baruwa A., Gouveia J., Quaresma S.A., Monroe A., Ginjeira A. Prevalence of apical periodontitis and its association with previous root canal treatment, root canal filling length and type of coronal restoration — a cross-sectional study. — *Int Endod J.* — 2020; 53 (4): 573—584. [PMID: 31749154](#)
2. Педорец А.П., Пиляев А.Г., Клемин В.А., Шабанов О.В., Мак-сютенко С.И. Влияние внутриканальной медикаментозной терапии на содержание провоспалительных интерлейкинов в экссудате корневого канала в зубах с экспериментальным периодонтитом. — *Клиническая стоматология.* — 2024; 3: 52—58.
[Pedorets A.P., Pilyaev A.G., Klyomin V.A., Shabanov O.V., Maksyutenko S.I. Influence of intracanal drug therapy on the content of proinflammatory interleukins in root canal exudate in teeth with experimental apical periodontitis. — *Clinical Dentistry (Russia).* — 2024; 3: 52—58 (In Russian)]. [eLibrary ID: 71035233](#)
3. Честных Е.В., Горева Л.А., Карташева Ю.Н., Петрова А.Н., Колосова А.О. Консервативное лечение хронических периодонтитов в одно посещение (обзор литературы). — *Тверской медицинский журнал.* — 2020; 2: 45—51.
[Chestnykh E.V., Goreva L.A., Kartashova J.N., Petrova A.N., Kolosova A.O. Conservative treatment of chronic periodontitis per one visit (literature review). — *Medical Journal of Tver.* — 2020; 2: 45—51 (In Russian)]. [eLibrary ID: 42524575](#)
4. Siqueira J.F. Jr, Rôças I.N. Present status and future directions: Microbiology of endodontic infections. — *Int Endod J.* — 2022; 55 Suppl 3: 512—530. [PMID: 34958494](#)
5. Braz-Silva P.H., Bergamini M.L., Mardegan A.P., De Rosa C.S., Hasseus B., Jonasson P. Inflammatory profile of chronic apical periodontitis: a literature review. — *Acta Odontol Scand.* — 2019; 77 (3): 173—180. [PMID: 30585523](#)
6. do Nascimento I.V., Rodrigues M.I.Q., Isaias P.H.C., Barros-Silva P.G., Sousa F.B., Nunes Alves A.P.N., Mota M.R.L. Chronic systemic corticosteroid therapy influences the development of pulp necrosis and experimental apical periodontitis, exacerbating the inflammatory process and bone resorption in rats. — *Int Endod J.* — 2022; 55 (6): 646—659. [PMID: 35278220](#)
7. Туровая А.Ю., Каде А.Х., Губарева Е.А., Уваров А.В., Занин С.А., Мурzin И.Г., Аракелян Ю.Л. Экспериментальное моделирование острого периодонтита у крыс. — *Фундаментальные исследования.* — 2010; 10: 46—50.
[Turovaya A.Yu., Kade A.H., Gubareva E.A., Uvarov A.V., Zanin S.A., Murzin I.G., Arakelyan Yu.L. Acute periodontitis experimental modeling in rats. — *Fundamental research.* — 2010; 10: 46—50 (In Russian)]. [eLibrary ID: 15485937](#)
8. Gani A., Yulianty R., Supiati S., Rusdy M., Dwipa Asri G., Eka Satya D., Rahayu Feblina A., Achmad H. Effectiveness of Combination of Chitosan Gel and Hydroxyapatite from Crabs Shells (*Portunus pelagicus*) Waste as Bonegraft on Periodontal Network Regeneration through IL-1 and BMP-2 Analysis. — *Int J Biomater.* — 2022; 2022: 1817236. [PMID: 35356491](#)
9. Han I.V., Zubachyk V.M., Musij-Sementsiv K.H., Bodnaruk N.I., Porochnovska N.V., Slaba O.M. Reparative regeneration of periapical tissues in chronic granulomatous periodontitis under the influence of composition based on calcium hydroxyapatite. — *Wiadomosci Lekarskie.* — 2021; 4: 832—837 (In). [DOI: 10.36740/WLek202104104](#)
10. Левицкий А.П., Остафийчук М.А., Успенский О.Е., Борис Г.З., Фурдычко А.И., Гинжул И.В., Васюк В.Л., Степан В.Т., Ярынич М.Ф., Ступак Е.П. Влияние различных патогенов на активность лизоцима в тканях полости рта крыс. — *Journal of Education, Health and Sport.* — 2017; 7 (8): 1070—1081
[Levitsky A.P., Ostafiiuchuk M.A., Uspenskii O.E., Boris G.Z., Furdychko A.I., Ginzbul I.V., Vasiuk V.L., Stepan V.T., larynich M.F., Stupak E.P. The influence of different pathogens on the lysozyme activity into tissues of rat oral cavity. — *Journal of Education, Health and Sport.* — 2017; 7 (8): 1070—1081 (In Russian)]. [DOI: 10.5281/zenodo.1000947](#)
11. Schroeder A.B., Dobson E.T.A., Rueden C.T., Tomancak P., Jug F., Eliceiri K.W. The ImageJ ecosystem: Open-source software for image visualization, processing, and analysis. — *Protein Sci.* — 2021; 30 (1): 234—249. [PMID: 33166005](#)
12. Sun W., Chu C., Wang J., Zhao H. Comparison of periodontal ligament cells responses to dense and nanophase hydroxyapatite. — *J Mater Sci Mater Med.* — 2007; 18 (5): 677—83. [PMID: 17143736](#)
13. Meyer F., Enax J. Hydroxyapatite in Oral Biofilm Management. — *Eur J Dent.* — 2019; 13 (2): 287—290. [PMID: 31574542](#)
14. Prakash J., Kumar T.S., Venkataprasanna K.S., Niranjan R., Kaushik M., Venkatasubbu G.D., Samal D.B. PVA/alginate/hydroxyapatite films for controlled release of amoxicillin for the treatment of periodontal defects. — *Applied Surface Science.* — 2019; 495: 143543. [DOI: 10.1016/j.apsusc.2019.143543](#)
15. Байтус Н.А., Чернявский Ю.П. Современный клинический подход в лечении деструктивных форм хронического апикального периодонтита. — *Стоматология. Эстетика. Инновации.* — 2020; 2: 153—160.
[Baitus N., Chernyavski Y. Modern Clinical Approach in Treatment of Destructive Forms of Chronic Apical Periodontitis. — *Dentistry. Aesthetics. Innovations.* — 2020; 2: 153—160 (In Russian)]. [eLibrary ID: 43950462](#)
16. Pinheiro S.R.L., da Silva C.C., da Silva L.A., Cicotti M.P. Antimicrobial Capacity of a Hydroxyapatite-Lysozyme-Lactoferrin-Lactoperoxidase Combination Against *Streptococcus mutans* for the Treatment of Dentinal Caries. — *Indian J Dent Res.* — 2020; 31 (6): 916—920. [PMID: 33753664](#)
17. Щетинин Е.В., Сирак С.В., Игнатиади О.Н., Сирак А.Г., Демурова М.К., Дыгов Э.А. Экспериментально-лабораторное обоснование выбора антибактериальных средств для лечения периодонтита. — *Медицинский вестник Северного Кавказа.* — 2014; 4: 349—351.
[Schetinin E.V., Sirak S.V., Ignatidi O.N., Sirak A.G., Demurova M.K., Digov E.A Experimental rationale for the choice of antibacterial drug for treatment of periodontitis. — *Medical News of North Caucasus.* — 2014; 4: 349—351 (In Russian)]. [eLibrary ID: 23027041](#)
18. Roger V., Tenovuo J., Lenander-Lumikari M., Söderling E., Vilja P. Lysozyme and lactoperoxidase inhibit the adherence of *Streptococcus mutans* NCTC 10449 (serotype c) to saliva-treated hydroxyapatite in vitro. — *Caries Res.* — 1994; 28 (6): 421—8. [PMID: 7850845](#)
19. Wang M., Zhu Y. Defect Induced Charge Redistribution and Enhanced Adsorption of Lysozyme on Hydroxyapatite for Efficient Antibacterial Activity. — *Langmuir.* — 2021; 37 (36): 10786—10796. [PMID: 34463099](#)

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_66

О.В. Головатенко,

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии

О.О. Страх,

к.м.н., ассистент кафедры ортопедической стоматологии

Ю.Г. Тарасова,

д.м.н., доцент, зав. кафедрой терапевтической стоматологии

С.И. Метелица,

к.м.н., ассистент кафедры ортопедической стоматологии

М.Д. Хватова,

к.м.н., ассистент кафедры терапевтической стоматологии

ИГМА, 426034, Ижевск, Россия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Головатенко О.В., Страх О.О., Тарасова Ю.Г., Метелица С.И., Хватова М.Д. Информированность врачей-стоматологов о методах диагностики и лечения заболеваний височно-нижнечелюстного сустава. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 66—70.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_66

Информированность врачей-стоматологов о методах диагностики и лечения заболеваний височно-нижнечелюстного сустава

Реферат. Распространенность пациентов с признаками и симптомами заболеваний височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) на стоматологическом приеме достаточно высока. Знания врачей-стоматологов об этиологии, клинических проявлениях, методах диагностики и лечения данной патологии способствуют раннему выявлению и эффективному лечению расстройств ВНЧС. **Цель** — изучение информированности врачей-стоматологов Удмуртской Республики о признаках и симптомах расстройств ВНЧС, а также о применяемых методах диагностики и лечения данной патологии. **Материалы и методы.** Проведено добровольное анонимное анкетирование 232 врачей-стоматологов Удмуртской Республики разных специальностей. Анкета включала 20 вопросов, касающихся распространенности, этиологии, клинических проявлений, методов диагностики и лечения пациентов с расстройствами ВНЧС, а также нуждаемости врачей в дополнительном образовании в этой области. **Результаты.** 37,1% стоматологов ответили, что частота встречаемости пациентов с признаками расстройства ВНЧС на их приеме составляет от 10 до 20%. При этом вопросы для выявления патологии ВНЧС задают 56,5% стоматологов. Только 10,3% врачей определили все клинические симптомы, характеризующие данную патологию. 32,3% стоматологов отметили все возможные этиологические факторы расстройств ВНЧС. Пальпацию челюстно-лицевой области и определение степени открывания рта проводят 44,0 и 46,6% стоматологов соответственно. Лечение данной категории пациентов проводят 12,5% врачей, преимущественно стоматологи-хирурги. Наиболее часто назначают фармакотерапию (75,9%), физиотерапевтические методы (69%) и избирательное пришлифование (58,6%). Средний балл знаний анатомии и биомеханики зубочелюстной системы всех участников по результатам самооценки составил $2,78 \pm 0,19$ по 5-балльной шкале. 81% стоматологов хотели бы улучшить свои знания в этой области. **Заключение.** В результате анкетирования выявлен недостаточный уровень знаний врачей-стоматологов всех специальностей о признаках и симптомах расстройств ВНЧС, а также о применяемых методах диагностики и лечения данной патологии. Существует высокая потребность в обучающих мероприятиях по диагностике и лечению заболеваний ВНЧС.

Ключевые слова: заболевания ВНЧС, информированность, врачи-стоматологи

Dentists' awareness about methods of diagnosis and treatment of temporomandibular disorders

Abstract. The prevalence of patients with signs and symptoms of temporomandibular disorders (TMD) at dental appointments is quite high. Dentists' knowledge of the etiology, clinical manifestations, diagnostic and treatment methods of this pathology contribute to early detection and effective treatment of TMD. **Aim** — to study the awareness of dentists of the Udmurt Republic of the signs and symptoms, diagnosis and management of TMD. **Materials and methods.** An anonymous survey of 232 dentists of the Udmurt Republic of various specialties was conducted. The questionnaire included 20 questions concerning the prevalence, etiology, clinical signs and symptoms, diagnostic and treatment methods for patients with TMD, and the need of dentists for additional education in TMD. **Results.** 37.1% of dentists answered that the frequency of patients with signs of TMD at their reception is from 10 to 20%. At the same time, questions to identify TMD are asked by 56.5% of dentists. Only 10.3% of dentists identified all the clinical symptoms characterizing this pathology. 32.3% of dentists noted all possible etiological factors of TMD. Palpation of the maxillofacial region and determination of the degree of mouth opening are performed by 44.0% and 46.6% of dentists, respectively. Treatment of this category of patients is carried out by 12.5% of doctors, mainly dental surgeons. The most frequently prescribed are pharmacotherapy (75.9%), physiotherapy methods (69.0%) and selective grinding (58.6%). The average score of knowledge of anatomy and biomechanics of the dental system of all participants according to the results of self-assessment was 2.78 ± 0.19 on a five-point scale. 81% of dentists would like

O.V. Golovatenko,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Prosthodontics Department

O.O. Strakh,

PhD in Medical Sciences, assistant professor of the Prosthodontics Department

Ju.G. Tarasova,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Therapeutic Dentistry Department

S.I. Metelitsa,

PhD in Medical Sciences, assistant professor of the Prosthodontics Department

M.D. Khvatova,

PhD in Medical Sciences, assistant professor of the Therapeutic Dentistry Department

Izhevsk State Medical Academy,
426034, Izhevsk, Russia

to improve their knowledge in TMD. **Conclusion.** The survey revealed an insufficient level of knowledge among dentists of all specialties about the signs and symptoms, methods of diagnosis and treatment of TMD. There is a high need to continuing education in the diagnosis and management of TMD among dentists.

Key words: temporomandibular disorder, awareness, dentists

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) являются актуальной проблемой современной медицины, обусловленной высокой распространенностью, полиэтиологичностью, отсутствием единой классификации и разработанных клинических рекомендаций по диагностике и лечению данной патологии [1]. Выполненные в 2021 г. обзор литературы и метаанализ показали, что распространенность пациентов с заболеваниями ВНЧС среди взрослого населения составляет 31% [2]. Согласно МКБ-10, болезни ВНЧС (temporomandibular disorders, TMD — расстройства ВНЧС) соответствуют коду K07.6. Сам этот термин собирательный, он используется при ряде клинических проблем, затрагивающих жевательные мышцы, непосредственно ВНЧС и окружающие ткани челюстно-лицевой области. Общие признаки: боль в области мышц челюстно-лицевой области и ВНЧС, ограничение открывания рта или отклонение нижней челюсти при вертикальных движениях, а также звуки (щелчки или крепитация) в области сустава во время функциональных движений [3, 4]. К тому же к распространенным сопутствующим симптомам при расстройствах ВНЧС относят головные боли, шум в ушах, синдром хронической усталости, депрессию и нарушения сна [5].

Такое разнообразие клинических признаков и симптомов, ассоциированных с термином расстройства ВНЧС, у практикующих врачей приводит к затруднениям при выборе эффективных методов диагностики для выявления значимых этиологических факторов и направленного лечения. При этом многие врачи традиционно практикуют исторический стоматологический подход к лечению данной проблемы, основанный на изменении окклюзии и перестройке взаимоотношений челюстей [6]. Важно отметить, что последние исследования подтверждают биопсихосоциальную модель развития болевых расстройств ВНЧС, при которых множество физических, психологических и социальных факторов вносят свой вклад в развитие и прогрессирование заболевания [7, 8]. Однако установлено, что многие стоматологи имеют весьма ограниченное представление о расстройствах ВНЧС, что часто приводит к недостаточной диагностике пациентов, назначению неправильных рекомендаций и проведению неэффективного лечения [9, 10].

Таким образом, оценка уровня знаний врачей-стоматологов об этиологии, патогенезе, клинических признаках расстройств ВНЧС, а также об их информированности о методах диагностики и лечения данной патологии поможет разработать соответствующие образовательные стратегии для повышения качества

FOR CITATION:

Golovatenko O.V., Strakh O.O., Tarasova Ju.G., Metelitsa, S.I., Khvatova M.D. Dentists' awareness about methods of diagnosis and treatment of temporomandibular disorders. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 66—70 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_66

диагностики и лечения пациентов с расстройствами ВНЧС.

Цель исследования — изучение информированности врачей-стоматологов Удмуртской Республики о признаках и симптомах расстройств ВНЧС, а также о применяемых методах диагностики и лечения данной патологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено анонимное анкетирование 232 врачей-стоматологов разных специальностей: 193 (83,2%) являлись сотрудниками бюджетных стоматологических поликлиник Удмуртской Республики, а 39 (16,8%) работали в частных клиниках. В зависимости от специализации врачи-стоматологи, принявшие участие в анкетировании, распределились следующим образом:

- терапевты — 121 человек (52%);
- ортопеды — 45 человек (19%);
- хирурги — 35 человек (15%);
- детские стоматологи — 22 человека (10%);
- ортодонты — 9 человек (4%).

Для проведения исследования была разработана анкета, включающая 20 вопросов по четырем разделам. В первом разделе собрана общая информация о специализации врача и деятельности в государственной или частной клинике. Во второй раздел анкеты были включены вопросы о частоте встречаемости пациентов с расстройствами ВНЧС на стоматологическом приеме, об этиологических факторах и симптомах этих заболеваний. Третий раздел охватывал методы диагностики (вопросы о методах клинического обследования для выявления патологии ВНЧС, дополнительных методах обследования и наличии необходимого оборудования для диагностики и планирования лечения пациентов с расстройствами ВНЧС), применяемые врачами и методы лечения. В четвертом разделе врачей просили оценить свои знания об анатомии и биомеханике зубочелюстной системы и выбрать интересующий формат обучения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка распространенности пациентов с расстройствами ВНЧС на клиническом приеме показала следующие результаты: 86 (37,1%) стоматологов ответили, что сталкиваются с такими пациентами редко (10–20% пациентов). 80 (34,5%) врачей ответили, что частота встречаемости пациентов с признаками расстройства ВНЧС на их приеме составляет от 20 до 40%. Каждый четвертый стоматолог (25,5%) сталкивается с такими

пациентами часто (более 50% пациентов). Кроме того, 3% врачей, в основном детские стоматологи, ответили, что вообще не встречают пациентов с признаками заболеваний ВНЧС. При этом вопросы для выявления патологии ВНЧС задают 56,5% стоматологов, остальные врачи задают вопросы редко или вообще их не задают.

Наиболее часто врачи отмечали такие характерные симптомы, как щелчки, скрежет в области ВНЧС во время функции, а также боль, ограничение (86,6%) или отклонение челюсти в сторону при открывании рта. Реже всего с патологией ВНЧС врачи ассоциировали такие симптомы, как боль в области лица (глаза, щеки, ухо) и утреннюю головную боль. Следует отметить, что только 10,3% (24 врача) определили все симптомы, характеризующие данную патологию (см. таблицу).

При оценке уровня знаний об этиологических факторах 32,3% (75 врачей) отметили все возможные этиологические факторы расстройств ВНЧС. Остальные врачи перечислили факторы частично, в большинстве случаев отмечая окклюзионные факторы (95,3%), травмы челюстно-лицевой области (84,5%) и парафункциональную активность мышц (84,1%) как этиологические факторы расстройств ВНЧС. Реже данную патологию стоматологи связывали с общесоматической патологией (48,7%) и эмоциональным стрессом (51,3% врачей).

В завершение второго раздела опросника, врачам был задан вопрос: «К какому специалисту они направляют пациентов с жалобами, характеризующими расстройства ВНЧС?». 60,8% опрошенных указали врача — стоматолога-хирурга, 49,6% направляют к стоматологу-ортопеду, 25% опрошенных — к неврологу. Следует отметить, что 27,6% стоматологов написали свой ответ, указав врача-гнатолога, при этом в Российской Федерации не существует профессионального стандарта с такой специальностью.

Методы диагностики и лечения, применяемые врачами-стоматологами, оценивались в третьем разделе анкеты. Пальпация челюстно-лицевой области и определение степени открывания рта — обязательные

диагностические манипуляции большинства клинических рекомендаций по лечению основных стоматологических заболеваний. Именно эти методы диагностики позволяют выявить ранние признаки дисфункционального синдрома, оценить вовлеченность мышц и ВНЧС и дать необходимые рекомендации по профилактике осложнений, связанных с расстройствами ВНЧС. Несмотря на требования клинических рекомендаций пальпацию мышц зубочелюстной системы проводят только 44% врачей (102 стоматолога). При уточнении названий пальпируемых мышц 52 (51%) стоматолога указали жевательные мышцы, из них 23 (22,6%) врача добавили височные и крыловидные мышцы, 50 (49%) стоматологов затруднились перечислить пальпируемые мышцы. Определение степени открывания рта проводят 108 (46,6%) врачей, при этом 17 (15,7%) стоматологов исследование проводят с помощью пальцев, а не линейки. Еще 17 (15,7%) врачей из числа, выполняющих измерения, указывают некорректные параметры нормы открывания рта.

Утвержденных клинических рекомендаций по диагностике пациентов с расстройствами ВНЧС нет. Учитывая, что такие состояния часто сочетаются с дефектами зубных рядов, пациентов, как правило, направляют к стоматологам ортопедического профиля на консультацию по протезированию. Тщательное обследование пациентов и раннее выявление признаков расстройств ВНЧС позволяют скорректировать план лечения и минимизировать риски декомпенсации. Согласно клиническим рекомендациям «Частичное отсутствие зубов», утвержденным медицинской профессиональной организацией «Стоматологическая ассоциация России» (СтАР) в 2004 г., оценка подвижности сустава (углометрия) является обязательным методом диагностики пациентов с дефектами зубных рядов. Однако из 45 опрошенных стоматологов-ортопедов 43 (95,6%) врача не проводят и не знают этот метод, и только 2 (4,4%) врача проводят данное исследование.

На сегодняшний день большинство врачей-стоматологов считают патологию окклюзии одним из ведущих этиологических факторов расстройств ВНЧС. Диагностика окклюзии и окклюзионное лечение — это практические навыки, доступные только врачам стоматологического профиля, которые при необходимости должны проводиться с использованием артикулятора. Согласно приказу № 1496 Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации о Порядке оказания медицинской помощи взрослому населению при стоматологических заболеваниях (от 07.12.2011), артикулятор включен в обязательный перечень стандарта оснащения кабинета ортопедической стоматологии. Однако на вопрос об оснащенности клиники для приема пациентов с заболеваниями ВНЧС 186 (80,2%) врачей ответили, что необходимого оснащения у них нет. При этом 62,1% (144 стоматолога) затруднились ответить на вопрос «Какое оснащение им необходимо для этих целей?», а 10,3% (24 стоматолога) указали, что нужен артикулятор. На вопрос о методах оценки

Признаки и симптомы, характеризующие расстройства ВНЧС, по мнению врачей-стоматологов

Signs and symptoms of TMD according to dentists

Симптом	Количество	
	абс	%
Скрежетание зубами ночью	102	44,0
Стихивание зубов в дневное время	94	40,5
Отклонение челюсти в сторону при открывании рта	187	80,6
Ограничение открывания рта	201	86,6
Боль при открывании рта	212	91,4
Давление, звон в ушах	87	37,5
Звуки в области ВНЧС во время функции	220	94,8
Утренняя головная боль	65	28,0
Боль в области головы и шеи	86	37,1
Боль в области челюстей, зубов	110	47,4
Боль в области лица (глаза, щеки, ухо)	61	26,3

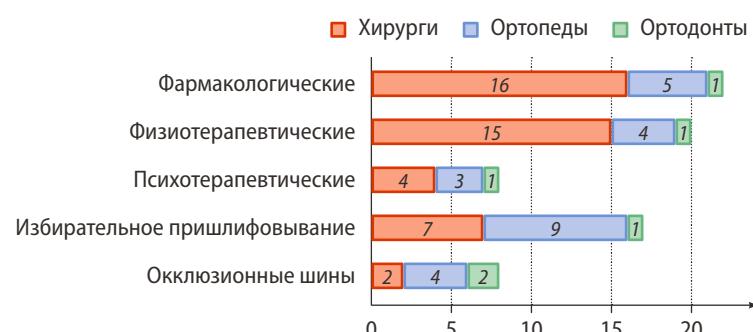
окклюзии у пациентов с признаками дисфункции ВНЧС 145 (62,5%) ответили, что оценивают окклюзию визуально или с применением артикуляционной бумаги, 63 (27,2%) стоматолога не оценивают вообще. 24 стоматолога — ортопеда и ортодонта (44,4%) из 54 специалистов данного профиля оценивают окклюзию с помощью диагностических моделей, из них только 12 (22,2%) анализируют модели в артикуляторе.

Дополнительные методы диагностики включают различные методы визуализации ВНЧС, а также регистрацию работы мышц, ВНЧС и анализ зубных контактов. Согласно актуализированным диагностическим критериям в отношении наиболее распространенных расстройств ВНЧС (E. Schiffman и соавт., 2014), рекомендованы следующие методы визуализации при отдельных патологиях ВНЧС: магнитно-резонансная томография (МРТ) — при расстройствах диско-мышцелкового комплекса и компьютерная томография (КТ) — при дегенеративных заболеваниях ВНЧС. Отвечая на вопрос о дополнительных методах диагностики, применяемых врачами-стоматологами, 46,1% (107 стоматологов) отметили ортопантомографию, 32,8% (76 стоматологов) — КТ ВНЧС, 10,3% (24 стоматолога) — аускультацию, 7,3% (17 стоматологов) — МРТ ВНЧС.

Согласно проведенному анкетированию лечение пациентов с расстройствами ВНЧС проводят 29 (12,5%) стоматологов. Из них 18 хирургов, 9 ортопедов и 2 ортодонта. Врачи, занимающиеся лечением расстройств ВНЧС, наиболее часто используют фармакотерапию (22; 75,9%), физиотерапевтические методы (20; 69,0%) и избирательное пришлифовывание (17; 58,6%). Реже используются психотерапевтические методы и лечение с использованием окклюзионных шин (8; 27,6%; см. рисунок).

Самооценка стоматологами собственных знаний анатомии и биомеханики зубочелюстной системы по 5-балльной шкале, в том числе ВНЧС, показала следующие результаты:

- 1 балл — 30 (12,9%) стоматологов;
- 2 балла — 46 (19,8%) стоматологов;
- 3 балла — 86 (37,1%) стоматологов;
- 4 балла — 51 (22,0%) стоматологов;
- 5 баллов — 4 (1,7%) стоматолога;
- 15 человек затруднились указать баллы.



Методы лечения, применяемые врачами-стоматологами
Treatment methods used by dentists

Средний балл знаний всех участников составил $2,78 \pm 0,19$. При этом 19,0% врачей не хотели улучшать свои знания в этой области. Те стоматологи, которые хотели бы развивать свои знания в этом направлении (188 человек) отметили, что наиболее интересны для них следующие форматы обучения: практические курсы (130; 69,2%), вебинары (112; 59,6%), циклы повышения квалификации, включающие данные вопросы (98; 52,1%). Изучение статей и книг по расстройствам ВНЧС заинтересовало лишь 17,7% стоматологов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анкетирования выявлен недостаточный уровень знаний врачей-стоматологов всех специальностей о признаках и симптомах расстройств ВНЧС, 40% стоматологов недооценивают распространенность данной патологии среди населения, более половины врачей не задают вопросы для выявления заболеваний ВНЧС. Недавние исследования подтверждают биопсихосоциальную природу расстройств ВНЧС, связанных с болью, и их взаимосвязь с общим состоянием здоровья, однако только половина стоматологов считают эмоциональный стресс и общесоматические заболевания этиологическим фактором заболеваний ВНЧС. Отсутствие дифференциации в МКБ-10 и разработанных клинических рекомендаций по лечению различных форм заболеваний ВНЧС затрудняет стоматологов при проведении диагностики, постановке диагноза и выборе метода лечения. Необходимые диагностические манипуляции в существующих клинических рекомендациях по лечению основных стоматологических заболеваний для врачей различных специальностей, не всегда включают в себя методы диагностики в отношении ВНЧС. Кроме того, многие стоматологи не выполняют даже необходимых диагностических мероприятий, рекомендованных в протоколах лечения, либо выполняют их не в полном объеме (пальпация мышц, изучение объема открывания рта), что может привести к несвоевременному выявлению расстройств ВНЧС и более сложной реабилитации данных пациентов.

Многие стоматологи не занимаются лечением расстройств ВНЧС, однако это не освобождает от профессиональной обязанности распознавать проблемы с ВНЧС, когда они возникают, информировать и обучать этих пациентов протоколам консервативного лечения и, при необходимости, либо участвовать в лечении, либо направлять к соответствующему специалисту.

Существует высокая потребность в специалистах по лечению заболеваний ВНЧС, и большинство стоматологов хотят, чтобы им предлагалось непрерывное образование для расширения знаний и навыков в области диагностики и лечения расстройств ВНЧС.

Поступила/Received: 20.05.2024

Принята в печать/Accepted: 09.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Committee on temporomandibular disorders (TMDs): From research discoveries to clinical treatment; Board on Health Sciences Policy; Board on Health Care Services; Health and Medicine Division Temporomandibular disorders: Priorities for research and care. A consensus study report of National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. — Washington (DC): The National Academies Press, 2020. — 426 p. [DOI: 10.17226/25652](https://doi.org/10.17226/25652)
2. Valesan L.F., Da-Cas C.D., Réus J.C., Denardin A.C.S., Garanhani R.R., Bonotto D., Januzzi E., de Souza B.D.M. Prevalence of temporomandibular joint disorders: a systematic review and meta-analysis. — *Clin Oral Investig.* — 2021; 25 (2): 441—453. [PMID: 33409693](https://doi.org/10.1007/s00437-020-03409-3)
3. Okeson J.P., Perez C., Friction J.R. Temporomandibular joint disorders. — In: Ferreira J.N.A.R., Friction J., Rhodus N. (eds.) Orofacial disorders. — Springer, 2017. — Pp. 145—157. [DOI: 10.1007/978-3-319-51508-3_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51508-3_14)
4. Головатенко О.В., Шевкунова Н.А., Гасников И.И. Факторы риска возникновения дисфункциональных нарушений ВНЧС у лиц молодого возраста. — Аспирантский вестник Поволжья. — 2022; 1: 23—27. [Golovatenko O.V., Shevkunova N.A., Gasnikov I.I. Risk factors for temporomandibular disorders in young people. — *Aspirantskiy Vestnik Povolzhya.* — 2022; 1: 23—27 (In Russian)]. [eLibrary ID: 49594013](https://eLibrary.ru/49594013)
5. Hoffmann R.G., Kotchen J.M., Kotchen T.A., Cowley T., Dasgupta M., Cowley A.W. Jr Temporomandibular disorders and associated clinical comorbidities. — *Clin J Pain.* — 2011; 27 (3): 268—74. [PMID: 21178593](https://doi.org/10.1007/s00437-010-0670-0)
6. de Kanter R., Battistuzzi P., Truin G.J. Temporomandibular Disorders: «Occlusion» Matters! — *Pain Res Manag.* — 2018; 2018: 8746858. [PMID: 29861806](https://doi.org/10.1155/2018/8746858)
7. Fillingim R.B., Ohrbach R., Greenspan J.D., Knott C., Diatchenko L., Dubner R., Bair E., Baraian C., Mack N., Slade G.D., Maixner W. Psychological factors associated with development of TMD: the OPPERA prospective cohort study. — *J Pain.* — 2013; 14 (12 Suppl): T75—90. [PMID: 24275225](https://doi.org/10.1016/j.jpain.2013.09.003)
8. Friction J. Temporomandibular disorders: A human systems approach. — *Journal of the California Dental Association.* — 2014; 42 (8): 523—535. [DOI: 10.1080/19424396.2014.12221399](https://doi.org/10.1080/19424396.2014.12221399)
9. Lindfors E., Tegelberg Å., Magnusson T., Ernberg M. Treatment of temporomandibular disorders — knowledge, attitudes and clinical experience among general practising dentists in Sweden. — *Acta Odontol Scand.* — 2016; 74 (6): 460—5. [PMID: 27327618](https://doi.org/10.1080/00016357.2016.1160000)
10. Mozhdeh M., Caroccia F., Moscagiuri F., Festa F., D'Attilio M. Evaluation of knowledge among dentists on symptoms and treatments of temporomandibular disorders in Italy. — *Int J Environ Res Public Health.* — 2020; 17 (23): 8760. [PMID: 33255732](https://doi.org/10.3390/ijerph17238760)

Теперь без ЭДТА

500

МИЛЛИОНОВ
ИНЪЕКЦИЙ
В ГОД
ПО ВСЕМУ
МИРУ



Septanest®



ЕДИНСТВЕННЫЙ
АНЕСТЕТИК
ДВОЙНОГО
ЦИКЛА
СТЕРИЛИЗАЦИИ

БОЛИ
НЕТ



ОДОБРЕН В 170 СТРАНАХ

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ SEPTODONT В РОССИИ
123182, Москва, ул. Щукинская, 2, тел./факс: (495) 780-5245/46
бесплатный многоканальный телефон: 8-800-333-0646
www.student.ru, mail@student.ru

S.T.I. DENT®

Д.С. Саркисов¹,

аспирант Института цифровой стоматологии

А.Г. Степанов¹,

д.м.н., профессор Института цифровой стоматологии

М.В. Джалаева²,

к.ф.-м.н., с.н.с. Института механики

С.В. Апресян¹,

д.м.н., профессор, директор Института цифровой стоматологии

О.П. Королькова²,

н.с. Института механики

¹ РУДН, 117198, Москва, Россия² МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

Численное исследование напряженно-деформированного состояния хирургических шаблонов

Аннотация. В работе рассмотрены конструкции хирургических шаблонов для дентальной имплантации при отсутствии двух зубов (включенный дефект). Были выбраны виртуальные модели двух вариантов шаблонов: универсальный шаблон, моделируемый программным обеспечением в автоматическом режиме (вариант 1), и шаблон, модифицированный в ручном режиме (вариант 2). В расчетах во всех вариантах сила, оказываемая на шаблон при сверлении в указанных точках приложения, составляла 30 Н. В численных исследованиях использовались физико-механические значения материалов, применяемых в технологии аддитивного производства навигационных хирургических шаблонов, после стерилизации. Задача решалась в линейно-упругой постановке методом конечных элементов. Сравнение результатов численного расчета по перемещениям и напряжениям для разных конструкций шаблонов (варианты 1 и 2) из материалов FormLabs Dental SG Resin (Formlabs, США) и HARZLabs Yellow Clear PRO (Россия) показало явное преимущество варианта 2 (упрочненный шаблон), причем значения напряжений оказались одинаковыми для обоих вариантов шаблонов из зарубежного и отечественного материала, по перемещениям отличие составило 7–8%.

Ключевые слова: хирургический шаблон, численное исследование, дентальная имплантация, математическое моделирование, перемещения, напряжения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Саркисов Д.С., Степанов А.Г., Джалаева М.В., Апресян С.В., Королькова О.П. Численное исследование напряженно-деформированного состояния хирургических шаблонов. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 72—77. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_72

D.S. Sarkisov¹,

postgraduate at the Institute of Digital Dentistry

A.G. Stepanov¹,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Institute of Digital Dentistry

M.V. Dzhalaeva²,

PhD in Physics and Mathematics, senior researcher of the Institute of Mechanics

S.V. Apresyan¹,

Doctor of Science in Medicine, professor, director of the Institute of Digital Dentistry

O.P. Korolkova²,

researcher at the Institute of Mechanics

¹ RUDN University, 117198, Moscow, Russia² Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Russia

Numerical study of the stress-strain state of surgical templates

Annotation. The paper considers the designs of surgical templates for dental implantation in the absence of two teeth (included defect). Virtual models of 2 template variants were selected: a universal template modeled by software in automatic mode (option 1) and a template modified in manual mode (option 2). In calculations in all variants, the force exerted on the template when drilling at the specified application points was 30 N. The numerical studies used the physico-mechanical values of materials used in the technology of additive manufacturing of navigational surgical templates after sterilization. The problem was solved in a linear elastic formulation by the finite element method. Comparison of the numerical calculations for displacements and stresses for different designs of templates (option 1 and option 2) from the materials FormLabs Dental SG Resin (Formlabs, USA) and HARZLabs Yellow Clear PRO (Russia) showed a clear advantage of option 2 (reinforced template), and the stresses values turned out to be the same for both versions of templates made from foreign and domestic materials; the difference in displacements was 7–8%.

Key words: surgical template, numerical study, dental implantation, mathematical modeling, finite element method

FOR CITATION:

Sarkisov D.S., Stepanov A.G., Dzhalaeva M.V., Apresyan S.V., Korolkova O.P. Numerical study of the stress-strain state of surgical templates. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 72—77 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_72

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время дентальная имплантация является наиболее активно развивающимся направлением стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, поскольку частота патологии, требующей комплексной ортопедической реабилитации, остается на высоком уровне и в перспективе не будет иметь тенденции к уменьшению [1].

Дентальная имплантация — это оптимальный способ для восстановления функции и эстетики зубо-челюстной системы, повышения качества жизни пациента [2]. В настоящее время цифровые технологии охватили практически все аспекты стоматологии, в том числе дентальную имплантацию [3, 4].

Предварительное виртуальное планирование ортопедического лечения с применением дентальных имплантатов широко востребовано среди стоматологов. Выбор ортопедической конструкции с учетом индивидуальных анатомических параметров, полученных путем совмещения рентгенологических и оптических изображений, позволяет продемонстрировать пациенту результат лечения до его начала, спланировать оптимальное положение имплантатов [5].

В хирургической стоматологии наиболее востребованы навигационные хирургические шаблоны, позволяющие сократить время операции и минимизировать послеоперационные осложнения [6]. Как правило, указанный вид изделий медицинского назначения изготавливается методами компьютерного моделирования и производства, а именно посредством аддитивной технологии — 3D-печати [7, 8].

Однако технологии аддитивного производства в стоматологии все еще нуждаются в исследовании, поскольку нерешенными остаются вопросы об оптимальной конструкции хирургического шаблона. В ходе операции дентальной имплантации хирургические шаблоны испытывают разнонаправленные нагрузки, что нередко приводит к механическим поломкам шаблона во время операции.

Все конструкционные материалы медицинского назначения должны соответствовать жестким требованиям: токсикологическим, технологическим, физико-механическим, эстетическим, медико-биологическим, а в случае материалов для изготовления навигационных хирургических шаблонов — высокими прочностными характеристиками, не меняющими свои показатели после стерилизации [9, 10].

Однако не все конструкционные материалы для производства хирургических шаблонов допускают стерилизацию готовых изделий с помощью автоклавирования. В хирургической практике не все специалисты подвергают хирургические шаблоны стерилизации перед операцией, чаще всего ограничиваясь дезинфекцией в растворах антисептиков. Проведенная стерилизация путем автоклавирования и последующие испытания выявили отличия в прочности и трещиностойкости в сравнении с образцами, не прошедшими данную процедуру [11].

Обоснование конструкционных особенностей навигационных шаблонов высокоточными методами математического моделирования является перспективным и актуальным направлением в стоматологии.

Цель исследования — обоснование конструкционных особенностей навигационных шаблонов высокоточными методами математического моделирования, учитывающими физико-механические свойства конструкционного материала после стерилизационной обработки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе рассмотрены конструкции навигационных хирургических шаблонов для дентальной имплантации при отсутствии двух зубов (включенный дефект, рис. 1) в двух исполнениях:

- 1) универсальный шаблон, моделируемый программным обеспечением в автоматическом режиме;
- 2) шаблон, модифицированный в ручном режиме.

Модель шаблона во II исполнении усилили в местах, испытывающих наибольшие нагрузки при давлении: в сочленениях колец с базисом шаблона. Поскольку это индивидуальная модель, боковая часть левой опоры и часть самого кольца были вырезаны (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Вид моделей хирургических шаблонов
Fig. 1. View of surgical template models

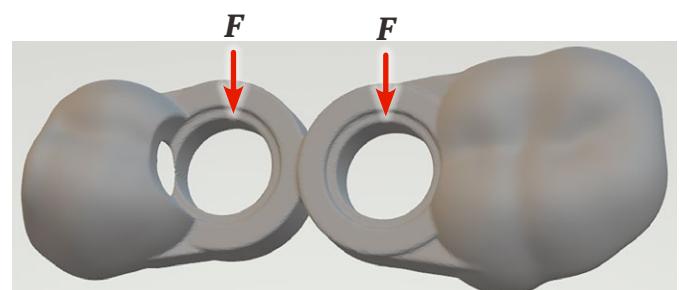


Рис. 2. Нагрузка 30 Н на каждое кольцо
Fig. 2. Load 30 N on each ring (sequentially)

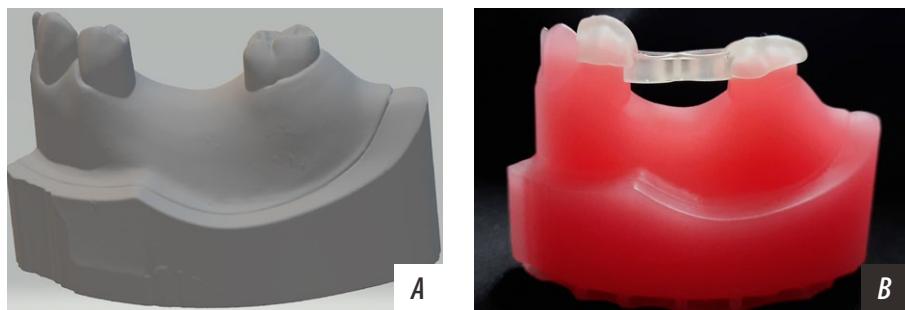


Рис. 3. А — модель части челюсти, В — та же модель с фиксированным на зубы шаблоном
Fig. 3. A — model of the jaw part, B — the same model with a template fixed to the teeth

При формировании костного ложа под дентальный имплантат основное давление приходится на внутреннее кольцо шаблона. В расчетах во всех вариантах сила, оказываемая на шаблон при сверлении в указанных точках приложения, задавалась одна и та же — 30 Н, сначала на одно кольцо, потом на другое.

На рис. 3А показан зубочелюстной сегмент пациента с включенным дефектом зубного ряда протяженностью в два зуба, рис. 3В — та же часть челюсти с фиксированным на зубы шаблоном. Для плотного прилегания внутренние поверхности левой и правой опор шаблона повторяют рельеф поверхности зубов.

в твердотельные (рис. 4В). В качестве примера на рис. 4С показана конечно-элементная модель варианта 2 (примерно 700 тыс. элементов).

В ранних работах были изучены физико-механические свойства конструкционных материалов, используемых в аддитивном производстве навигационных хирургических шаблонов, до и после стерилизации.

Как показало исследование Д.С. Саркисова и соавт. (2024), модуль упругости стерилизованных

хирургических шаблонов был выше, чем у изделий, не прошедших стерилизацию, поэтому в численных исследованиях рассматривались модели с материалами FormLabs Dental SG Resin (Formlabs, США) и HARZLabs Yellow Clear PRO (HARZLabs, Россия) после стерилизации со значениями модуля упругости 2,4 и 2,6 ГПа соответственно. Также деформация при разрушении загубленного материала соответствовала значению 8,53%, а прочность при изгибе — 92,3 МПа, тогда как аналогичные показатели у отечественного материала составили 4,13% и 80,6 МПа [11].



Рис. 4. А — фасетная модель из порядка 200 тыс. элементов, В — твердотельная модель варианта 1, С — конечноэлементная модель варианта 2

При помощи внутриротового сканера Primescan (Dentsply Sirona, Германия) в программе для моделирования навигационных шаблонов RealGUIDE (3DIEMME, Италия) были получены пространственные геометрические модели из нескольких сот тысяч элементов в формате STL (рис. 4А). В программе Ansys SpaceClaim (США) фасетные модели шаблонов были переведены

Задача решалась в линейно-упругой постановке методом конечных элементов. Математическая модель включала систему уравнений теории упругости: дифференциальные уравнения равновесия, уравнения Коши для малых деформаций и закон Гука, согласно которому компоненты деформации являются линейными функциями компонент напряжения. Ввиду сложной геометрии моделей для построения сетки конечных элементов использовался объемный элемент — тетраэдр с линейной функцией формы с 4 узлами и 3 степенями свободы в каждом узле (перемещение в каждом узле в направлениях X , Y , Z). Как было отмечено выше, внутренние поверхности опор шаблона точно повторяют рельеф поверхности зубов, поэтому в качестве граничных условий было выбрано закрепление по таким поверхностям опор шаблонов, где были запрещены перемещения по всем направлениям ($U_x = U_y = U_z = 0$). Во всех вариантах задавалась одинаковая сила 30 Н на внутренние поверхности левых и правых колец.

На рис. 5 показано закрепление по элементам внутренней поверхности правой опоры шаблона. Аналогичное закрепление сделано и для левой опоры.

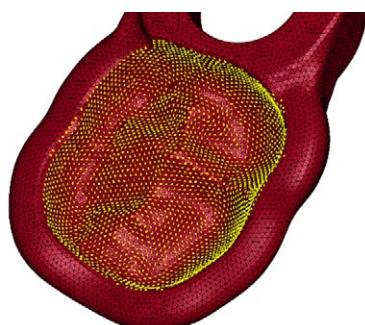


Рис. 5. Вид закрепления внутренней поверхности правой опоры шаблона
Fig. 5. View of the inner surface fastening of the right support of the template

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 6—9 показаны результаты численных расчетов по перемещениям и напряжениям для варианта 1 с нагрузкой на внутренние левые и правые кольца шаблонов (последовательно) с зарубежным материалом.

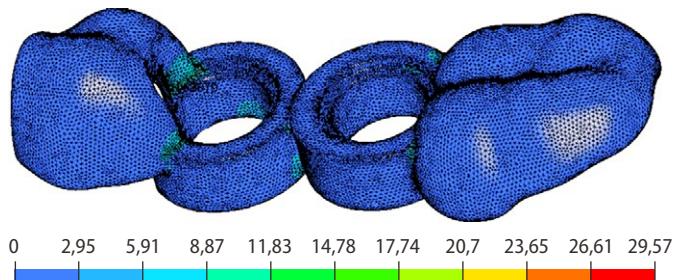


Рис. 6. Вариант 1. Материал Formlabs. Нагрузка 30 Н на левое кольцо, $\sigma_{max} = 29,57$ МПа

Fig. 6. Variant 1. Formlabs material. Load 30 N on the left ring, $\sigma_{max} = 29.57$ MPa

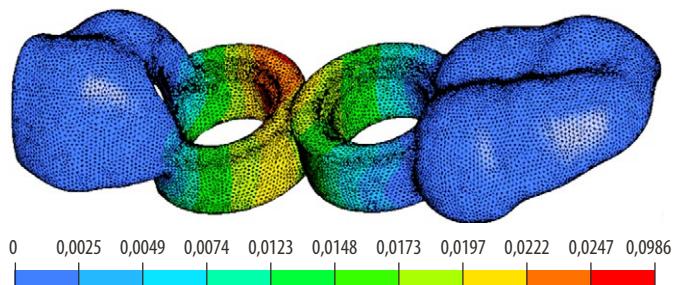


Рис. 7. Вариант 1. Материал Formlabs. Нагрузка 30 Н на левое кольцо, $\Delta_{max} = 0,0247$ мм

Fig. 7. Variant 1. Formlabs material. Load 30 N on the left ring, $\Delta_{max} = 0.0247$ mm

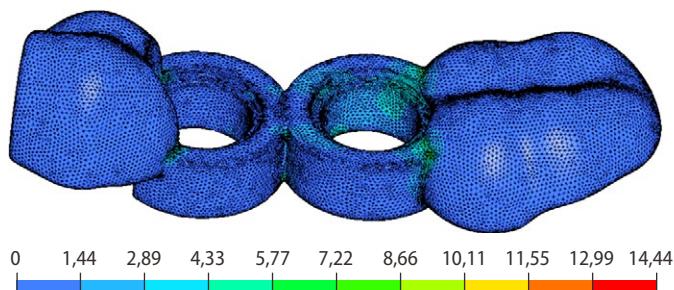


Рис. 8. Вариант 1. Материал Formlabs. Нагрузка 30 Н на правое кольцо, $\sigma_{max} = 14,44$ МПа

Fig. 8. Variant 1. Formlabs material. Load 30 N on the right ring, $\sigma_{max} = 14.44$ MPa

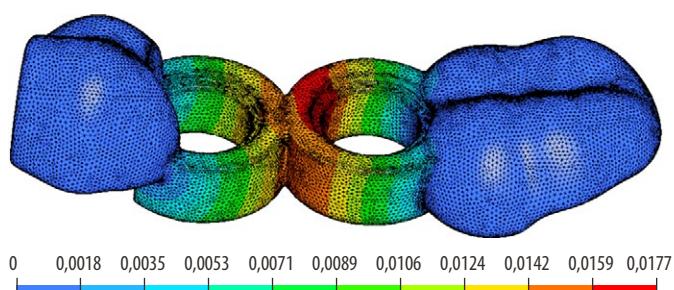


Рис. 9. Вариант 1. Материал Formlabs. Нагрузка 30 Н на правое кольцо, $\Delta_{max} = 0,0178$ мм

Fig. 9. Variant 1. Formlabs material. Load 30 N on the right ring, $\Delta_{max} = 0.0178$ mm

Аналогичные исследования проведены для варианта 2 — упрочненного шаблона (рис. 10—13).

Так, на рис. 6 показано распределение напряжений на левое кольцо, а на рис. 8 — на правое с одинаковой

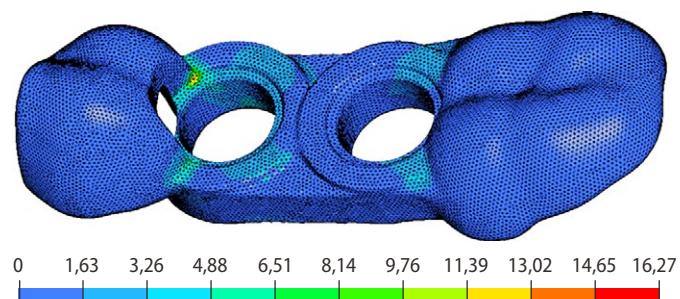


Рис. 10. Вариант 2. Материал Formlabs. Нагрузка 30 Н на левое кольцо, $\sigma_{max} = 16,27$ МПа

Fig. 10. Variant 2. Formlabs material. Load 30 N on the left ring, $\sigma_{max} = 16.27$ MPa

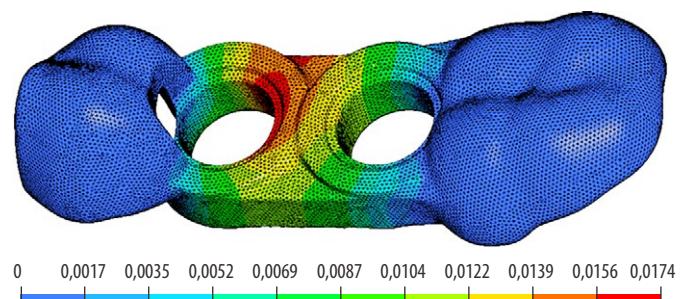


Рис. 11. Вариант 2. Материал Formlabs. Нагрузка 30 Н на левое кольцо, $\Delta_{max} = 0,0174$ мм

Fig. 11. Variant 2. Formlabs material. Load 30 N on the left ring, $\Delta_{max} = 0.0174$ mm

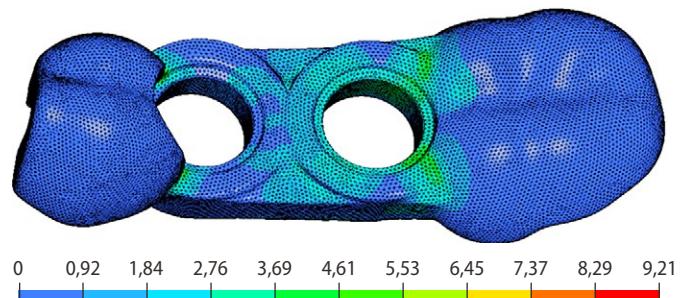


Рис. 12. Вариант 2. Материал Formlabs. Нагрузка 30 Н на правое кольцо, $\sigma_{max} = 9,22$ МПа

Fig. 12. Variant 2. Formlabs material. Load 30 N on the right ring, $\sigma_{max} = 9.22$ MPa

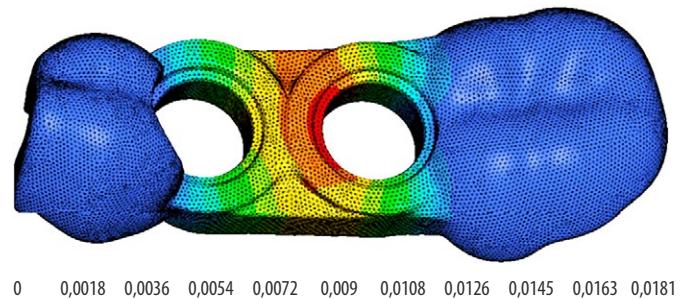


Рис. 13. Вариант 2. Материал Formlabs. Нагрузка 30 Н на правое кольцо, $\Delta_{max} = 0,0180$ мм

Fig. 13. Variant 2. Formlabs material. Load 30 N on the right ring, $\Delta_{max} = 0.0180$ mm

Сводные результаты исследований

Test results

Показатель	Вариант 1				Вариант 2 (упрочненный)			
	левое кольцо		правое кольцо		левое кольцо		правое кольцо	
	Formlabs	HARZ	Formlabs	HARZ	Formlabs	HARZ	Formlabs	HARZ
Перемещение, мм	0,0247	0,0228	0,0178	0,0164	0,0174	0,0160	0,0180	0,0167
Напряжение, МПа	29,57	29,57	14,44	14,43	16,27	16,28	9,22	9,22

нагрузкой 30 Н: максимальное значение напряжения 29,57 МПа находится в месте соединения кольца с левой опорой (часть самого кольца и опоры вырезаны), поэтому оно ослаблено по сравнению с правым кольцом, где максимальное значение напряжения в 2 раза меньше — 14,44 МПа. Аналогично по перемещениям: красным цветом показаны максимальные значения перемещений, которые соответствуют 0,0247 мм при нагрузке на левое кольцо (рис. 7) и 0,0178 мм на правое кольцо (рис. 9), т.е. почти в 1,4 раза меньше.

Для шаблонов с российским материалом результаты представлены в сводной таблице и на рис. 14, 15.

Похожая картина по перемещениям и напряжениям наблюдается для варианта 2 (упрочненного), но в противоположность варианту 1 отличие по перемещениям левого и правого колец (рис. 11 и 13) составляет всего

3% ($\Delta_{\max} = 0,0174$ и 0,0180 мм соответственно); максимальные значения напряжений — 9,22 МПа при нагрузке на правое кольцо (рис. 12) и $\sigma_{\max} = 16,27$ МПа на левое кольцо (рис. 10) — отличаются примерно в 1,7 раза.

Значения перемещений и напряжений всех вариантов представлены в сводной таблице.

Для сравнительного анализа по перемещениям построена гистограмма (см. рис. 14). Максимальные значения перемещений были у варианта 1 с нагрузкой 30 Н на левое кольцо (ослабленное кольцо из-за выреза части поверхности левой опоры и небольшой части самого кольца). При нагрузке варианта 1 на правое кольцо, а также на левое и правое кольца варианта 2 значения перемещений отличаются незначительно, причем для материала 2 значения перемещений даже меньше по сравнению с материалом 1 примерно на 8%.

Интересный результат показывает гистограмма на рис. 15. Здесь хорошо видно, что значения напряжений при одной и той же нагрузке 30 Н на поверхности колец для обоих материалов 1 и 2 одинаковые. Максимальные значения напряжений соответствуют варианту 1. Упрочненная модель шаблона (вариант 2) оказалась существенно лучше варианта 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований отличие значений напряжений между вариантами 1 и 2 при нагрузке на левое кольцо составляет 45%; при нагрузке на правое кольцо — 36%. Эти значения соответствуют для шаблонов с обоими материалами.

По перемещениям для материала FormLabs Dental SG Resin (Formlabs, США): 30% составляет отличие между вариантами 1 и 2 при нагрузке на левое кольцо и менее 11% при нагрузке на правое. Таким образом, однозначно вариант 2 (упрочненный) существенно лучше варианта 1.

Сравнение шаблонов из разных материалов показало одинаковые результаты по напряжениям, а по перемещениям отличие составило 7–8%.

Как показали результаты численного исследования, для более надежного использования на практике можно рекомендовать упрочненный шаблон-вариант 2, изготовленный из двух рассмотренных материалов.

Моделируя навигационный шаблон для дентальной имплантации, необходимо учитывать физико-механические свойства выбранного конструкционного материала. Как показали наши исследования, механические характеристики отечественного материала HARZLabs Yellow Clear PRO (HARZLabs, Россия) практически

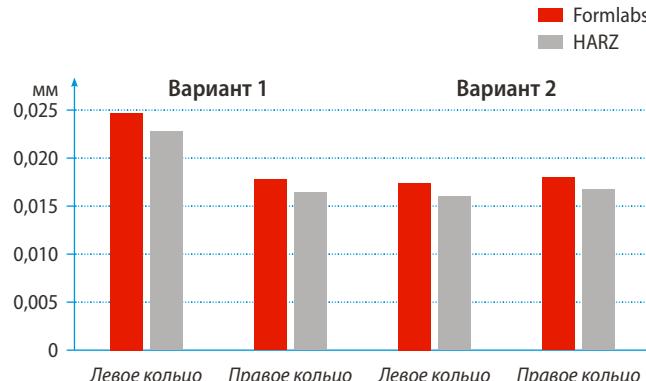


Рис. 14. Распределение перемещений для вариантов 1 и 2 по обоим кольцам

Fig. 14. Displacements distribution for variants 1 and 2 on both rings

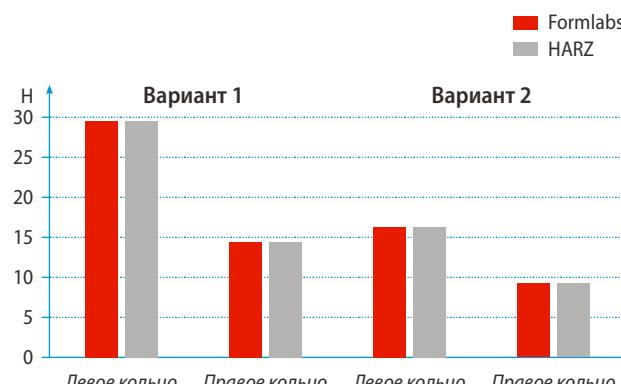


Рис. 15. Распределение напряжений для вариантов 1 и 2 по обоим кольцам

Fig. 15. Stress distribution for variants 1 and 2 on both rings

не уступают зарубежному FormLabs Dental SG Resin (Formlabs, США), а упрочнение конструкции позволяет использовать отечественный материал в ежедневной хирургической практике и снизить риск осложнений (что очень важно), учитывая недоступность зарубежных аналогов в связи со сложившейся геополитической ситуацией. Также важно понимать, что чрезмерные нагрузки

ЛИТЕРАТУРА:

1. Апресян С.В., Степанов А.Г., Антоник М.М., Дегтярев Н.Е., Кравец П.Л., Лихненко М.Н., Малазония Т.Т., Саркисян Б.А. Комплексное цифровое планирование стоматологического лечения. — М.: Мозартика, 2020 — 396 с.
2. Степанов А.Г., Апресян С.В. Цифровое планирование в хирургической стоматологии: практическое пособие. — М.: Мозартика, 2021 — 128 с.
3. Поляков Д.И., Муслов С.А., Степанов А.Г., Арутюнов С.Д. Механические свойства тканей уха и биосовместимых силиконов для протезирования ушной раковины. — В: сб. матер. VIII международной научной интернет-конф. «Физико-химическая биология». — Ставрополь: СтГМУ, 2020. — С. 135—141. [eLibrary ID: 44587001](#)
4. Апресян С.В., Степанов А.Г., Деев М.С., Гаджиев М.А., Бородина И.Д. Исследование поверхности образцов конструкционных материалов для изготовления окклюзионных шин с помощью CAD/CAM технологий. — Институт стоматологии. — 2022; 3 (96): 93—95. [eLibrary ID: 49483819](#)
5. Гаджиев М.А., Апресян С.В., Степанов А.Г. Оценка физико-механических свойств конструкционного материала, используемого в технологии изготовления стоматологических ортопедических конструкций методом 3D-печати, в условиях искусственного старения. — Институт стоматологии. — 2022; 1 (94): 104—106. [eLibrary ID: 48213694](#)
6. Левченко И.М., Степанов А.Г., Киракосян Л.Г. Изучение физико-механических свойств полимерных материалов, используемых в аддитивной технологии изготовления зубных протезов методом 3D-печати. — Российская стоматология. — 2020; 2: 66—68. [eLibrary ID: 48220166](#)
7. Арутюнов С.Д., Степанов А.Г., Апресян С.В., Абакарова Д.С., Зязиков М.Д., Арутюнов С.Д. Фрезерованный трансдентальный имплантат. — Патент RU №2529392, действ. с 14.00.2013. [eLibrary ID: 37453431](#)
8. Муслов С.А., Поляков Д.И., Лотков А.И., Степанов А.Г., Арутюнов С.Д. Измерение и расчет параметров механических свойств силиконового каучука. — Известия вузов. Физика. — 2020; 9 (753): 68—71. [eLibrary ID: 44004043](#)
9. Hettinghouse A., Liu C.J. Brain-penetrant heat shock protein amplifier arimoclomol enhances GCase activity in *in vitro* Gaucher disease models. — *EBioMedicine*. — 2018; 38: 7—8. [PMID: 30522930](#)
10. Wettasinghe A.H., Dissanayake D.W.N., Allet L., Katulanda P., Lord S.R. Falls in older people with diabetes: Identification of simple screening measures and explanatory risk factors. — *Prim Care Diabetes*. — 2020; 14 (6): 723—728. [PMID: 32473990](#)
11. Саркисов Д.С., Степанов А.Г., Апресян С.В. Физико-механические свойства материалов, используемых в технологии компьютерного производства хирургических шаблонов. — Стоматология. — 2024; 1: 8—11. [eLibrary ID: 60410005](#)

на шаблон во время формирования имплантационного ложа являются ошибкой, связанной с неправильным моделированием конструкции и могут повлечь ее не-пригодность, осложняя оперативное вмешательство.

Поступила/Received: 22.07.2024

Принята в печать/Accepted: 28.02.2025

REFERENCES:

1. Apresyan S.V., Stepanov A.G., Antonik M.M., Degtyarev N.E., Kravets P.L., Likhnenko M.N., Malazonia T.T., Sarkisyan B.A. Comprehensive digital dental treatment planning. Moscow: Mosartica, 2020. 396 p. (In Russian).
2. Stepanov A.G., Apresyan S.V. Digital planning in surgical dentistry: A practical guide. Moscow: Mosartica, 2021. 128 p. (In Russian).
3. Polyakov D.I., Muslov S.A., Stepanov A.G., Arutyunov S.D. Mechanical properties of ear tissues and biocompatible silicones for ear prosthetics. In: proceedings of VIII international scientific internet conference "Physico-chemical biology". Stavropol: Stavropol State Medical University, 2020. Pp. 135—141 (In Russian). [eLibrary ID: 44587001](#)
4. Apresyan S.V., Stepanov A.G., Deev M.S., Gadzhiev M.A., Borodina I.D. Examination of the surface of samples of structural materials for the manufacture of occlusal tires using CAD/CAM technologies. *The Dental Institute*. 2022; 3 (96): 93—95 (In Russian). [eLibrary ID: 49483819](#)
5. Gadzhiev M.A., Apresyan S.V., Stepanov A.G. Evaluation of the physical and mechanical properties of the structural material used in the technology of manufacturing dental orthopedic structures by 3D-printing under conditions of artificial aging. *The Dental Institute*. 2022; 1 (94): 104—106 (In Russian). [eLibrary ID: 48213694](#)
6. Levchenko I.M., Stepanov A.G., Kirakosyan L.G. The study of the physical and mechanical properties of polymeric materials used in the additive technology for the manufacture of dental prostheses by 3D printing. *Russian Stomatology*. 2020; 2: 66—68 (In Russian). [eLibrary ID: 48220166](#)
7. Arutjunov S.D., Stepanov A.G., Apresyan S.V., Abakarova D.S., Zjazikov M.D., Arutjunov S.D. Machined transdental implant. Patent RU #2529392, effective from 14.00.2013 (In Russian). [eLibrary ID: 37453431](#)
8. Lotkov A.I., Muslov S.A., Polyakov D.I., Stepanov A.G., Arutyunov S.D. Measurement and Calculation of Mechanical Properties of Silicone Rubber. *Russian Physics Journal*. 2021; 9: 1525—1529. [eLibrary ID: 44980621](#)
9. Hettinghouse A., Liu C.J. Brain-penetrant heat shock protein amplifier arimoclomol enhances GCase activity in *in vitro* Gaucher disease models. — *EBioMedicine*. — 2018; 38: 7—8. [PMID: 30522930](#)
10. Wettasinghe A.H., Dissanayake D.W.N., Allet L., Katulanda P., Lord S.R. Falls in older people with diabetes: Identification of simple screening measures and explanatory risk factors. — *Prim Care Diabetes*. — 2020; 14 (6): 723—728. [PMID: 32473990](#)
11. Sarkisov D.S., Stepanov A.G., Apresyan S.V. Physical and mechanical properties of materials used in the technology of computer production of surgical templates. *Stomatology*. 2024; 1: 8—11 (In Russian). [eLibrary ID: 60410005](#)

Н.Е. Дегтярев,

аспирант кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

А.А. Мураев,

д.м.н., профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

Г.Г. Казарян,

аспирант кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

Р.Ф. Мухаметшин,

к.м.н., ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

С.С. Иванов,

к.м.н., ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

РУДН, 117198, Москва, Россия

Цифровое планирование дентальной имплантации с применением аксиографии у пациента с нефиксированным прикусом

Аннотация. Отсутствие повторяемой центральной окклюзии ранее являлось препятствием для проведения цифровой аксиографии ввиду невозможности сопоставить разные типы данных в одной системе координат. В данной статье мы представили разработанный цифровой алгоритм планирования дентальной имплантации у пациента с частичной потерей зубов и нефиксированным прикусом. В представленной методике особое внимание уделяли определению центрального соотношения челюстей в цифровом формате, а также положению головок височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) относительно скатов суставных бугорков. В ходе цифрового планирования была проведена аксиография у пациента с нефиксированным прикусом с применением рентген-контрастных меток. Полученное в ходе анализа аксиографии новое положение нижней челюсти было взято за основу при моделировании будущей временной конструкции — исходя из нее планировали расположение имплантатов. Были изготовлены хирургические шаблоны, а также шаблоны для сканирования, позволившие перенести виртуальную модель постоперационной челюсти относительно исходного положения, что позволило соотнести постоперационный скан верхней челюсти с моделью нижней челюсти. На основе имеющихся данных был изготовлен временный протез на прямых абдоментах и зафиксирован в полости рта на 3-и сутки после установки имплантатов.

Ключевые слова: дентальная имплантация, хирургические шаблоны, височно-нижнечелюстной сустав, цифровое планирование, аксиография

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Дегтярев Н.Е., Мураев А.А., Казарян Г.Г., Мухаметшин Р.Ф., Иванов С.С. Цифровое планирование дентальной имплантации с применением аксиографии у пациента с нефиксированным прикусом. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 78—83. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_78

Digital planning of dental implantation using axiography in a patient with a non-fixed bite

Annotation. The absence of a reproducible central occlusion previously posed a challenge for performing digital axiography due to the inability to align different types of data within a single coordinate system. In this article, we present a developed digital algorithm for planning dental implantation in a patient with partial tooth loss and a non-fixed bite. Special attention in this methodology was given to determining the centric relation of the jaws in a digital format, as well as the position of the temporomandibular joint (TMJ) heads relative to the slopes of the articular eminences. During the digital planning process, axiography was performed on a patient with a non-fixed bite using radiopaque markers. The new mandibular position obtained from the axiographic analysis served as the basis for modeling the future temporary prosthesis, which guided the planning of implant placement. Surgical guides and scanning templates were fabricated, enabling the transfer of the virtual model of the postoperative jaw relative to its original position. This allowed for the alignment of the postoperative scan of the upper jaw with the model of the lower jaw. Based on the available data, a temporary prosthesis on straight abutments was fabricated and fixed in the oral cavity on the 3rd day after implant placement.

Key words: dental implantation, surgical guides, temporomandibular joint, digital planning, axiography

FOR CITATION:

Degtyarev N.E., Muraev A.A., Kazarian G.G., Mukhametshin R.F., Ivanov S.S. Digital planning of dental implantation using axiography in a patient with a non-fixed bite. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 78—83 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_78

N.E. Degtyarev,

postgraduate at the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

A.A. Muraev,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

G.G. Kazarian,

postgraduate at the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

R.F. Mukhametshin,

PhD in Medical Sciences, assistant professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

S.S. Ivanov,

PhD in Medical Sciences, assistant professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

RUDN University, 117198, Moscow, Russia

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно при проектировании направляющих хирургических шаблонов виртуальное положение имплантатов определяется объемом и конфигурацией доступной костной ткани с учетом положения и конфигурации будущей ортопедической конструкции. Оптимальным считается обеспечение проекции оси имплантата в фиссуре или слепые ямки искусственных зубов, что обеспечит такой же выход шахт имплантатов [1].

Ввиду отсутствия окклюзии у рассматриваемого в данной статье пациента необходимыми этапами были определение центрального соотношения челюстей с обязательным моделированием позиции головок нижней челюсти (НЧ) относительно скатов суставных бугорков, анализ треков аксиографии и установление оптимальной позиции модели НЧ относительно модели верхней челюсти (ВЧ) в виртуальном пространстве, что позволило смоделировать будущую ортопедическую конструкцию исходя из индивидуальных особенностей строения височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) [2].

Таким образом, мы представили новую методику определения оптимального положения головок НЧ у пациента с нефиксированным прикусом. В свою очередь, выявленное положение НЧ определяло положение виртуальных зубных рядов ВЧ относительно НЧ, что детерминировало положение имплантатов, а значит, конфигурацию хирургического шаблона и параметры протокола сверления [3].

Одно из преимуществ цифрового планирования заключается в следующем: можно спроектировать и соотнести в одной системе координат дополнительные приспособления для внутриторового сканирования. Такой подход позволяет снизить риск постоперационных осложнений ввиду отсутствия этапа снятия оттисков силиконовыми массами, значительно сокращает время работы над временным протезом при немедленной нагрузке, а также позволяет учитывать найденное на предшествующих этапах центральное соотношение челюстей в цифровом формате [4–5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пациент В., 36 лет, обратился с жалобами на отсутствие зубов на ВЧ, нарушение дикции, затруднение жевания, эстетический дефект. При осмотре были определены 2 имплантата в позициях зубов 2.4 и 2.6. На ВЧ отсутствовали все зубы, кроме 1.7, на НЧ отсутствовали зубы 3.7–3.5 и 4.7–4.5. Открывание рта в полном объеме, девиация, боль и хруст отсутствовали. Диагноз — частичная потеря зубов (К08.1).

Был составлен следующий план лечения:

- 1) Цифровое планирование имплантации с проведением аксиографии.
- 2) Имплантация в проекции зубов 1.6, 1.4, 1.2 и 2.2.
- 3) Временное протезирование по протоколу немедленной нагрузки.

4) Постоянное протезирование на ВЧ конструкцией из диоксида циркония через 6 месяцев.

Подготовительный этап цифрового планирования

После первичной консультации и согласования плана лечения на повторном приеме было проведено внутриторовое сканирование, в результате которого был получен 3D-скан ВЧ, скана НЧ, а также одновременного скана верхней и нижней челюсти (условно bite-скана) для переноса положения сканов верхней и нижней челюсти в виртуальное пространство в формате STL. Важно отметить, что положение НЧ на данном этапе сканирования не соответствовало центральному соотношению, челюсть позиционировали по антропометрическим параметрам: высоту нижней трети лица определяли визуально и с помощью штангенциркуля выставляли равной средней и верхней третями лица — 7 см (рис. 1).



Рис. 1. Исходные 3D-модели верхней и нижней челюстей, зафиксированные по антропометрической высоте третьей лица
Fig. 1. Initial 3D models of the upper and lower jaws, aligned based on the anthropometric heights of the facial thirds.

Полученные вышеуказанным методом bite-сканы служили основой для сопоставления всех остальных 3D-данных пациента, планирования ортопедической конструкции и определения положения dentalных имплантатов в виртуальной среде в программах RealGuide, P-Art и Exocad.

На основе зарегистрированного первичного соотношения челюстей в программе RealGuide были сначала смоделированы, а затем напечатаны на 3D-принтере 2 наслизистых шаблона для аксиографии и модернизированная вилка аксиографа SDI-matrix на верхнюю и нижнюю челюсть. При этом шаблон на ВЧ представлял собой прототип будущего хирургического шаблона, имеющий наслизистую опору и площадку, служащую для точечной опоры ответной части второго шаблона для аксиографии на НЧ. Важной деталью шаблона для аксиографии на ВЧ являлись пазы для его позиционирования относительно НЧ.

Опорой шаблона для аксиографии на НЧ являлась слизистая и оставшиеся зубы НЧ. Помимо этого, шаблон на НЧ содержал шаровидный элемент, осуществляющий

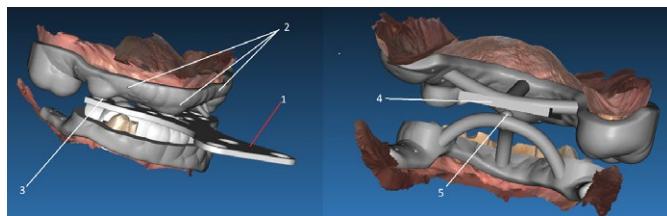


Рис. 2. Ключевые элементы шаблонов для аксиографии: 1) вилка аксиографа; 2) отверстия для рентгеноконтрастного материала; 3) паз для позиционирования нижней челюсти относительно верхней по исходной позиции; 4) площадка гнатометра; 5) шаровидный элемент, обеспечивающий точечный контакт с гнатометром

Fig. 2. Key elements of the axiography templates: 1) axiograph fork; 2) holes for radiopaque material; 3) positioning groove ensuring the alignment of the lower jaw relative to the upper jaw based on the initial position; 4) gnathometer platform; 5) spherical element providing point contact with the gnathometer

точечный контакт с площадкой в первом шаблоне на ВЧ (рис. 2).

Также в обоих шаблонах были предусмотрены туннелевидные отверстия для заполнения рентгеноконтрастной гуттаперчей и более точного сопоставления цифровой модели челюсти с КЛКТ, а также для контроля проведения аксиографии.

Определение центрального соотношения челюстей

Предполагалось найти центральное соотношение, используя принцип гнатометра. Для этого шаблон для аксиографии на НЧ точно контактировал с шаблоном на ВЧ, что позволило сформировать готическую стрелу (готическую дугу) — при виде сверху на движения НЧ в горизонтальной плоскости во время ее выдвигающих правого и левого боковых движений до предела траектория движения срединной точки нижних резцов напоминает головку стрелы или дуги. Ее вершина соответствует положению центрального соотношения при прорезионных и латеротрузионных движениях пациента [6].

Третий элемент — модифицированная вилка аксиографа SDI-matrix, сориентированная заранее по отношению к виртуальной модели ВЧ. Данная модифицированная вилка содержала также сферообразные ретенционные элементы для соответствующих ответных углублений на шаблоне ВЧ и пазы под зубы НЧ. Данная деталь выполняет несколько задач. Во-первых, позиционирует вилку аксиографа относительно беззубой ВЧ, сохраняя при этом пространственное ориентирование,

а во-вторых, позиционирует НЧ относительно ВЧ, воспроизводя ту позицию челюсти, которая была зафиксирована bite-сканами, принятой в качестве референсной точки.

Стоит отметить, что референсная позиция, запечатленная bite-сканами, была статичной, а путь введения оставался неясным, что могло помешать правильному позиционированию шаблонов для аксиографии на ВЧ и НЧ (рис. 3). Ввиду этого ретенционные элементы, описанные ранее, были выбраны именно сферической формы — именно при такой форме обеспечиваются направления введения в диапазоне 360° (рис. 4).

Для проведения аксиографии использовался цифровой аксиограф SDI Matrix. Перед началом аксиографии были установлены шаблоны для аксиографии на ВЧ и НЧ, а также позиционер в виде вилки и ретенционных элементов. Во время аксиографии пациента просили троекратно широко открыть и закрыть рот, а также выполнить прорезионные и латеротрузионные движения. Перед каждой записью аксиографии в полость рта устанавливали вилку аксиографа (рис. 4) с позиционерами, обеспечивающую повторяемость стартовой позиции.

Результатом проведения аксиографии стали полученные треки движений НЧ, имеющие единую стартовую позицию, — это принципиальный аспект ввиду отсутствия повторяемой позиции центральной окклюзии

Рентгенологическое обследование

Следующим этапом стало проведение конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) с рентген-шаблонами для аксиографии. Как уже было сказано выше, в обоих аксиографических шаблонах были созданы туннелеобразные углубления, в которые устанавливалась гуттаперча, выполнявшая роль рентгеноконтрастных меток. Таким образом, аксиографические шаблоны стали рентген-шаблонами при проведении КЛКТ (матрица 17×23 см) с визуализацией челюстей и ВНЧС. Перед проведением исследования рентген-шаблон и вилка, позиционирующая данные шаблоны, были установлены в полость рта. Это было сделано для того, чтобы задать то положение НЧ и вместе с ней положение головок мышцелковых отростков так, как они были спозиционированы на аксиографии.

Поскольку гуттаперча рентгеноконтрастна, метки, находящиеся в шаблонах, были запечатлены при проведении КЛКТ, что позволило сопоставить все



Рис. 3. Проведение аксиографии, установка позиционирующей вилки

Fig. 3. Performing axiography, installing the positioning fork

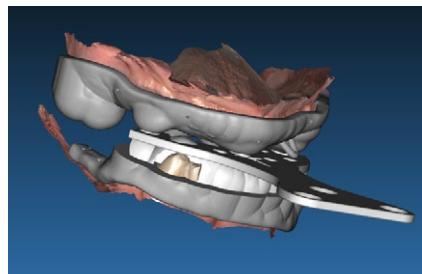
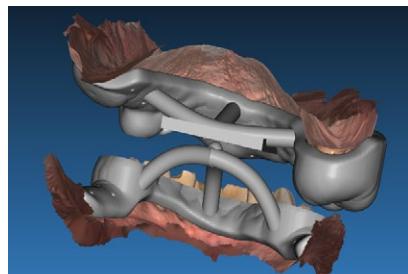


Рис. 4. Шаблоны для аксиографии на верхней и нижней челюсти, спозиционированные между собой модифицированной вилкой

Fig. 4. Axiography templates on the upper and lower jaws, aligned with each other using a modified fork



необходимые для планирования файлы в цифровом формате относительно компьютерной томографии (рис. 5).

По данным КЛКТ исследования лицевого скелета с закрытым ртом при смыкании пациентом десен с рентгеноконтрастными шаблонами, головки мыщелковых отростков расположены несимметрично, в центральном положении относительно суставной впадины слева и в центральном положении относительно суставной впадины справа с тенденцией к дистальному положению. Суставные щели дифференцированы. Сужены дистальные сегменты слева и справа, верхнелатеральный сегмент справа. Тип головок округлой формы, контуры четкие, ровные слева, неровные справа, с признаками ремоделирования. Дефектов замыкающей кортикальной пластинки нет. Справа определяется дефект замыкающей кортикальной пластинки и субхондральный дефект в его проекции на верхней дистальной поверхности головки ВНЧС. Признаков формирования энтеофитов/остеофитов нет. Определяются признаки субхондрального склероза головки ВНЧС слева и справа. Шейки мыщелковых отростков несимметричны. Угол по отношению к головкам сохранен. Суставные бугорки несимметричны. Контуры четкие, ровные, без дефектов. На вершине суставных бугорков костная ткань с признаками остеосклероза. Суставные ямки сформированы правильно, стенки прослеживались четко, контуры не прерваны. В параартикулярных мягких тканях дополнительных образований не обнаружилось.

Планирование имплантации

В результате первого и второго посещения были получены сканы ВЧ и НЧ в виде STL-файлов, 2 bite-скана на предполагаемой высоте окклюзии, треки аксиографии, иллюстрирующие направления движений НЧ в пространстве, КЛКТ челюстей с RG-шаблонами для их сопоставления с исходными моделями шаблонов аксиографии соответственно. Все объекты объединяли в виртуальной среде в единой системе координат, задаваемой исходными шаблонами для аксиографии, а также модифицированной вилкой (их описание мы приводили выше).

После сбора всех необходимых данных был выполнен поиск оптимальной позиции головок мыщелков отростков НЧ относительно скатов суставных бугорков в программе P-art (рис. 6). Для этого была создана комплексная диагностика, включавшая КТ с метками, по которым были сопоставлены сканы ВЧ и НЧ, а также треки аксиографии, которые были сориентированы в пространстве путем проведения базовой цефалометрии.

Следующим этапом стало сегментирование НЧ и преобразование ее графического изображения в отдельную 3D-модель. Поиск оптимальной позиции НЧ проводился путем визуальной оценки перемещения отсегментированной НЧ в трех плоскостях относительно структур ВНЧС по индивидуальным трекам аксиографии, а именно из коридора положений основания готической стрелы. Найденное положение НЧ относительно ВЧ было выгружено с учетом настроек артикулятора

Amman Girrbach с целью построения виртуального протеза в программе ExoCad с учетом персонализированных настроек виртуального артикулятора, полученных на этапе проведения аксиографии.

В процессе создания WaxUp'a использовали фотографии пациента, полученные на этапе консультации и осмотра.

Спроектированный с учетом найденного по трекам аксиографии ЦС виртуальный зубной ряд был экспортован программу Real Guide с целью планирования dentalной имплантации и создания хирургических шаблонов. В данном клиническом примере были использованы имплантаты Osstem (Южная Корея), поскольку пациенту ранее уже были установлены 2 имплантата данной системы. При планировании расположения имплантатов учитывали ранее установленные имплантаты в области 2.6 и 2.4, а именно их оси, чтобы нивелировать возможную дивергенцию углов осей ортопедических деталей.

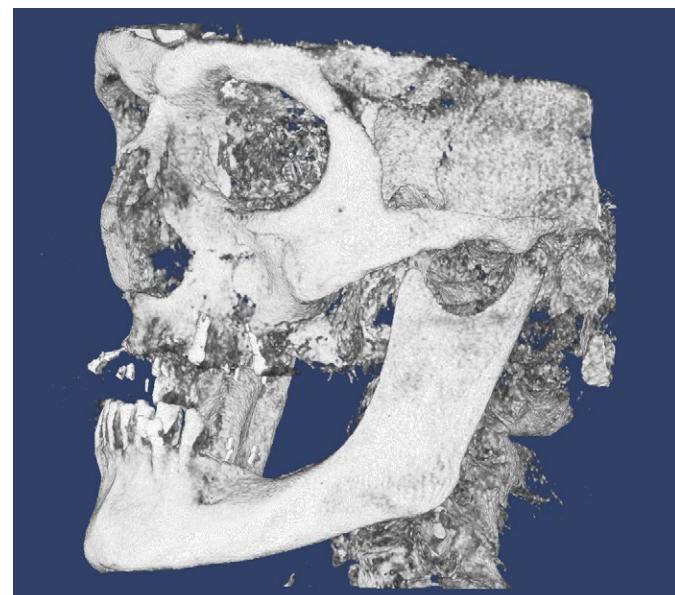


Рис. 5. Диагностическая КЛКТ пациента без хирургических шаблонов
Fig. 5. Diagnostic CBCT of the patient without surgical guides

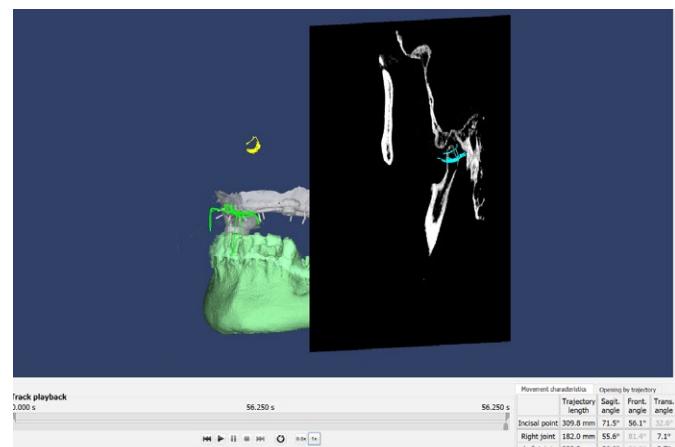


Рис. 6. Поиск оптимальной позиции головок мыщелковых отростков нижней челюсти относительно скатов суставных бугорков в программе P-Art
Fig. 6. Searching for the optimal position of the condylar heads of the mandible relative to the slopes of the articular eminences in the P-Art software

Поскольку на верхней челюсти у пациента присутствовал только зуб 1.6, было принято решение о его удалении, проведении закрытого синус-лифтинга в данной области с одномоментной установкой имплантата. Этот момент также учитывался при разработке хирургического шаблона, и в связи с этим глубина сверления в данной области предусматривала контролируемый отступ от дна гайморовой пазухи на 1 мм, обеспечивающий стоппером сверла. Непосредственно хирургический шаблон был спроектирован под наслизистую опору шаблона и предполагал работу безлоскутной техникой с применением цилиндрического мукотома, а также фиксацию пинами к кости.

Это же расположение пинов фиксации относительно черепа было заложено при моделировании шаблона для сканирования, представляющего собой взаимосвязанные балки круглого сечения со случайным вкраплением кубических элементов, для получения оптического скана непосредственно после установки скан-маркеров. Поскольку на 3D-сцене уже присутствовали виртуальные модели ВЧ и НЧ, соотнесенные исходя из найденного положения головок мыщелковых отростков, то и виртуальная модель хирургического шаблона, а также виртуальная модель шаблона для сканирования уже имели ориентацию относительно модели НЧ в 3D-пространстве — это исключало необходимость моделирования на шаблоне для сканирования ответной части для нижних зубов (рис. 7).



Рис. 7. Виртуальная модель верхней челюсти с хирургическим шаблоном и шаблоном для сканирования на 3D-сцене

Fig. 7. Virtual model of the upper jaw with a surgical guide and a scanning template on the 3D scene



Рис. 8. Установленный шаблон для сканирования и скан-маркеры

Fig. 8. Installed scanning template and scan markers



Рис. 9. Сопоставленные интраоперационные сканы с моделью шаблона для сканирования

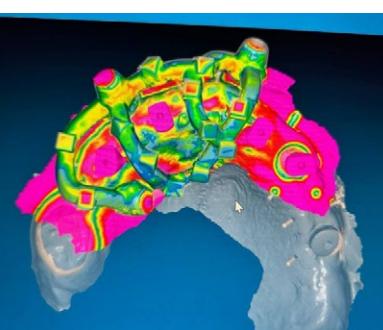


Fig. 9. Matched intraoperative scans with the scanning template model

Ход оперативного вмешательства

Интраоперационно была проведена инфильтрационная анестезия с вестибулярной стороны, а также палатинальная анестезия на верхней челюсти (3 мл ультракаина). Наложен и зафиксирован пинами навигационный шаблон на ВЧ, мукотомом диаметром 4 мм создан доступ к кости, препарировано ложе имплантатов в кости альвеолярного отростка. Имплантаты 2.2, 1.2, 1.4 и 1.6 были установлены с применением навигационного имплантовода субкрестально с заглублением на 1,5–2 мм. На финальном этапе был проведен закрытый синус-лифтинг и установлен имплантат в области 1.6 при 25 Н·см, поэтому имплантат был ушит с винтом-заглушкой. Через 4 месяца в данный имплантат установлен формирователь десны.

После установки имплантатов шаблон был снят, профайлером через слизистую оболочку расширен профиль прорезывания имплантатов 2.2, 1.2 и 1.4. В имплантаты установлены скан-маркеры, после чего проведено сканирование внутриротовым сканером для переноса позиции имплантатов в виртуальную среду.

Далее был установлен шаблон для сканирования, по тем же костным каналам под пины фиксации, которые были у хирургического шаблона. После чего был получен второй скан ВЧ, содержащий как скан-маркеры, так и сам шаблон для сканирования (рис. 8).

Следующим этапом сопоставляли постоперационный скан с виртуальной моделью шаблона для сканирования с целью ориентации постоперационного скана ВЧ, содержащего скан-маркер. Проведенный анализ совпадения данных показал приемлемое качество сопоставления вышеуказанных моделей, был спроектирован временный мостовидный протез с опорой на имплантаты 1.4, 1.2, 2.2, 2.4 и 2.6 (рис. 9).

Стоит также отметить, что ввиду некритичной дивергенции осей установленных имплантатов временный протез планировался с учетом винтовой фиксации на прямых стандартных абдентентах без применения мультиюнитов. Протез выполнен методом фрезерования из полиметилметакрилата и зафиксирован на 3-и сутки после имплантации (рис. 10).

ОБСУЖДЕНИЕ

В данном клиническом примере продемонстрированы возможности комплексного цифрового планирования дентальной имплантации у пациента с нефиксированным прикусом. В настоящее время каждая из указанных выше методик диагностики применяется самостоятельно и является промежуточным этапом протезирования

зубных рядов. Так, например, по данным L. Celia и соавт. (2021), рассматриваются различные алгоритмы по сегментации НЧ на компьютерной томографии для диагностики и последующего лечения заболеваний ВНЧС [7]. Стоит отметить, что сегментация НЧ является ключевым этапом аксиографии, позволяя визуализировать структуры ВНЧС, а именно положение головок мышцелковых отростков относительно скатов суставных бугорков в динамике [8].

В данном клиническом примере также демонстрируются возможности навигационной хирургии, позволяющие спрогнозировать будущее положение имплантатов и выходы шахт, что значительно снижает риски в раннем и позднем постоперационном периоде. Введение навигационной хирургии и методики проведения аксиографии у пациентов с нефиксированным прикусом представляет собой инновационный подход, который способствует более предсказуемому определению оптимального положения имплантатов и сокращению рисков в раннем и в позднем постоперационном периоде [9–11].

Также впервые была применена методика проведения аксиографии у лиц с нефиксированным прикусом, что позволяет еще до этапа создания временных конструкций определить оптимальное положение головок мышцелковых отростков, а также задать индивидуальные настройки артикулятора на этапе цифрового планирования временного протеза.

Помимо этого, разработанные и примененные шаблоны для сканирования позволяют отказаться от силиконовых оттисков, что повышает точность моделирования формы и положения искусственных коронок на имплантатах и значительно сокращает время на их изготовление.



Рис. 10. Временная конструкция на имплантатах

Fig. 10. Temporary prosthesis on implants

ВЫВОДЫ

Предложенный метод комплексного цифрового планирования, объединяющий виртуальное определение центрального соотношения челюстей, планирование формы и положения искусственных зубных рядов, позиционирование с учетом этого dentalных имплантатов и моделирование хирургического шаблона для их установки, позволяет избегать погрешностей, связанных с использованием слепочного материала, сокращает количество приемов пациента и время его нахождения в клинике. Все это повышает эффективность восстановления зубных рядов у пациентов с нефиксированным прикусом.

Поступила/Received: 02.07.2024

Принята в печать/Accepted: 25.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Sodhi A., Sharma A.K., Bansal P. Esthetics in implant dentistry — Prosthetic considerations. — Qazipara: Updent Publication, 2023. — Pp. 40—49.
2. Ragazzini N., Baldissara P., Monaco C., Ciocca L. Digital jaw relation record of edentulous patients in the CAD-CAM workflow of the implant-supported full-arch prosthesis. — *J Oral Implantol.* — 2021; 47 (1): 57—62. [PMID: 32662838](#)
3. Joda T., Zarone F., Ferrari M. The complete digital workflow in fixed prosthodontics: a systematic review. — *BMC Oral Health.* — 2017; 17 (1): 124. [PMID: 28927393](#)
4. Joda T., Brägger U. Digital vs. conventional implant prosthetic workflows: a cost/time analysis. — *Clin Oral Implants Res.* — 2015; 26 (12): 1430—5. [PMID: 25179680](#)
5. Utz K.H., et al. Is there "A best" centric relation record? Centric relation records, condyle positions, and their practical significance. — *Int J Prosthodont.* — 2023; 36 (3): 262—272. [PMID: 36484682](#)
6. Севбитов А.В. Введение в клиническую гнатологию: учебно-методическое пособие. — М.: ПМГМУ им. Сеченова, 2013. — С. 70—74.
- [Sevbitov A.V. Introduction to clinical gnathology: textbook. — Moscow: Sechenov University, 2013. — Pp. 70—74 (In Russian)].
7. Le C., et al. Automatic segmentation of mandibular ramus and condyles. — *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* — 2021; 2021: 2952—2955. [PMID: 34891864](#)
8. Чхиквадзе Т.В., Рощин Е.М., Бекреев В.В. Сравнительный анализ применения виртуальных и механических артикуляторов в функциональной диагностике. — Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. — 2020; 1: 38—51. [Chkhikvadze T.V., Roschin E.M., Bekreev V.V. Comparative analysis of the application of virtual and mechanical articulators in functional diagnostics. — *RUDN Journal of Medicine.* — 2020; 1: 38—51 (In Russian)]. [eLibrary ID: 42690987](#)
9. Papaspyridakos P., et al. Digital vs conventional implant impressions: A systematic review and meta-analysis. — *J Prosthodont.* — 2020; 29 (8): 660—678. [PMID: 32613641](#)
10. Colombo M., Mangano C., Mijiritsky E., Krebs M., Hauschild U., Fortin T. Clinical applications and effectiveness of guided implant surgery: a critical review based on randomized controlled trials. — *BMC Oral Health.* — 2017; 17 (1): 150. [PMID: 29237427](#)
11. Tahmaseb A., Wismeijer D., Coucke W., Derkens W. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. — *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2014; 29 Suppl: 25—42. [PMID: 24660188](#)

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_84

М.Л. Касперович¹,к.м.н., врач — стоматолог-хирург, ортопед
В.А. Васильева²,

студентка V курса

ORCID: 0009-0006-5036-2853

В.В. Чуев²,к.м.н., доцент кафедры терапевтической
стоматологииА.А. Чуева²,аспирант кафедры ортопедической
стоматологии¹ ООО «Дента-Л Плюс»,

308009, Белгород, Россия

² НИУ БелГУ, 308015, Белгород, Россия

Апикальный периимплантит: этиология, клиническая картина и лечение

Аннотация. Апикальный периимплантит впервые был описан в 1992 г. Данное осложнение встречается нечасто и в большинстве случаев протекает бессимптомно. Однако при иммuno-супрессивных состояниях, связанных со стрессом или перенесенным острым респираторным вирусным заболеванием, симптоматика может напоминать симптомы обострения хронического периодонтита. **Цель статьи** — обзор этиологии, факторов риска возникновения, особенностей клинического течения, методов лечения и прогноза апикального периимплантита с авторскими клиническими примерами обсуждаемой патологии. На основании сведений из научной литературы и собственного клинического опыта в статье приведена навигационная схема принятия решений в зависимости от формы периимплантита. При наличии свищевого хода на фоне местных симптомов воспаления рекомендуется оперативное лечение апикального периимплантита. Механическая (шлифовка, полировка) и химическая обработка поверхности имплантата разными способами имеет успех в том случае, когда к патологическому очагу есть адекватный хирургический доступ с хорошей визуализацией поверхности имплантата и костного дефекта. В противном случае методом выбора является резекция апикальной части имплантата или его удаление. Методы направленной костной регенерации применимы только в том случае, когда у врача есть полная уверенность в том, что поверхность имплантата не инфицирована после механической и химической обработки.

Ключевые слова: периимплантит, апикальный периимплантит, лечение периимплантита

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Касперович М.Л., Васильева В.А., Чуев В.В., Чуева А.А. Апикальный периимплантит: этиология, клиническая картина и лечение. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 84—90.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_84

Apical perimplantitis: etiology, clinic and treatment

Summary. Apical peri-implantitis was first described in 1992. This complication does not occur often and is asymptomatic in most cases. However, when immunosuppressive conditions occur associated with stress or a previous acute respiratory viral disease, the symptoms may resemble those of exacerbation of chronic periodontitis. The purpose of the article was to review the etiology, risk factors, features of the clinical course, treatment methods and prognosis of apical peri-implantitis with the author's clinical examples of the pathology discussed. Based on data from reference sources and our own clinical experience, the article provides a navigational decision-making scheme depending on the form of peri-implantitis. In the presence of a fistula tract, against the background of local symptoms of inflammation, surgical treatment of apical peri-implantitis is recommended. Mechanical (grinding, polishing) and chemical treatment of the implant surface in various ways is Hsu when there is adequate surgical access to the pathological focus with good visualization of the implant surface and bone defect. Otherwise, the treatment of choice is resection of the apical part of the implant or removal of the implant. Methods of guided bone regeneration are applicable only when the doctor is completely confident that the surface of the implant is not infected.

Key words: perimplantitis, apical perimplantitis, treatment of pereimplantitis

FOR CITATION:

Kasperovich M.L., Vasilyeva V.A., Chuev V.V., Chueva A.A. Apical perimplantitis: etiology, clinic and treatment. A systematic review and clinical cases. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 84—90 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_84

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на возможности современной имплантологии, многообразие методик по сохранению параметров альвеолярных отделов челюстей, возможности немедленной имплантации с непосредственной нагрузкой в сочетании с разнообразными методиками аугментации остаются риски послеоперационных осложнений в ближайшем и отдаленном периоде.

Планирование имплантологического лечения включает оценку количества и качества кости и мягких тканей, соматического статуса пациента, выявление всех возможных факторов риска. При частичной адентии неконтролируемые заболевания пародонта соседних зубов и близость их корней к имплантатам являются серьезными факторами риска, приводящими к перииимплантиту.

Кроме того, важное значение имеет соблюдение правил асептики и антисептики, а также технические нюансы в работе врача — стоматолога-хирурга, своевременная замена хирургического инструментария и достаточное охлаждение при препарировании ложа под имплантат.

Апикальный перииимплантит как одно из множества осложнений был описан B.S. McAllister и соавт. (1992). Данное осложнение встречается нечасто и в большинстве случаев протекает асимптоматично. Прогрессирование апикального перииимплантита может привести как к девитализации соседних зубов, так и к значительной потере костной ткани, что ухудшает условия для последующей имплантации в тех случаях, когда необходимо удаление имплантата [1].

По данным ретроспективного исследования M. Quigupen и соавт. (2005), на основании анализа 539 установленных имплантатов частота возникновения апикального перииимплантита составляет 1,6% на верхней челюсти и 2,7% на нижней [2]. Однако эти данные варьируются, есть сторонники противоположного мнения о большей частоте встречаемости на верхней челюсти.

В связи с разрозненными терминологическими предпочтениями будем придерживаться следующего определения. Апикальный перииимплантит — это инфекционно-воспалительное заболевание перииимплантных тканей в области верхушки интегрированного имплантата. Ключевой признак — отсутствие остеоинтеграции только в апикальной части имплантата.

Близость корней зубов к имплантату всегда сопряжена с рисками повреждения корня или наличием на верхушке корня очага воспаления, который может контактировать, прямо или опосредованно, с верхушкой имплантата. Также имеет значение наличие хронического воспаления верхнечелюстных пазух и близкого к ним расположения верхушек имплантатов.

В литературе есть случаи (К.Т. Kim и соавт., 2019), когда эндодонтическое лечение зуба, находящегося рядом с имплантатом с признаками апикального перииимплантита, проводили без удаления имплантата [3], не стоит игнорировать наличие периапикальных очагов

деструкции у зубов, стоящих рядом с имплантатом, на этапе планирования лечения [4].

Суммируя сведения, представленные в литературе, можно указать на наиболее вероятные и распространенные причины возникновения апикального перииимплантита [3, 5–8]. К ним относятся:

- контаминация поверхности имплантата в процессе установки;
- перегрев кости;
- чрезмерная компрессия при установке имплантата;
- функциональная перегрузка имплантата;
- наличие ранее существовавшей инфекционной патологии в зоне имплантации;
- наличие остаточных фрагментов корня и пломбировочного материала;
- имплантация на верхней челюсти с наличием патологии верхнечелюстных пазух;
- плохое качество кости (остеопороз);
- отсутствие биосовместимости (примеси несовместимых элементов сплава — никеля, хрома, кобальта, алюминия, ванадия и др.) и токсичность титана;
- повреждение корня рядом стоящего зуба во время имплантации с последующей девитализацией.

Стоит особо выделить случайную имплантацию эпителия слизистой полости рта при безлоскутной операции. В данном сообщении авторы назвали патологию новой, хотя она уже была описана другими авторами несколькими годами ранее. Очевидна целесообразность хирургического доступа с откидыванием лоскута или с использование мукотомов.

В связи с этим необходимо ранжировать послеоперационный период с фокусом на локальные клинические проявления периапикального процесса:

- асимптоматическое течение;
- асимптоматическое с формированием свищевого хода в проекции верхушки имплантата;
- симптоматическое, без местных признаков воспаления, но сопровождающееся ноющими болями в области верхушки имплантата;
- симптоматическое с местными признаками воспаления, схожими с обострением периодонтита.

В исследовании A. Ramanauskaite и соавт. (2016) представлены виды клинических проявлений апикального перииимплантита, обнаруженных у 44 пациентов по данным ретроспективного анализа (табл. 1) [9]. По мнению авторов, чаще всего апикальный перииимплантит проявлялся свищевым ходом или сообщением

Таблица 1. Виды клинических проявлений апикального перииимплантита
Table 1. Symptoms of Apical perimplantitis

Симптом, фактор риска	Общее количество случаев		На верхней челюсти		На нижней челюсти	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Абсцесс	4	9,1	1	3,6	3	18,8
Сообщение с гайморовой пазухой или наличие свищевого хода	21	47,7	18	64,3	3	18,8
Отек	10	22,7	7	25,0	3	18,8
Боль	15	34,1	9	32,1	6	37,5
Подвижность имплантата	3	6,8	2	7,1	1	6,3

с верхнечелюстными синусами, болью и отеком. Количество клинических случаев на верхней челюсти было значимо больше, чем на нижней, что не согласуется с данными M. Quirynen и соавт. (2005) и нуждается в уточнении [2].

По данным A. Ramanauskaite и соавт., самыми частыми факторами риска являлись:

- **соседние с имплантатом зубы с эндодонтической патологией или незавершенным эндодонтическим лечением;**
- **имплантация в позицию зубов, которые были удалены по поводу периапикальной патологии;**
- **имплантация в позицию ранее удаленного имплантата;**
- **направленная тканевая регенерация перед установкой имплантатов также является значимой причиной возникновения апикального периимплантита.**

Резюмируя данные A. Ramanauskaite и соавт., можно сказать, что этиология апикального периимплантита чаще всего инфекционная. Схема принятия решений, направленная на ведение пациентов с апикальным периимплантитом в соответствии с возможной этиологией и симптомами заболевания, может быть полезным инструментом при лечении данной патологии. При этом важны оценка риска и учет формирующих факторов (табл. 2).

Таким образом, цель данного исследования — обзор литературных данных об апикальном периимплантите, а также описание некоторых особенностей течения заболевания на примере нескольких собственных клинических случаев.

КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ

Пациенты, клинические случаи которых описаны ниже, в течение 2021–2024 гг. проходили лечение в стоматологической клинике «Дента-Л Плюс» (Белгород). Данные были получены в соответствии с информированным добровольным согласием на фотопротокол, диагностику и лечение, а также благодаря обезличиванию сведений, представляющих врачебную тайну.

Клинический случай 1

Пациент К., 69 лет, с полной вторичной адентией верхней челюсти, частичной вторичной адентией нижней челюсти и хроническим пародонтитом обратился в клинику для комплексной стоматологической реабилитации.



Рис. 1. ОПТГ пациента К., 69 лет
Fig. 1. OPTG of patient K., 69 years old

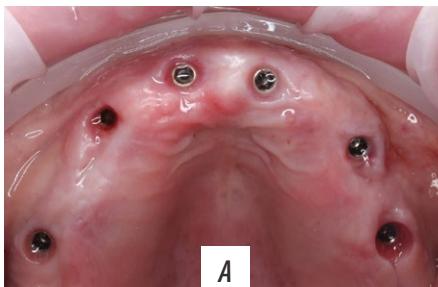


Рис. 2. Состояние через 14 дней после установки формирователей десны (A) и временный армированный протез (B)



Fig. 2. Condition 14 days after installation of gum shapers (A) and temporary reinforced prosthesis (B)

Таблица 2. Факторы риска возникновения апикального периимплантита

Table 2. Possible Risk Factors of Apical perimplantitis

Возможные факторы риска	Количество случаев	
	абс.	%
Соседние зубы с эндодонтической патологией, неполное эндодонтическое лечение	14	31,8
Удаление зуба из-за периапикальной патологии	15	34,1
Немедленная имплантация	2	4,5
Травма перед удалением зуба	7	15,9
Направленная регенерация костной ткани перед установкой имплантата	8	18,2
Удаление имплантата	15	34,1

На этапе диагностики на верхней челюсти были выявлены в области 1.5 — фрагмент корня зуба с признаками парарадикулярной деструкции кости и в зоне 2.3 и 2.4 объемная область деструкции одонтогенной этиологии (рис. 1). После консервативного пародонтологического лечения и снятия старых несостоятельных металлокерамических реставраций на нижней челюсти был изготовлен временный мостовидный протез с опорой на зубы нижней челюсти, установлены имплантаты на нижней челюсти в область отсутствующих первых моляров и 6 имплантатов на верхней челюсти.

В ходе операции под инфильтрационной анестезией 4%-ным артикаинсодержащим местным анестетиком с вазоконстриктором 1 : 100 000 корень и киста на верхней челюсти были удалены, костные дефекты заполнены депротеинизированным гидроксиапатитом биологического происхождения «Биопласт Дент паста» («Владимир», Белгород). Установлены дентальные имплантаты SICmax (SIC Invent, Швейцария). Немедленная нагрузка не проводилась ввиду низкого качества нативной кости (IV тип) и низкого торка (10–15 Н·см). Последопародонтальный период протекал без особенностей. На контрольные осмотры в течение 4 месяцев пациент не являлся.

Через 4 месяца были установлены формирователи десны, а еще через 2 недели — временный протез с винтовой фиксацией на верхней челюсти (рис. 2, 3).

На этапе снятия оттисков для постоянного протезирования верхней челюсти в области верхушки имплантата в зоне 1.6 визуализируется папула на гиперемированном основании слизистой оболочки нёба. Пациент



Рис. 3. Состояние слизистой через 4 месяца использования временного протеза
Fig. 3. The condition of the mucous membrane after 4 months of using a temporary prosthesis



Рис. 4. Установка индивидуальных абдоментов (A) и фиксация протеза из диоксида циркония (B)
Fig. 4. Installation of individual abutments (A) and fixation of a zirconium dioxide prosthesis (B)



Fig. 4. Installation of individual abutments (A) and fixation of a zirconium dioxide prosthesis (B)

жалоб не предъявлял, предположил травматический характер образования на слизистой нёба накануне приема. Решение о постоянном протезировании было принято по настоятельной просьбе пациента. Было ошибкой не выполнить рентген-диагностику перед постоянным протезированием.

Индивидуальные циркониевые абдоменты (рис. 4A), циркониевые коронки, облицованные керамикой (рис. 4B), зафиксированы на модифицированный композитом сте-



Рис. 5. Выраженный очаг деструкции с преимущественным поражением небной стенки (A) и с вовлечением 1/2 длины апикальной части имплантата (B)
Fig. 5. A pronounced lesion with a predominant lesion of the palatine wall (A) and involving 1/2 of the length of the apical part of the implant (B)



Fig. 5. A pronounced lesion with a predominant lesion of the palatine wall (A) and involving 1/2 of the length of the apical part of the implant (B)

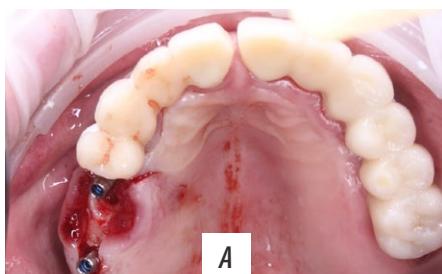


Рис. 6. Демонтаж коронки 1.6 (A), имплантат 1.6. удален (B), установлены имплантаты в области 1.5. и 1.7 (C)
Fig. 6. Crown removal 1.6 (A), implant 1.6. removed (B), implants installed in area 1.5. and 1.7 (C)

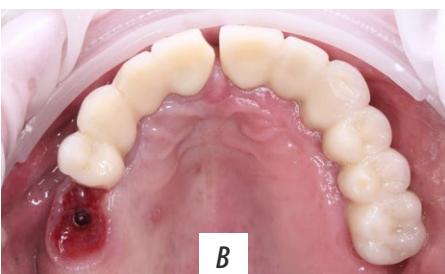


Fig. 6. Crown removal 1.6 (A), implant 1.6. removed (B), implants installed in area 1.5. and 1.7 (C)



клиономерный цемент «Ультрацем». На контрольный осмотр через 14 дней пациент не явился.

Через 6 месяцев после фиксации постоянной конструкции пациент обратился с жалобами на боли в проекции имплантата 1.6. На конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) выявлен очаг деструкции (рис. 5).

Было принято решение об удалении имплантата 1.6 с одномоментной установкой имплантатов в позицию зубов 1.5 и 1.7 (рис. 6). Имплантат 1.6 был удален со значительным усилием, с помощью экстрактора, что подтвердило его частичную интеграцию в корональной части. Через 4 месяца повторно выполнено постоянное протезирование аналогичными ранее установленными конструкциями с цементной фиксацией (рис. 7).

Клинический случай 2

Пациент Г., 35 лет, обратился в клинику для лечения вторичной адентии зуба 2.2.

Из анамнеза: 2 года назад зуб 2.2 был удален после безуспешного повторного эндодонтического лечения (ранее пациент наблюдался в другой клинике).



Рис. 7. Примерка циркониевых коронок на индивидуальных циркониевых абдоментах (A) и общий вид реставрации (B), диастема создана по просьбе пациента
Fig. 7. Fitting of zirconium crowns on individual zirconium abutments (A) and the general view of the restoration (B), the diastema is created at the request of the patient



Fig. 7. Fitting of zirconium crowns on individual zirconium abutments (A) and the general view of the restoration (B), the diastema is created at the request of the patient

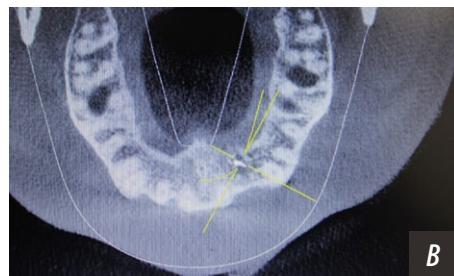


Рис. 8. Рентгенодиагностика пациента Г., 35 лет: А — panoramicный снимок; В — рентгеноконтрастный пломбировочный материал зоны деструкции кости на КЛКТ; С — нёбное расположение очага деструкции с остатками пломбировочного материала



Рис. 9. Временная (А) и постоянная коронка зуба 2.2 (Б)
Fig. 9. Temporary (A) and permanent tooth crowns 2.2 (B)



Рис. 10. Контрольный снимок сразу после имплантации (А) и состояние через 1,5 года после постоянного протезирования (Б)
Fig. 10. Control image immediately after implantation (A) and 1.5 years after permanent prosthetics (B)



Рис. 11. Ревизия очага деструкции с извлечением пломбировочного материала (А) и хирургический доступ к очагу воспаления (Б)
Fig. 11. Revision of the lesion site with removal of the filling material (A) and surgical access to the inflammation site (B)

Fig. 8. X-ray diagnosis of patient G., 35 years old: A — panoramic image; B — radiopaque filling material for bone destruction on CBCT; C — palatine location of the destruction site with remnants of filling material

На этапе рентгенодиагностики был выявлен фрагмент пломбировочного материала в проекции верхушки отсутствующего зуба 2.2 (рис. 8). Пациент жалоб не предъявлял. Было принято решение об установке имплантата.

Под инфильтрационной анестезией 4%-ным артикаинсодержащим местным анестетиком с вазоконстриктором 1:100 000 проведена операция дентальной имплантации

SiCmax с немедленной нагрузкой, временная коронка из композита выведена из прикуса во избежание окклюзионной перегрузки (рис. 9А). Через 3,5 месяца выполнено постоянное протезирование циркониевой коронкой (рис. 9Б).

Спустя 1,5 года после постоянного протезирования пациент обратился с жалобами на боли в области верхушки имплантата, выполнена внутриторовая радиовизиография (рис. 10).

Было принято решение о ревизии воспалительного очага и апикального участка имплантата с его возможной резекцией.

С помощью ультразвукового пьезохирургического аппарата и инструментов выполнен доступ к апикальной части имплантата и очагу деструкции (рис. 11) с вестибулярной стороны. Механическая обработка поверхности верхушки имплантата проведена с помощью



Рис. 12. Дефект кости заполнен гидроксиапатитом (А). Рентгенограмма через 14 дней после операции (Б)
Fig. 12. The bone defect is filled with hydroxyapatite (A). X-ray 14 days after surgery (B)

никель-титановых щеток, выполнена воздушно абразивная обработка эритритолом 14 мкм, медикаментозная обработка гелем 2%-ного хлоргексидина «Энда-септ» («Владмива») и гелем 15%-ного ЭДТА «Эндогель» («Владмива»). Аугментация костного дефекта депротеинизированным гидроксиапатитом биологического происхождения «Биопласт Дент паста» («Владмива»; рис. 12А) и резорбируемой мембраной «Биопласт Дент» («Владмива»). Послеоперационный период без осложнений, прогноз благоприятный (рис. 12В).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

В зависимости от формы патологии врач-стоматолог должен принять решение о наиболее предпочтительной методике.

При асимптоматическом течении заболевания, без наличия свищевого хода и признаков воспаления, показано динамическое наблюдение в виде рентгенологического контроля каждые 12 месяцев. Некоторые авторы, например J. Waasdorp и M. Reynolds (2010), предложили

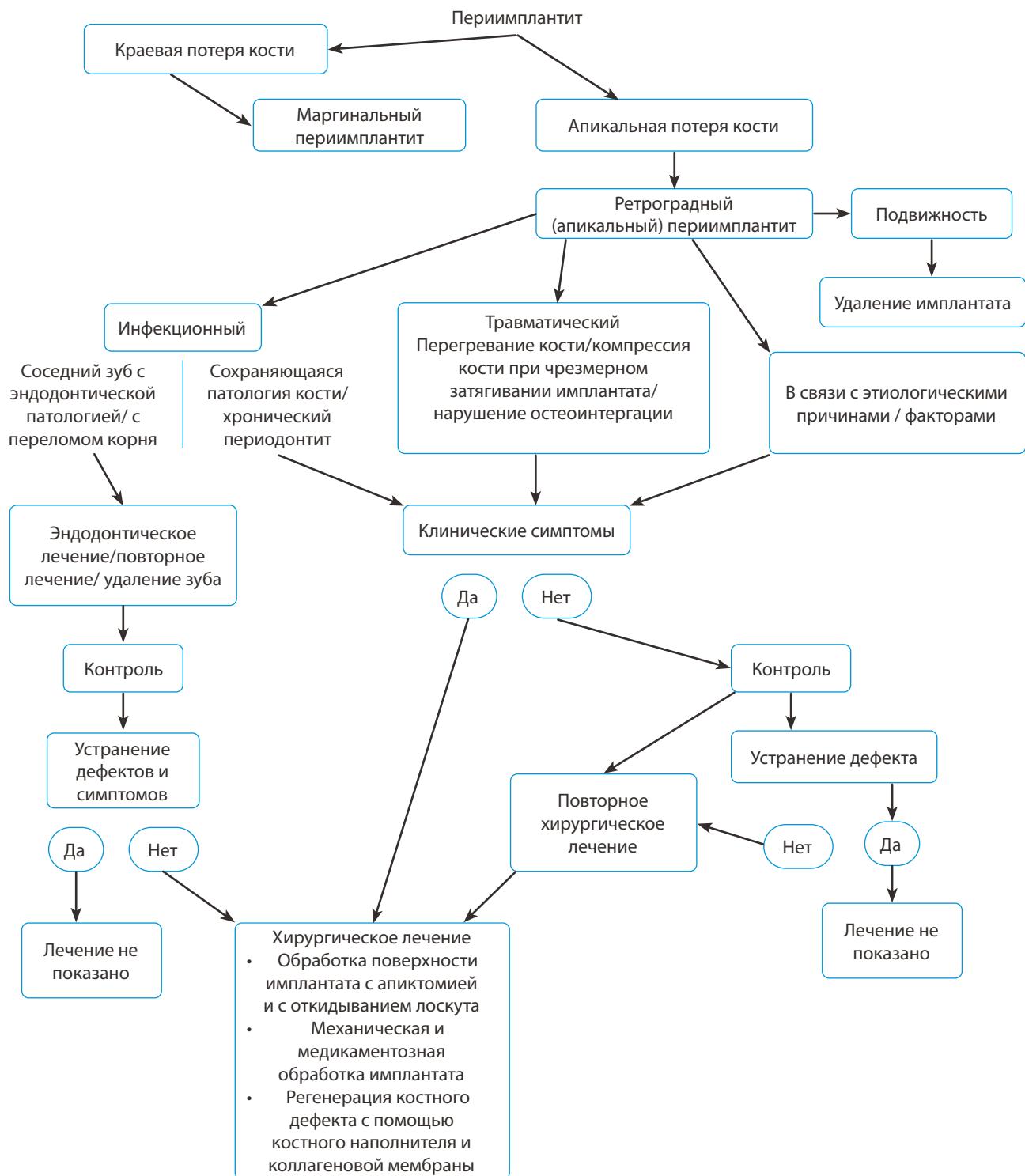


Рис. 13. Схема лечения апикального периимплантита
Fig. 13. Treatment regimen for apical periimplantitis

10-дневную терапию 500 мг амоксициллина 3 раза в день. В приведенных авторами клинических случаях через 11 месяцев рентгенологические признаки апикального периимплантита отсутствовали [10]. При наличии свищевого хода на фоне местных симптомов воспаления рекомендуется оперативное лечение апикального периимплантита [11].

Механическая (шлифовка, полировка) и химическая обработка поверхности имплантата разными

способами имеет успех в том случае, когда к патологическому очагу есть адекватный хирургический доступ с хорошей визуализацией поверхности имплантата и костного дефекта. В противном случае методом выбора является резекция апикальной части имплантата или удаление имплантата. Методы направленной костной регенерации применимы только в том случае, когда у клинициста есть полная уверенность в том, что поверхность имплантата не инфицирована.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стоматологам-хирургам в повседневной клинической практике следует помнить о причинах возникновения апикального периимплантита и учитывать ряд мер для профилактики его возникновения (рис. 13):

- тщательная диагностика и планирование лечения;
- соблюдение правил асептики и антисептики;
- санирование полости рта перед имплантацией;
- своевременная замена инструментария во избежание перегрева кости во время препарирования ложа;
- тщательное соблюдение хирургического и ортопедического протокола;

- своевременная рентгенологическая диагностика при появлении первых симптомов осложнений в ближайшем и отдаленном периоде;
- систематические плановые осмотры в отдаленном постоперационном периоде.

Важным аспектом имплантологического лечения служит заблаговременное информирование пациента о возможных осложнениях и методах их устранений.

Поступила/Received: 25.11.2024

Принята в печать/Accepted: 25.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. McAllister B.S., Masters D., Meffert R.M. Treatment of implants demonstrating periapical radiolucencies. — *Pract Periodontics Aesthet Dent.* — 1992; 4 (9): 37—41. [PMID: 1308162](#)
2. Quirynen M., Vogels R., Alsaadi G., Naert I., Jacobs R., van Steenberghe D. Predisposing conditions for retrograde peri-implantitis, and treatment suggestions. — *Clin Oral Implants Res.* — 2005; 16 (5): 599—608. [PMID: 16164468](#)
3. Kim K.T., Eo M.Y., Nguyen T.T.H., Kim S.M. General review of titanium toxicity. — *Int J Implant Dent.* — 2019; 5 (1): 10. [PMID: 30854575](#)
4. Chaffee N.R., Lowden K., Tiffee J.C., Cooper L.F. Periapical abscess formation and resolution adjacent to dental implants: a clinical report. — *J Prosthet Dent.* — 2001; 85 (2): 109—12. [PMID: 11208196](#)
5. Albrektsson T., Chrcanovic B., Mölne J., Wennerberg A. Foreign body reactions, marginal bone loss and allergies in relation to titanium implants. — *Eur J Oral Implantol.* — 2018; 11 Suppl 1: S37—S46. [PMID: 30109298](#)
6. Bousdras V., Aghabegi B., Hopper C., Sindet-Pedersen S. Management of apical bone loss around a mandibular implant: a case report. — *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2006; 21 (3): 439—44. [PMID: 16796288](#)
7. Cordioli G., Majzoub Z. Heat generation during implant site preparation: an in vitro study. — *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 1997; 12 (2): 186—93. [PMID: 9109268](#)
8. Dahlén G., Samuelsson W., Molander A., Reit C. Identification and antimicrobial susceptibility of enterococci isolated from the root canal. — *Oral Microbiol Immunol.* — 2000; 15 (5): 309—12. [PMID: 11154422](#)
9. Ramanauskaitė A., Juodzbalys G., Tözüm T.F. Apical/retrograde periimplantitis/implant periapical lesion: Etiology, risk factors, and treatment options: A systematic review. — *Implant Dent.* — 2016; 25 (5): 684—97. [PMID: 27579555](#)
10. Waasdorp J., Reynolds M. Nonsurgical treatment of retrograde peri-implantitis: a case report. — *Int J Oral Maxillofac Implants.* — 2010; 25 (4): 831—3. [PMID: 20657882](#)
11. Zhou Y., Cheng Z., Wu M., Hong Z., Gu Z. Trepanation and curettage treatment for acute implant periapical lesions. — *Int J Oral Maxillofac Surg.* — 2012; 41 (2): 171—5. [PMID: 22000955](#)

Клипдент-МК губка

- › с фосфатом кальция
- › с депротеинизированной ксеногенной крошкой

биоактивная и биорезорбируемая губка на основе фосфата кальция и коллагена 1-го типа

предназначена для консервации постэкстракционных лунок и других костных дефектов

Преимущества

- › безопасна и клинически эффективна
- › сохраняет объём костных и мягких тканей, предотвращает их атрофию
- › полностью резорбируется в течение 3-6 месяцев
- › трехмерный матрикс для роста тканей



1



2



3



DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_92

S.A. Razzaq¹,

BSC, MSc, lecturer of the Pharmacology and toxicology Department at the College of Pharmacy

N.A. Nasir²,

DDS, MSc, assistance lecturer of the Clinical sciences Department at the College of Dentistry

K.A. Al-Salihi²,

BVD, MSc, PhD, professor of the Basic science Department at the College of Dentistry, head of scientific and ethical committee

¹ Al-Muthanna University,
87QQ+3VG, Samawah, Iraq² Al-Iraqia University,
9985+CRP, Baghdad, Iraq**FOR CITATION:**Razzaq S.A., Nasir N.A., Al-Salihi K.A. Extraction and evaluation of eugenol from *Syzgium aromaticum* as topical anesthetic for toothaches. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 92—97.
DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_92С.А. Развак¹,
преподаватель кафедры фармакологии и токсикологии Колледжа фармацевтики
Н.А. Насир²,доктор стоматологии, доцент кафедры
клинической стоматологииК.А. Аль-Салихи²,
доктор наук, профессор кафедры
фундаментальных наук Колледжа
стоматологии, председатель научно-
этнического комитета¹ Университет Аль-Мутанна,
87QQ+3VG, Эс-Самава, Ирак² Иракский университет,
9985+CRP, Багдад, Ирак**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**Развак С.А., Насир Н.А., Аль-Салихи К.А. Извлечение и оценка эвгенола из *Syzgium aromaticum* в качестве местного анестетика при зубной боли. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 92—97.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_92

Extraction and evaluation of eugenol from *Syzgium aromaticum* as topical anesthetic for toothaches

Abstract. Objective — this study intends to extract and identify the eugenol from *Syzgium aromaticum* and evaluate its analgesic effects in laboratory animals and clinically in volunteer patients suffering from toothaches. **Materials and methods.** Direct stem distillation was used to extract eugenol from cloves, followed by chemical extractions. The extracted products were identified by thin-layer chromatography (TLC) and ¹H NMR spectroscopy, and tested clinically in 51 volunteer patients suffered from acute toothache. Those patients was divided into 3 equal groups: patients of the first (control) group (G1) was given the hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) gel mixed with distilled water — placebo; patients of the second group (G2) received the prepared clove gel — eugenol previously extracted (2% in HPMC); patients of the third group (G3) received commercial "Orajel" containing benzocaine 10%. The patients were advised to apply a small amount of gel the size of a chickpea into the tooth cavity or the toothache area. **Results.** Eugenol was extracted as bright yellow oil (about 2.02 g, 5% recovery) with a solid particular clove smell from the clove. TLC revealed various Rf value spots ranging between 0.6 and 0.9. The ¹H NMR spectroscopy showed various analysis data, including 3.28—3.32 (3H), 5.5 (1H, C=C—H), 5.9 (aromatic 2H), and 6.6 (aromatics). All patients in G1 exhibited continuous toothache pain. In contrast, within G2 and G3, 14 (82%) and 15 (88%) of subjects, respectively, reported a reduction in toothache intensity within a 5-minute timeframe. The majority of patients in both G2 and G3, 13 (76%) and 12 (71%) patients, respectively, experienced a duration of pain relief of 72 hours. **Conclusion.** Clove-extracted products are as effective as benzocaine when used as intraoral topical anesthesia. The authors recommend future studies to investigate the analgesic effects mechanism of clove extract.

Key words: clove, eugenol, *Syzgium aromaticum*, toothaches, topical

Извлечение и оценка эвгенола из *Syzygium aromaticum* в качестве местного анестетика при зубной боли

Аннотация. Цель — извлечение и идентификация эвгенола из *Syzygium aromaticum* и оценка его анальгетического действия на лабораторных животных и клинически на пациентах-добровольцах, страдающих зубной болью. **Материалы и методы.** Для получения эвгенола из гвоздики использовали прямую перегонку стебля с последующей химической экстракцией. Извлеченные продукты были идентифицированы с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ) и ЯМР-спектроскопии и протестированы клинически на 51 пациенте-добровольце с острой зубной болью. Пациенты были разделены на 3 равные группы: в I (контрольной) применяли водный гель гидроксиметилцеллюлозы (плацебо); во II — полученный эвгенол (2% в геле гидроксиметилцеллюлозы); в III пользовались 10%-ным бензокайновым гелем Orajel. **Результаты.** Эвгенол был извлечен из гвоздики в виде ярко-желтого масла (около 2,02 г, выход 5%) с твердым специфическим запахом гвоздики. ТСХ выявила различные пятна со значением Rf в диапазоне от 0,6 до 0,9. ЯМР-спектроскопия показала различные пики, включая 3,28—3,32 (3Н), 5,5 (1Н, C=C—H), 5,9 (ароматический 2Н) и 6,6 (ароматическое кольцо). У всех пациентов I группы наблюдалась постоянная зубная боль. Напротив, во II и III группе 14 (82%) и 15 (88%) субъектов соответственно сообщили об уменьшении интенсивности зубной боли в течение 5 минут. У большинства пациентов как во II, так и в III группе, 13 (76%) и 12 (71%) человек соответственно, облегчения боли продолжалось в течение 72 ч. **Заключение.** Продукты, извлеченные из гвоздики, так же эффективны, как бензокайн, при использовании в качестве интраоральной местной анестезии. Авторы рекомендуют провести будущие исследования для изучения механизма анальгетического действия экстракта.

Ключевые слова: гвоздика, эвгенол, *Syzygium aromaticum*, зубная боль, местное применение

INTRODUCTION

Syzygium aromaticum (syn. *Eugenia caryophyllata*) comes from the Greek word “καρυόφυλλον” and is called as Clove in English language, and Qaranful in Arabic language. Clove is imported from Amboina, Honimoa, Moussalaut, and Celebes to India. Then, a native Indian doctor used Clove as an aromatic. Consequently, many western parts of the Archipelago of India were cultivated clove. Al-Kindi was the first pioneer to use the Clove in a nosh-dārū electuary, in a dentifrice to treat rotting teeth and bad breath, in a collyrium, as a drug to strengthen breathing, and in stomachics. In Iraq and Iran, for centuries, clove has been used as a carminative and stimulant to relieve irritation of the throat, while its oil is used to relieve headache and toothache. Moreover, clove is imported from Molucca and Sumatra in Egypt and is also used as carminative and aromatic.

Eugenia caryophyllata is traditionally called clove herb. It is classified within the Myrtaceae family – the dried flower of Clove known for its wealthy components, such as potent antimicrobials and antioxidants [1]. Clove essential oil (CEO) mainly comprises phenylpropanoids called eugenol derivatives and low humulene and caryophyllene chemical constituents. Many scientists worldwide reported that CEO's biological constituents have antioxidant, antibacterial, antifungal, antiseptic, pesticide, analgesic, and anticarcinogenic activity [2]. Consequently, CEO is used in food [3], biomedical [4], packaging, sanitary, cosmetic, and pharmaceutical industries [5]. A low CEO concentration is accepted as a secure anesthetic in vertebrates [6], and invertebrates. Clove oil has shown a potential effects for treating vaginal candidiasis and neuropathic pain. The FDA considers Clove oil safe (GRAS) in food additives and dental cement. The synthesis of prostaglandins is assumed to be inhibited by clove oil, which lowers painful symptoms [7].

Traditionally, cloves are used as seasoning in cooking. On the other hand, it is a topical remedy for treating toothache as it contains eugenol. This oil liquid is used in dentistry for analgesic and antiseptic properties. The effects of eugenol, iso-eugenol, and vanillin have been approved by some researchers. In India, Clove has a multi-medical purpose. It is used to manage blood disorders, thirst, vomiting, pain, hiccups, and abdominal distension. It has also been used to beat toothache and tooth-related troubles for more than a decade by most Indian families [8].

Dental pain occurs around a tooth and is caused by abscesses of the tooth, tooth fractures, tooth decay, damaged filling, and repetitive motion, like grinding teeth and chewing gum. Tooth pain can be a constant or sharp pain, and it is sometimes very confusing to recognize if it comes from the lower or upper jaw or if it even feels like it originates from the ear. The most common type of toothache is severe orofacial pain, referred to as a dental emergency. The tooth is built of outer hard calcified tissues (enamel layer followed by dentin and cementum) and the inner soft tissue core (the pulp system). The typical sensation exhibited by gum and teeth is sharp and lasting as long as the stimulus. There is a distinction between normal physiological sensation and pain

in disease. Pain is defined as unpleasant emotional and sensory experiences originating from peripheral stimuli and continuing physiological processes resulting in pain perception. The odontogenic pain or toothache is a compound mechanism comprising numerous pathways that lead to the sensation of pain [9]. In the case of toothache, the brain and spinal cord receive signals from destructive stimuli. These stimuli include thermal, mechanical, and chemical, which deal with dental pulp and periodontal pain. In the case of dental caries, inflammatory mediators such as prostaglandins, bradykinin, and cytokines are released, amplifying the pain response by sensitizing nociceptors and lowering their activation. However, in the case of dental pulp and dentine sensitivity, the hypodynamic theory is more accepted, which is based on changes in fluid flow in dentinal tubules due to external stimuli and leading to activation of dental pulp nerve ending and starting pain [10]. Pulpal inflammation (pulpitis), neurogenic inflammation, periodontal ligament and surrounding tissue (tension, pressure, and inflammation), and central sensitization are all stimulate toothache. The pain mechanism is transmitted via myelinated and unmyelinated cranial nerve fibers of the trigeminal nerve [10].

The major constituent of clove essential oil is eugenol, a phenylpropanoid officially derived from guaiacol through an allyl chain substituted para to the hydroxy group. Its molecular formula is $C_{10}H_{12}O_2$ (fig. 1) [11].

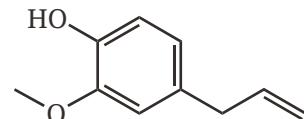


Fig. 1. Chemical structure of eugenol

Clove oil offers the greatest value for toothaches because it has natural analgesic, antiseptic, and antibacterial properties. Consequently, it was used in the preparation of some toothpaste and a local anesthesia, the Clovacaine solution, applied for oral ulceration and inflammation.

A literature review revealed no publications regarding the investigation of clove (*Syzygium aromaticum*) as an anesthetic agent in Iraq. The null hypothesis in this study is the clove extracted eugenol has no significant effect compared to benzocaine the standard anesthetics in offering local anesthesia. Therefore, the purpose of this study was to extract and identify eugenol from *Syzygium aromaticum* and evaluate its effectiveness as topical anesthetic for ameliorating toothaches.

MATERIALS AND METHODS

All methods were done according to the Helsinki Declaration and later amendments for human research. Before attending this study, the patients received complete information about the type and aims of the research and henceforth signed an informed consent form. This study has been approved by the ethical and research committee (ESA & HER-04-29-074-24).

Preparation and extraction of active clove substance (Eugenol)

Cloves were purchased from an herbal shop in Al-Shorja marketing area (a famous local market in the heart of Baghdad city). The purchased clove was a dried flowering bud. Initially, the dried clove was selected and washed with water to remove unwanted particles such as dust. Then, they ground to fine powder with a Cardamom grain grinder to increase the Extraction of clove active ingredients. Then, clove powder was kept in sterile plastic bags and stored at 2–8°C until further processing.

The extraction and identification of eugenol from clove were done according to the method described previously by DeFrancesco (2021) [11]. The extraction procedure started by placing 40 grams of clove fine powder in a 1000 ml round bottom volumetric flask containing 600 ml of distilled water and connected to the distillation apparatus. Then, the flask was distilled intensely by Bunsen burner until 300 ml of yellow oily solution (S1) was accumulated. Subsequently, a chain of chemical extraction was done. The S1 was kept in a separating funnel, and 50 ml of dichloromethane was added and stirred well in a magnetic stirrer to prepare solution 2 (S2). Then, S2 was allowed to settle, and two different layers formed. The organic lower layer (OLL) was colorless, while the cloudy upper layer (CUL) was aqueous. The OLL was transferred into a 500 ml conical volumetric flask. Then, 50 ml of dichloromethane was added to S1 and shaken well. Again, two layers appeared, and the oil was collected and

placed into the same volumetric flask with the previously collected organic layer. At the same time, the CUL was kept in another 500 ml volumetric flask. Afterward, the OLL was transferred into a clean separating funnel, and 40 ml of 10% NaOH solution was added to separate the eugenol acetate; then, to collect all probable eugenol acetate, more than 40 ml of 10% sodium hydroxide was added.

The CUL or aqueous layer kept in a volumetric flask was acidified to a pH of less than 2 by adding concentrated HCl. The pH was estimated using blue litmus paper; it turned red if the solution was adequately acidified. The aqueous layer was washed with sodium half-saturated chloride solution. Finally, 50 ml dichloromethane was added to the collected OLL, and the solution was dried with magnesium sulfate and filtrated over a filter paper. The solvent was evaporated at 60°C using a rotary evaporator to leave light yellow oil, pure eugenol.

The oil solution smelled solid and spicy.

The collected product was identified by thin-layer chromatography (TLC) using dichloromethane as an elution solvent. The *R*_f (retardation factor) value was estimated between 0.6 and 0.9. ¹H NMR spectroscopy was also used to characterize the extracted eugenol at room temperature in the absence of light; it was prepared in CDCl₃ according to the method described by [12].

Clinical evaluation of clove oil extract anesthetic effects topically in volunteers with toothache

Fifty-one volunteer patients participated in this study during the period extended from April 2020 to December 2020 and precisely during the COVID-19. Those patients suffered from acute toothache and could not reach the dentist's clinic because COVID-19 lockdown.

- 1) 17 patients of the first (control) group (G1) was given the hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) gel mixed with distilled water – placebo;
- 2) 17 patients of the second group (G2) received the prepared clove gel – 2% received eugenol extracted oil prepared previously was added slowly to the HPMC gel and mixed by a mechanical stirrer to avoid aggregation;
- 3) 17 patients of the third group (G3) received commercial "Orajel" containing benzocaine 10% (weight). The patients were advised to apply a small amount of gel the size of a chickpea into the tooth cavity or the toothache area.

All information regarding the eugenol-extracted oil was explained to each patient, and all patients signed the consent form while receiving the tested material. The test materials were given to the patients in gel form.

The patients were instructed to rate their pain and send feedback according to modified McGill Pain Questionnaire (MPQ) [13]. Patients' feedback was collected and recorded regarding their experience in applying treated gel and reducing the toothache pain or pain near the tooth where they require a filling. Data were presented as a mean and percentages.

Preparation and extraction procedures and clinical study are shown in fig. 2.

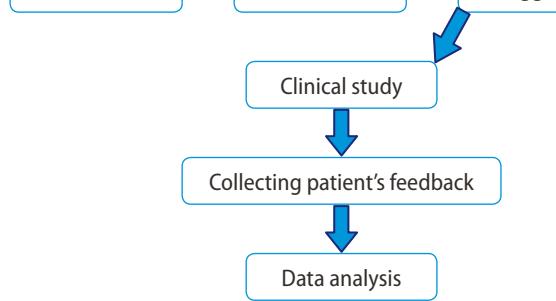


Fig. 2. Preparation and extraction procedures and clinical study

RESULTS

The clove extraction procedure was done ordinarily as the designed plan of the experiment with no unpredicted physical losses. About (2.02 g, 5% recovery) eugenol was extracted as bright yellow oil with a solid particular clove smell from 40 g of clove. The result of TLC revealed various Rf value spots ranging between 0.6 and 0.9. The ^1H NMR spectroscopy prepared in CDCl_3 showed various analysis data, including: 3.28–3.32 ppm (3H), 5.5 ppm (1H and $\text{C}=\text{C}-\text{H}$), 5.9 ppm and 6.6 ppm (aromatic H; table 1).

Table 1. Analysis of ^1H NMR data for eugenol

No	Peak at PPM	Analysis of data
1	3.28–3.32	$\text{CH}-\text{O}$ (ether)
2	5.5	$\text{C}=\text{C}-\text{H}$
3	5.9	Aromatic H
4	6.6–6.9	Aromatic H
5	6.95	CDCl_3

All recordings of the clinical study were done according to plan. In total, 255 records were recorded by 51 volunteer participants. Each participant gave 5 feedbacks for the tested agents, including the duration of reduction of toothache pain, and the lasting duration time after application. The feedbacks of patients in control group that received the gel with placebo were no relieving of pain. While, the percentages of G2 (received 2% eugenol extracted oil) and G3 (received benzocaine 10% gel) were 82% and 88% patients relieving of pain at 5 minutes (table 2).

The participants also gave feedback regarding the duration of time spent reducing toothache pain in treatment groups. The percentage of G1 was zero, while the percentages of lasting duration for G2 and G3 were 13 (76%), 2 (12%), 1 (6%) 2 (12%), and 12 (71%), 3 (17%), 1 (6%), and 1 (6%) for 72, 24, 12, and 6 hours respectively (table 3).

DISCUSSION

Due to its medicinal properties, such as antioxidants, antibacterial, and analgesic, clove has been used for centuries. Additionally, it is also used as a seasoning and food preservative. Likewise, many publications confirmed various properties of clove, such as antiviral, antibacterial, and antifungal [14]. It is also attracted researchers as a potent antioxidant activity among the other spices [15].

Clove is the primary vegetable source of phenolic compounds, and eugenol is the main bioactive component with a concentration ranging from 9.381 to 14.650 g per 100 g of fresh clove material. Clove flower buds contain up to 18% of essential oil, approximately 89% is eugenol, and 5% to 15% is eugenol acetate and β -caryophyllene. At the same time, the concentration of α -humulene is 2.1% [16]. The results of the extraction experiment of clove components by steam distillation revealed the existence of eugenol

in the clove-dried flowering bud at a concentration of 5% recovery (2.02 g from 40 g) of clove. Likewise, the extracted product was bright yellow oil with a clove's smell. These results are compatible with previously published research by Bisergaeva et al. (2021) [12], who found that eugenol was extracted as a light yellow oil with a strong smell of clove [16].

Both TLC and ^1H NMR were used in this study to identify the extracted product. The results of the current study showed that Rf value spots ranged between 0.6 to 0.9. In contrast, ^1H NMR spectroscopy results showed various peak at part per million, which included 3.28–3.32 (3H), 5.5 (1H, $\text{C}=\text{C}-\text{H}$), 5.9 Aromatic (2H), and 6.6 aromatic. These results of identification of the extracted product agree with previously reported studies [11, 12, 17, 18].

Fabry et al., (2024) prepared three essential oil from cloves; the isoeugenol was found in 2 samples and detected by ^1H NMR spectrometry. Moreover, they confirmed that using steam distillation in extraction led to sharper

Table 2. Time to onset of toothache relief in treatment groups

Time (minutes)	Group 1 (placebo, n=17)		Group 2 (eugenol extracted oil, n=17)		Group 3 (benzocaine 10%, n=17)	
	abs.	%	abs.	%	abs.	%
5	0	0	14	82	15	88
10	0	0	1	6	2	12
15	0	0	1	6	0	0
20	0	0	1	6	0	0

Table 3. Duration of pain reduction for toothache in the treatment groups

Duration (hours)	Group 1 (placebo, n=17)		Group 2 (eugenol extracted oil, n=17)		Group 3 (benzocaine 10%, n=17)	
	abs.	%	abs.	%	abs.	%
72	0	0	13	76	12	71
24	0	0	2	12	3	17
12	0	0	1	6	1	6
6	0	0	1	6	1	6

and obviously recognizable signals of isoeugenol, contrary to the spectrum of solvent extraction. They also mentioned that increasing stem distillation led to increasing concentration, and these observations are compatible with the steam distillation that used in current study for extraction of eugenol from clove [18].

In the current study, the topical anesthetic effect of clove oil extract was evaluated clinically in volunteers suffering from toothache. The results of the current study reported five feedbacks for each participant. All G1 reported negative feedback, and they said that the toothache was continuous and not relieved by using locally tested medication. However, 14 (82%) and 15 (88%) participants in G2 and G3 experienced almost immediate pain relief for toothaches. At the same time, 13 (76%) and 12 (71%) patients reported 72 hours of pain-free lasting in G2 and G3, respectively. These results revealed the capability of both clove-extracted

essential oil and Benzocaine 10% to reduce toothache in volunteers compared with G1 with placebo during the COVID-19 lockdown and block the dentist service. However, no difference was seen in the pain reduction between G2 and G3.

In this study, all volunteer participants were suffering from severe pain, and they were very willing to participate in this study and get medication to resolve their toothache pain because absence of dentistry serving during COVID-19 lockdown. In the current randomized study, the results showed that the topical application of anesthetics on the buccal fold at the pain area led to relief it. These results are compatible with previously studies that clinically evaluated the topical anesthetics agents [19–21]. Additionally, Alqareer et al. (2006) mentioned the relief of toothache by application of topical anesthesia such as the home made clove gel and benzocaine 20% gels. They concluded that both agents were capable of diminishing pain associated with needle sticks compared with a placebo [19]. Aoshima and Hamamoto (1999) approved that eugenol was repressed and potentiated *N*-methyl-*D*-aspartate (NMDA) and ionotropic γ -aminobutyric acid (GABA A) receptors respectively [22]. They also explained that eugenol depressed both A and C fibers, compounding action potentials that are important in its analgesic effects. Moreover, Yang et al. (2003) approved that the chemical structure of eugenol is similar to capsaicin, and its influence on a vanilloid receptor should be considered [23]. Other researchers also approved that eugenol inhibits Na^+ current in rat dorsal root ganglion neurons [24].

In the current study, no participant was claimed to develop ulcers or side effects from using tested agents. However, according to previous studies, all anesthetic drugs have toxicity and side effects even if applied locally. For example, some researchers reported that benzocaine causes methemoglobinemia in some endoscopy cases when used in large amounts [24]. These results encouraged the researcher to look for another topical anesthesia, such as clove extracts or eugenol.

The topical intraoral application of eugenol in low concentration led to noticeable plasma concentration, which is related to the absorption of local anesthesia and leads to limiting the dose of injected anesthesia, especially

in pediatric patients [19, 20]. Despite *Syzygium aromaticum* or clove being widely used as a spice and being found to have broad applications in alternative medicine in various countries around the world, its application at high doses may elicit adverse reactions. Some research mentioned that the extract influenced the reproductive indices in animal studies [25]. Other reports mentioned that the application of eugenol in therapeutic doses was neither implicated in causing serum enzyme elevations nor causing clinically apparent liver injury. Albeit, other publications mentioned that severe liver injury occurs with ingestion of high doses (overdose) [26]. Additionally, Alqareer et al. (2006) mentioned that 4 participants (5.4%) of their study developed small ulcers with high concentrations of eugenol. However, they also recommended future studies to evaluate the side effects of the optimal low concentration [19].

A literature review showed that clove general effects possess antiplatelet activity, inhibiting lipid peroxidation. Furthermore, researchers approved that smoked clove in cigarettes or injected intravenously can cause severe pulmonary edema, and this was not reported during topical application. However, this issue needs further investigation [26].

CONCLUSION

This study revealed that clove gel was as effective as benzocaine when used as intraoral topical anesthesia. Both experimental animal and human studies approved the analgesic effects of clove oil extract or eugenol. This suggests that dentists could consider clove extract as an effective, cheaper substitute for benzocaine in dental practice. Also, applying clove extract locally could limit the dose of injected anesthesia. The authors recommend more future studies to investigate the exact mechanism of the analgesic effects of clove extract.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank all volunteer patients who participated in this study.

Поступила/Received: 22.08.2024

Принята в печать/Accepted: 18.02.2025

REFERENCES:

- Hadidi M., Pouramin S., Adinepour F., Haghani S., Jafari S.M. Chitosan nanoparticles loaded with clove essential oil: Characterization, antioxidant and antibacterial activities. — *Carbohydr Polym.* — 2020; 236: 116075. [PMID: 32172888](#)
- El Asbahani A., Miladi K., Badri W., Sala M., Ait Addi E.H., Casabianca H., El Mousadik A., Hartmann D., Jilale A., Renaud F.N., Elaissari A. Essential oils: from extraction to encapsulation. — *Int J Pharm.* — 2015; 483 (1–2): 220—43. [PMID: 25683145](#)
- Chen X., Ren L., Li M., Qian J., Fan J., Du B. Effects of clove essential oil and eugenol on quality and browning control of fresh-cut lettuce. — *Food Chem.* — 2017; 214: 432—439. [PMID: 27507495](#)
- Aguilar-González A.E., Palou E., López-Malo A. Antifungal activity of essential oils of clove (*Syzygium aromaticum*) and/or mustard (*Brassica nigra*) in vapor phase against gray mold (*Botrytis cinerea*) in strawberries. — *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* — 2015; 32: 181—185. [DOI: 10.1016/j.ifset.2015.09.003](#)
- Sebaaly C., Jraij A., Fessi H., Charcosset C., Greige-Gerges H. Preparation and characterization of clove essential oil-loaded liposomes. — *Food Chem.* — 2015; 178: 52—62. [PMID: 25704683](#)
- Javahery S., Nekoubin H., Moradlu A.H. Effect of anaesthesia with clove oil in fish (review). — *Fish Physiol Biochem.* — 2012; 38 (6): 1545—1552. [PMID: 22752268](#)

7. Kumar Pandey V., Shams R., Singh R., Dar A.H., Pandiselvam R., Rusu A.V., Trif M. A comprehensive review on clove (*Caryophyllus aromaticus* L.) essential oil and its significance in the formulation of edible coatings for potential food applications. — *Front Nutr.* — 2022; 9: 987674. [PMID: 36185660](#)
8. Verma S.K., Garg A.K., Singh M., Panwar N., Meena M., Singh C. Evaluation of analgesic activity of *Syzygium aromaticum* W.S.R. to painful tooth. — *World Journal of Pharmaceutical Research.* — 2018; 7 (5): 827—834.
9. Marković E., Ferceć J., Šćepan I., Glišić B., Nedeljković N., Juloski J., Rudolf R. The correlation between pain perception among patients with six different orthodontic archwires and the degree of dental crowding. — *Srp Arh Celok Lek.* — 2015; 143 (3—4): 134—40. [PMID: 26012120](#)
10. Allison J.R., Stone S.J., Pigg M. The painful tooth: mechanisms, presentation and differential diagnosis of odontogenic pain. — *Oral Surgery.* — 2020; 4: 309—320. [DOI: 10.1111/ors.12481](#)
11. DeFrancesco J.V. Extraction and analysis of eugenol from cloves. — *Journal of Forensic Science Education.* — 2021; 3 (1): 1—9
12. Bisergaeva R.A., Takaeva M.A., Sirieva Y.N. Extraction of eugenol, a natural product, and the preparation of eugenol benzoate. — *Journal of Physics: Conference Series.* — 2021; 1889: 022085. [DOI: 10.1088/1742-6596/1889/2/022085](#)
13. McGill pain questionnaire. — Physiopedia [Internet]. <https://tinyurl.com/mcgillpq>
14. Han X., Parker T.L. Anti-inflammatory activity of clove (*Eugenia caryophyllata*) essential oil in human dermal fibroblasts. — *Pharm Biol.* — 2017; 55 (1): 1619—1622. [PMID: 28407719](#)
15. Kiki M.J. In vitro antiviral potential, antioxidant, and chemical composition of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil. — *Molecules.* — 2023; 28 (6): 2421. [PMID: 36985392](#)
16. Haro-González J.N., Castillo-Herrera G.A., Martínez-Velázquez M., Espinosa-Andrews H. Clove essential oil (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): Extraction, chemical composition, food applications, and essential bioactivity for human health. — *Molecules.* — 2021; 26 (21). [PMID: 34770801](#)
17. Zhang Z., Zhang Q., Liang J., Ding T., Wang J., Zhu K. Synthesis of eugenol ethyl ether by ethylation of eugenol with diethyl carbonate over KF/γ-Al₂O₃ catalyst. — *Catalysts.* — 2023; 8: 1163. [DOI: 10.3390/catal13081163](#)
18. Fabry P., Weber S., Teipel J., Richling E., Walch S.G., Lachenmeier D.W. Quantitative NMR spectrometry of phenylpropanoids, including isoeugenol in herbs, spices, and essential oils. — *Foods.* — 2024; 13 (5): 720. [PMID: 38472833](#)
19. Alqareer A., Alyahya A., Andersson L. The effect of clove and benzocaine versus placebo as topical anesthetics. — *J Dent.* — 2006; 34 (10): 747—50. [PMID: 16530911](#)
20. Kadam R.V., Waghmare K.P., Garje S.Y., Sayyed G.A. Formulation & evaluation of toothpaste using clove. — *International Journal of Research Publication and Reviews.* — 2024; 5 (5): 12384—12391
21. Hosseini M., Asl M.K., Rakhshandeh H. Analgesic effect of clove essential oil in mice. — *Avicenna Journal of Phytomedicine.* — 2011; 18: 1 (1): 1—6. [DOI: 10.22038/ajp.2011.114](#)
22. Aoshima H., Hamamoto K. Potentiation of GABA_A receptors expressed in *Xenopus* oocytes by perfume and phytocid. — *Biosci Biotechnol Biochem.* — 1999; 63 (4): 743—8. [PMID: 10361687](#)
23. Yang B.H., Piao Z.G., Kim Y.B., Lee C.H., Lee J.K., Park K., Kim J.S., Oh S.B. Activation of vanilloid receptor 1 (VR1) by eugenol. — *J Dent Res.* — 2003; 82 (10): 781—5. [PMID: 14514756](#)
24. Armstrong C., Burak K.W., Beck P.L. Benzocaine-induced methemoglobinemia: a condition of which all endoscopists should be aware. — *Can J Gastroenterol.* — 2004; 18 (10): 625—9. [PMID: 15497003](#)
25. Nirmala M.J., Shiny P.J., Raj U.S., Saikrishna N., Nagarajan R. Toxicity of clove (*Syzygium aromaticum*) extract. — In: Clove (*Syzygium aromaticum*): Chemistry, functionality, and applications. — Elsevier, 2022. — Pp. 663—674. [DOI: 10.1016/B978-0-323-85177-0.00007-0](#)
26. Eugenol (Clove Oil). — In: LiverTox: clinical and research information on drug-induced liver injury. [PMID: 31869191](#)

Е.А. Булычева^{1,2},

д.м.н., профессор, зав. кафедрой дополнительного образования по стоматологическим специальностям; профессор кафедры стоматологии ортопедической и материаловедения с курсом ортодонтии взрослых

Н.А. Шевкунова³,

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии

В.Н. Трезубов²,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой стоматологии ортопедической и материаловедения с курсом ортодонтии взрослых

О.Б. Спицына¹,

к.м.н., доцент кафедры дополнительного образования по стоматологическим специальностям

Э.Р. Валеев⁴,

врач-стоматолог

¹ НовГУ, 173003,

Великий Новгород, Россия

² ПСПбГМУ им. акад. И.П. Павлова,
197101, Санкт-Петербург, Россия³ ИГМА, 426034, Ижевск, Россия⁴ Инновационный стоматологический
центр «Гулливер», 450074, Уфа, Россия

Стоматологический статус у больных генерализованным пародонтитом на фоне сахарного диабета

Аннотация. В статье представлена зависимость отрицательных изменений физико-химических параметров смешанной слюны у пациентов с инсулиннезависимым сахарным диабетом, сочетающимся с разлитым (генерализованным) пародонтитом, от протяженности дефектов зубных рядов, возраста и длительности заболевания. Установлено, что у пациентов с диабетом с потерей каждого зуба pH уменьшается на 0,025 и скорость слюноотделения снижается на 0,017 мл/мин. При этом увеличиваются относительная вязкость слюны (на 0,015), концентрация глюкозы (на 0,052 ммоль/л) и скорость экскреции глюкозы (на 0,006 ммоль/л·мин). Проведенное исследование показало очевидную роль каждого зуба в сохранении гомеостаза полости рта. Слюнные железы пациентов с диабетом реагировали на потерю зубов волнообразным снижением секреции в 2 и более раза, вызывая постепенное увеличение вязкости ротовой жидкости. С возрастом и длительностью заболевания увеличивалась кислотность слюны и показатели глюкозы в ней, напрямую зависящие от уровня гипергликемии. Потеря зубов у пациентов с сахарным диабетом приводит к более выраженным изменениям биохимических показателей ротовой жидкости, чем у лиц без диабета. Полученные результаты отрицательных изменений параметров ротовой жидкости, связанные с потерей зубов, обосновывают необходимость своевременного восстановления целостности зубного ряда и включения зубного протезирования в программу реабилитации пациентов с сахарным диабетом.

Ключевые слова: стоматологический статус, сахарный диабет, ротовая жидкость, саливация, глюкоза слюны

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Булычева Е.А., Шевкунова Н.А., Трезубов В.Н., Спицына О.Б., Валеев Э.Р. Стоматологический статус у больных генерализованным пародонтитом на фоне сахарного диабета. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 98—103. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_98

Dental status in patients with generalized parontitis on the background of diabetes mellitus

Annotation. The article presents the dependence of negative changes in physicochemical parameters of mixed saliva in patients with insulin-independent diabetes mellitus combined with spilt (generalized) periodontitis on the extent of defects of tooth rows, age and duration of the disease. It was found that in diabetic patients with the loss of each tooth, pH decreases by 0.025 and salivary flow rates decrease by 0.017 ml/minute. At the same time, salivary relative viscosity (by 0.015), glucose concentration (by 0.052 mmol/l) and glucose excretion rate (by 0.006 mmol/l per minute) increased. The present study showed the obvious role of each tooth in maintaining oral homeostasis. Salivary glands of diabetic patients reacted to tooth loss by a wave-like decrease in secretion by 2 or more times, causing a gradual increase in oral fluid viscosity. With age and duration of the disease increased salivary acidity, glucose indicators in it, directly depending on the level of hyperglycemia. Loss of teeth in patients with diabetes mellitus leads to more pronounced changes in biochemical parameters of oral fluid than in persons without diabetes mellitus. The obtained results of negative changes in oral fluid parameters associated with tooth loss substantiate the necessity of timely restoration of dental integrity and inclusion of dental prosthetics in the rehabilitation program of patients with diabetes mellitus.

Key words: dental status, diabetes mellitus, oral fluid, salivation, salivary glucose

Е.А. Булычева^{1,2},

Doctor of Science in Medicine, professor and head of the Department of additional education in dentistry specialties; professor of the Prosthodontics, materials science and orthodontics Department

Н.А. Shevkunova³,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Prosthetic dentistry Department

В.Н. Трезубов²,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Prosthodontics, materials science and orthodontics Department

О.Б. Спицына¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Department of additional education in dentistry specialties

Э.Р. Valeev⁴,

dentist

¹Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, 173003, Veliky Novgorod, Russia²Pavlov University,
197101, Saint-Petersburg, Russia

³ Izhevsk State Medical Academy,
426034, Izhevsk, Russia

⁴ Innovative dental center "Gulliver",
450074, Ufa, Russia

FOR CITATION:

Bulycheva E.A., Shevkunova N.A., Trezubov V.N., Spitsyna O.B., Valeev E.R. Dental status in patients with generalized parontitis on the background of diabetes mellitus. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 98—103 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_98

ВВЕДЕНИЕ

По данным клинико-статистического анализа регистра, рост заболеваемости сахарным диабетом на 2021 г. составляет 300 тыс. человек [1]. Осложнения, возникающие на фоне данной патологии: ксеростомия (до 53%) и диабетическая пародонтопатия (до 100%) — оказывают влияние на состояние органов полости рта, снижая скорость саливации, кислотность, иммунитет, повышая вязкость и уровень глюкозы слюны, вызывая преждевременную потерю зубов [2—7].

Исследования показали, что заболевания пародонта, сопровождающие диабет, поддерживают гипергликемию, а тяжесть их проявлений значительно увеличивается с длительностью течения и плохим метаболическим контролем [8, 9]. Это приводит к разрушению альвеолярной части челюстной кости, патологической подвижности зубов и их полной потере у 15,3% пациентов пожилого возраста при сохранении естественных зубов только у 6,4% человек. При этом вероятность удаления одного зуба возрастает в 1,46 раза по сравнению с лицами, не страдающими сахарным диабетом [10—15].

Установлено, что дефекты зубного ряда вызывают снижение секреторной активности слюнных желез, особенно околоушных, так как жевательные движения регулируют слюноотделение, а одним из важнейших механизмов регуляции является жевательно-слюноотделительный рефлекс [16].

Гипосаливация отягощает стоматологический статус, способствует развитию множественного кариеса, обострению и возникновению болезней пародонта, воспалению слизистой оболочки полости рта, вызывая глоссалгию и парестезии [2]. Некоторые исследователи считают, что риск появления ксеростомии возрастает при скачкообразных повышениях уровня сахара в крови [17], связывая эти процессы с обезвоживанием организма, сужением протоков слюнных желез и уменьшением числа малых слюнных желез у пациентов с диабетом [18]. Другие полагают, что плохо контролируемый инсулиннезависимый сахарный диабет (ИНСД) не влияет на процессы секреции смешанной слюны [19].

Повреждение микроциркуляторного русла приводит к изменениям базальной мембранны слюнных желез. Выход глюкозы из клеток протоков при этом усиливается. Это приводит к повышению уровня глюкозы в слюне и десневой жидкости [10]. Молекулы глюкозы легко проникают через полупроницаемую мембрану и обнаруживаются в слюне, особенно при повышенном уровне сахара в крови. Любое изменение базальной мембранны кровеносных сосудов может вызвать повышенный транспорт глюкозы в слюну [17]. Данные научной литературы о зависимости показателей глюкозы смешанной

слионы и уровня гликемии различны: в одних исследованиях выявлена достоверная положительная связь [18], в других — она не обнаружена [19].

Высокая концентрация глюкозы в ротовой и десневой жидкости у пациентов с диабетом смещает кислотно-щелочной баланс в кислую сторону, способствует размножению патогенных микроорганизмов и быстрому образованию зубного налета. Это является еще одним фактором, требующим особого подхода при ортопедическом стоматологическом лечении [11, 12].

Противоречивость данных различных исследований вызывает необходимость более детального изучения изменений параметров ротовой жидкости у пациентов с инсулиннезависимым сахарным диабетом и роль сохранности зубного ряда в происходящих процессах.

Цель — определить характер изменений показателей смешанной слюны в зависимости от протяженности дефектов зубных рядов у пациентов с ИНСД, сочетающимся с разлитым (генерализованным) пародонтитом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено обследование 302 пациентов (188 женщин и 114 мужчин) от 34 до 79 лет, обратившихся в муниципальные и негосударственные стоматологические клиники Ижевска с диагнозом «частичная и полная потеря зубов» (K08.1). В зависимости от наличия сахарного диабета при разлитом генерализованном пародонтите пациентов поделили на 3 группы:

- I — 85 пациентов (32 мужчины и 53 женщины) в возрасте $64,6 \pm 0,2$ года с хроническим разлитым (генерализованным) пародонтитом, без 3—28 зубов и с ИНСД при уровне гликемии от 8,1 до 16,3 ммоль/л;
- II — 87 пациентов (28 мужчин и 59 женщин) в возрасте $62,8 \pm 0,9$ года с хроническим генерализованным пародонтитом, без 3—28 зубов, не страдающих сахарным диабетом (группа сравнения);
- III — 130 молодых человек (54 мужчины и 76 женщин, средний возраст — $34,6 \pm 0,4$ года) с интактными зубными рядами, сохранившими здоровье (группа контроля).

У всех респондентов измеряли скорость смешанного нестимулированного слюноотделения по методу М.М. Пожарицкой (1994). Забор слюны осуществляли в течение 10 минут сплевыванием в стерильные градуированные пробирки с ценой деления 0,1 мл. В ходе забора биоматериала обследуемые не разговаривали, дышали через нос. Результаты оценивали с учетом стандартных показателей секреции 0,25—0,5 мл/мин.

Относительную вязкость ротовой жидкости определяли по методу Т.Л. Рединовой и А.Р. Поздеева (1994), пипеткой объемом 1,0 мл, калиброванной дистиллированной водой. При калибровке объем вытекшей

дистиллированной воды за 5 секунд составлял 0,92 мл. Вязкость ротовой жидкости (V) определяли по формуле:

$$V = W/O = 0,92/O,$$

где W — объем вытекшей воды, мл; O — объем вытекшей ротовой жидкости, мл.

За норму принимали относительную вязкость 1,2—2,4.

Количественное определение содержания глюкозы в смешанной слюне проводили глюкооксидазным методом с регистрацией при длине волны 492 нм и установкой калибратора H5,55. Выявление концентрации химонимина, интенсивность окраски которого пропорциональна концентрации глюкозы в анализируемых пробах смешанной слюны, осуществляли на фотометрическом кинетическом биохимическом анализаторе Би-Ан АБхФк-02 (НПП «Техномедика», Москва). За норму принимали концентрацию 0,06—0,17 ммоль/л [20].

Скорость экскреции глюкозы ротовой жидкости измеряли произведением концентрации глюкозы в смешанной слюне и фоновой секреции [18]; pH слюны измеряли с помощью набора «pHSCAN 4,0—7,0, высокая точность» (Россия) при стандартных показателях 6,4—7,0.

Сбор биоматериала проводили в утренние часы, до приема пищи и лекарственных препаратов.

При статистической обработке данных оценку нормальности дисперсий определяли по критерию Шапиро—Уилка, анализ достоверности различий между группами — по t -критерию Стьюдента с поправкой Бонферрони, корреляцию между параметрами в группах — по критерию Спирмена при достоверности различий на уровне $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Измерение скорости секреции смешанной слюны в I группе подтвердило характерное для пациентов с диабетом снижение саливации у 30 (57%) женщин и у 14 (44%) мужчин. При дефектах зубного ряда протяженностью до 4 зубов показатели пациентов I группы с ИНСД были снижены в 2,3 раза относительно II группы. Они также были в 3 раза ниже, чем в III группе

Скорость фоновой секреции и относительная вязкость смешанной слюны в зависимости от протяженности дефектов зубных рядов у пациентов с инсулиннезависимым сахарным диабетом и без диабета

Протяженность дефектов зубных рядов (количество потерянных зубов)	Фоновая секреция смешанной слюны, мл/мин.		Относительная вязкость слюны	
	I группа (85 пациентов с инсулиннезависимым сахарным диабетом)	II группа (87 пациентов без диабета)	I группа (85 пациентов с инсулиннезависимым сахарным диабетом)	II группа (87 пациентов без диабета)
1—3	0,29±0,09*	0,61±0,02	1,9±0,2**	1,3±0,1
4—6	0,27±0,02**	0,47±0,03	1,9±0,1**	1,3±0,1
7—9	0,24±0,04*	0,50±0,01	2,0±0,1*	1,7±0,2
10—16	0,19±0,01**	0,40±0,04	2,0±0,7*	1,8±0,1
17—28	0,17±0,02**	0,37±0,03	2,3±0,3**	1,9±0,4

Примечание. Отличие от показателей II группы статистически достоверно значимо: * — $p<0,05$, ** — $p<0,001$.

здоровых людей, у которых средняя скорость секреции смешанной слюны равнялась 0,86 мл/мин ($p<0,05$; см. таблицу). Средний возраст пациентов составлял 54,8±0,8 года при длительности диабета 9,2±0,9 года и уровнем гликемии 8,9±0,4 ммоль/л.

Отсутствие половины зубов определялось у пациентов I группы в возрасте 67,2±0,3 года при длительности диабета 12,8±0,7 лет с уровнем гликемии 13,4±0,9 ммоль/л. Саливация у таких пациентов была снижена в 2 раза по сравнению со II группой. Такое же соотношение наблюдалось при полной потере зубов. Так, у пациентов с диабетом в возрасте 73,8±0,7 года, длительностью заболевания 15,7±0,8 года и уровнем гликемии 15,1±0,9 ммоль/л скорость фоновой секреции слюны была в 2 раза ниже, чем у пациентов II группы ($p<0,05$).

Изучение влияния количества утраченных зубов на саливацию показало, что при одинаковой протяженности дефектов зубных рядов у пациентов с диабетом наблюдалось стабильное снижение саливации в 2 и более раз относительно II группы. Выявлена умеренная отрицательная корреляция между возрастом и скоростью слюноотделения ($\rho=-0,567$, $p<0,001$). Это согласуется с имеющимися данными о возрастной инволюции тканей слюнных желез, вызывающих гипосаливацию [16].

При снижении скорости секреции наблюдалось увеличение вязкости смешанной слюны, в большей степени выраженное у пациентов I группы ($\rho=-0,923$), чем у лиц II группы без диабета ($\rho=-0,721$). При интактных зубных рядах в группе контроля относительная вязкость составляла 1,3 ($p<0,05$; см. таблицу). У пациентов с диабетом при увеличении числа потерянных зубов наблюдалось волнообразное изменение функциональной активности слюнных желез, сопровождающееся постепенным увеличением вязкости ротовой жидкости.

Помимо возрастных изменений, наблюдалась у таких пациентов гипергликемия и скачки уровня глюкозы в крови могли приводить к подавлению саливации и увеличению вязкости смешанной слюны. Это подтверждается данными А.А. Чепрасовой и соавт. (2022) [20]. У здоровых пациентов потеря зубов вызывала динамичное снижение саливации и повышение вязкости

The rate of background secretion and relative viscosity of mixed saliva depending on the extent of dental defects in patients with and without insulin-dependent diabetes mellitus

($t=-3,691$, $\rho=0,831$ и $\rho=-0,702$; $p<0,05$), что, безусловно, было связано с возрастными изменениями.

На колебание кислотности ротовой жидкости при диабете оказывали влияние не только потеря зубов, но и гипергликемия, что показывает достоверная обратная связь кислотно-щелочного баланса с потерей зубов и уровнем глюкозы смешанной слюны ($\rho=-0,658$; $p<0,001$). При определении влияния количества удаленных зубов на pH слюны установлено, что у пациентов с ИНСД и дефектах зубного ряда протяженностью до 4 зубов pH равнялся 6,6, до половины зубов — 6,6, при полном их отсутствии — 6,5. Этот уровень кислотности был ниже, чем у пациентов II группы при такой же протяженности зубных дефектов ($pH=6,8$, $6,7$ и $6,6$ соответственно) и достоверно ниже, чем у здоровых людей III группы ($pH=6,8$; $p<0,001$). Внутригрупповой статистический анализ выявил следующую корреляцию: чем старше возраст пациента с диабетом, тем более кислым становился водородный показатель слюны ($\rho=-0,646$).

У пациентов с диабетом при увеличении числа потерянных зубов наблюдалось волнобразное снижение pH ротовой жидкости. Это также могло быть связано с изменениями уровня гликемии. В группе сравнения снижение кислотности смешанной слюны коррелировало с количеством удаленных зубов ($\rho=-0,864$) и не зависело от возраста пациента.

При наблюдаемой прямой зависимости уровня глюкозы ротовой жидкости от уровня гликемии у пациентов с ИНСД в группе сравнения также отмечалось повышение этого показателя с потерей зубов по сравнению с группой контроля при интактных зубных рядах. Там уровень глюкозы смешанной слюны находился в нормативных пределах — 0,15 ммоль/л ($p<0,001$) и согласовывался с литературными данными [18, 19].

Содержание глюкозы в ротовой жидкости пациентов с ИНСД с увеличением количества утраченных зубов менялось от 0,25 ммоль/л при потере 4 зубов до 0,31 ммоль/л при их полной потере. Изменение шло волнобразно, что, безусловно, было связано с повышением уровня гликемии, возрастом и длительностью заболевания. При этом у здоровых пациентов с увеличением протяженности дефектов зубных рядов просматривалась равномерная тенденция к повышению уровня глюкозы в смешанной слюне — от 0,15 до 0,27 ммоль/л при полной потере зубов ($p<0,001$). Это могло быть связано с возрастными изменениями. В группе наблюдения

($\rho=-0,679$), как и в группе сравнения ($\rho=-0,589$), определялась обратная связь: чем выше поднималось содержание глюкозы, тем ниже опускалась кислотность ротовой жидкости.

Скорость экскреции глюкозы смешанной слюны у пациентов с ИНСД была ниже, чем у лиц групп сравнения и контрольной (0,0847, 0,0962 и 0,0957 ммоль/л в минуту соответственно, ввиду изначальной гипосиалии при сахарном диабете; $p<0,001$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало очевидную роль каждого зуба в сохранении гомеостаза полости рта. Слюнные железы больных диабетом реагируют на потерю зубов волнобразным снижением секреции в 2 и более раза, вызывая постепенное увеличение вязкости ротовой жидкости. С возрастом, длительностью заболевания, возрастанием гликемии pH смешанной слюны смещается в кислую сторону, а содержание глюкозы в ней повышается.

У пациентов с сахарным диабетом установлена достоверная зависимость снижения саливации и уровня pH, сопровождающегося увеличением вязкости, концентрации и экскреции глюкозы смешанной слюны, от протяженности дефектов зубных рядов. В среднем с потерей каждого зуба снижение слюноотделения у пациентов с ИНСД происходило на 0,017 мл/мин, pH — на 0,025 ед., увеличение вязкости — на 0,015 отн.ед., уровня глюкозы слюны — на 0,052 ммоль/л и скорости ее экскреции — на 0,006 ммоль/л в минуту.

Полученные результаты обосновывают необходимость своевременного протетического замещения дефектов зубного ряда, даже небольшой протяженности, у данной категории пациентов. При этом зубное и челюстное протезирование играет заметную роль в программе реабилитации пациентов с сахарным диабетом, предотвращая дальнейшее развитие стоматологических заболеваний и ухудшение общего состояния, связанного с диабетом.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 28.06.2024 Принята в печать: 17.02.2025

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 28.06.2024

Accepted: 17.02.2025

ЛИТЕРАТУРА:

- Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К., Железнякова А.В., Исаков М.А. Эпидемиологические характеристики сахарного диабета в Российской Федерации: клинико-статистический анализ по данным регистра сахарного диабета на 01.01.2021. — Сахарный диабет. — 2021; 3: 204—221. [eLibrary ID: 46618040](#)

REFERENCES:

- Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K., Zheleznyakova A.V., Isakov M.A. Epidemiological characteristics of diabetes mellitus in the Russian Federation: clinical and statistical analysis according to the Federal diabetes register data of 01.01.2021. *Diabetes Mellitus*. 2021; 3: 204—221 (In Russian). [eLibrary ID: 46618040](#)

2. Метелица К.И., Манак Т.Н. Ксеростомия и ее осложнения в полости рта. — Современная стоматология (Беларусь). — 2021; 2 (83): 6—10. [eLibrary ID: 46500743](#)
3. Шевкунова Н.А., Рединов И.С. Влияние дефектов зубного ряда на состояние саливации и местного иммунитета полости рта у больных сахарным диабетом 2-го типа. — Российский стоматологический журнал. — 2016; 5: 282—284. [eLibrary ID: 27379988](#)
4. Arana C., Moreno-Fernández A.M., Gómez-Moreno G., Morales-Portillo C., Serrano-Olmedo I. de la Cuesta Mayor M.C., Hernández T.M. Increased salivary oxidative stress parameters in patients with type 2 diabetes: Relation with periodontal disease. — *Endocrinología, Diabetes y Nutrición (English ed.)*. — 2017; 64 (5): 258—264. [DOI: 10.1016/j.endien.2017.03.010](#)
5. Шевкунова Н.А., Бутюгин И.А., Булычева Е.А., Валеев Э.Р. Взаимосвязь выраженности стоматофобии и типа отношения пациентов к болезни при сахарном диабете, сопровождающем разлитым (генерализованным) пародонтитом. — *Институт стоматологии*. — 2024; 2 (103): 15—17. [eLibrary ID: 68366237](#)
6. Verhulst M.J.L., Loos B.G., Gerdes V.E.A., Teeuw W.J. Evaluating all potential oral complications of diabetes mellitus. — *Front Endocrinol (Lausanne)*. — 2019; 10: 56. [PMID: 30962800](#)
7. Berbudi A., Rahmadika N., Tjahjadi A.I., Ruslami R. Type 2 diabetes and its impact on the immune system. — *Curr Diabetes Rev.* — 2020; 16 (5): 442—449. [PMID: 31657690](#)
8. Kim H.K., Kim Y.G., Cho J.H., Lee S.K., Lee J.M. The effect of periodontal and prosthodontic therapy on glycemic control in patients with diabetes. — *J Adv Prosthodont.* — 2019; 11 (5): 247—252. [PMID: 31754414](#)
9. Madianos P.N., Koromantzos P.A. An update of the evidence on the potential impact of periodontal therapy on diabetes outcomes. — *J Clin Periodontol.* — 2018; 45 (2): 188—195. [PMID: 29277978](#)
10. Миронова Т.И., Шевцова А.А., Якушенко М.В., Чагина Е.А. Патогенетическая роль сахарного диабета в развитии осложнений полости рта. — *Инновационная наука*. — 2022; 4—1: 55—59. [eLibrary ID: 48198961](#)
11. Булычева Е.А., Шевкунова Н.А., Трезубов В.Н., Архипов Г.С., Алпатьева Ю.В., Бутюгин И.А., Никитина Н.Н. Клинико-микробиологическое обоснование использования антибактериальных коллагеновых пластин при зубном протезировании у пациентов с сахарным диабетом. — *Клиническая стоматология*. — 2024; 4: 70—74. [eLibrary ID: 75204852](#)
12. Шевкунова Н.А. Оценка эффективности применения очищающих таблеток для ухода за съемными пластиночными протезами больными сахарным диабетом II типа. — *Клиническая стоматология*. — 2017; 2 (82): 59—61. [eLibrary ID: 29276239](#)
13. Soares M.S., Batista-Filho M.M., Pimentel M.J., Passos I.A., Chimenos-Küstner E. Determination of salivary glucose in healthy adults. — *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. — 2009; 14 (10): e510—3. [PMID: 19680215](#)
14. Rohani B. Oral manifestations in patients with diabetes mellitus. — *World J Diabetes*. — 2019; 10 (9): 485—489. [PMID: 31558983](#)
15. Kumari D.P. Clinical evaluation of the tooth loss in periodontal disease in diabetic patients. — *International Journal of Medical and Biomedical Studies*. — 2019; 3 (11): 148—154. [DOI: 10.32553/ijmbs.v3i11.736](#)
2. Metelitsa C., Manak T. Xerostomia and its complications in the oral cavity. *Sovremennaya stomatologiya (Belarus)*. 2021; 2 (83): 6—10 (In Russian). [eLibrary ID: 46500743](#)
3. Shevkunova N.A., Redinov I.S. The impact of defects of dentition in a state of salivation and local immunity of oral cavity in patients with diabetes mellitus type 2. *Russian Journal of Dentistry*. 2016; 5: 282—284 (In Russian). [eLibrary ID: 27379988](#)
4. Arana C., Moreno-Fernández A.M., Gómez-Moreno G., Morales-Portillo C., Serrano-Olmedo I. de la Cuesta Mayor M.C., Hernández T.M. Increased salivary oxidative stress parameters in patients with type 2 diabetes: Relation with periodontal disease. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición (English ed.)*. 2017; 64 (5): 258—264. [DOI: 10.1016/j.endien.2017.03.010](#)
5. Shevkunova N.A., Butyugin I.A., Bulycheva E.A., Valeev E.R. The relationship between the severity of dental phobia and the type of attitude of patients towards the disease in diabetes mellitus accompanied by diffuse (generalized) periodontitis. *The Dental Institute*. 2024; 2 (103): 15—17 (In Russian). [eLibrary ID: 68366237](#)
6. Verhulst M.J.L., Loos B.G., Gerdes V.E.A., Teeuw W.J. Evaluating all potential oral complications of diabetes mellitus. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2019; 10: 56. [PMID: 30962800](#)
7. Berbudi A., Rahmadika N., Tjahjadi A.I., Ruslami R. Type 2 diabetes and its impact on the immune system. *Curr Diabetes Rev.* 2020; 16 (5): 442—449. [PMID: 31657690](#)
8. Kim H.K., Kim Y.G., Cho J.H., Lee S.K., Lee J.M. The effect of periodontal and prosthodontic therapy on glycemic control in patients with diabetes. *J Adv Prosthodont.* 2019; 11 (5): 247—252. [PMID: 31754414](#)
9. Madianos P.N., Koromantzos P.A. An update of the evidence on the potential impact of periodontal therapy on diabetes outcomes. *J Clin Periodontol.* 2018; 45 (2): 188—195. [PMID: 29277978](#)
10. Mironova T.I., Shevtsova A.A., Yakushenko M.V. Pathogenetic role of diabetes mellitus in the development of oral complications. *Innovation Science*. 2022; 4—1: 55—59 (In Russian). [eLibrary ID: 48198961](#)
11. Bulycheva E.A., Shevkunova N.A., Trezubov V.N., Arkhipov G.S., Alpatyeva Yu.V., Butyugin I.A., Nikitina N.N. Microbiologic rationale for the use of antibacterial collagen plates in dental prosthetics of patients with diabetes mellitus. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2024; 4: 70—74 (In Russian). [eLibrary ID: 75204852](#)
12. Shevkunova N.A. Evaluation of the effectiveness of cleaning tablets for the care of removable laminar dentures by patients with diabetes type 2. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2017; 2 (82): 59—61 (In Russian). [eLibrary ID: 29276239](#)
13. Soares M.S., Batista-Filho M.M., Pimentel M.J., Passos I.A., Chimenos-Küstner E. Determination of salivary glucose in healthy adults. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2009; 14 (10): e510—3. [PMID: 19680215](#)
14. Rohani B. Oral manifestations in patients with diabetes mellitus. *World J Diabetes*. 2019; 10 (9): 485—489. [PMID: 31558983](#)
15. Kumari D.P. Clinical evaluation of the tooth loss in periodontal disease in diabetic patients. *International Journal of Medical and Biomedical Studies*. 2019; 3 (11): 148—154. [DOI: 10.32553/ijmbs.v3i11.736](#)

16. Гилева О.С., Смирнова Е.Н., Позднякова А.А., Либик Т.В. Особенности диагностики и лечения ксеростомического синдрома при заболеваниях пародонта и слизистой оболочки полости рта у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа. — РМЖ. — 2016; 20: 1340—1345. [eLibrary ID: 28124434](#)
17. Jurysta C., Bulur N., Oguzhan B., Satman I., Yilmaz T.M., Malaisse W.J., Sener A. Salivary glucose concentration and excretion in normal and diabetic subjects. — *J Biomed Biotechnol*. — 2009; 2009: 430426. [PMID: 19503844](#)
18. Gupta S., Sandhu S.V., Bansal H., Sharma D. Comparison of salivary and serum glucose levels in diabetic patients. — *J Diabetes Sci Technol*. — 2015; 9 (1): 91—6. [PMID: 25294888](#)
19. Panchbhai A.S. Correlation of salivary glucose level with blood glucose level in diabetes mellitus. — *J Oral Maxillofac Res*. — 2012; 3 (3): e3. [PMID: 24422015](#)
20. Чепрасова А.А., Попов С.С., Пашков А.Н., Крыльский Е.Д., Веревкин А.Н. Концентрация глюкозы, катионов цинка и показатели оксидативного статуса в слюне как неинвазивные маркеры развития сахарного диабета 2-го типа. — *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. — 2022; 5: 16—21. [eLibrary ID: 48502598](#)
16. Gileva O.S., Smirnova E.N., Pozdnyakova A.A., Libik T.V. Features of diagnosis and treatment of xerostomic syndrome in diseases of the periodontium and oral mucosa in patients with type 2 diabetes mellitus. *Russian Medical Journal*. 2016; 20: 1340—1345 (In Russian). [eLibrary ID: 28124434](#)
17. Jurysta C., Bulur N., Oguzhan B., Satman I., Yilmaz T.M., Malaisse W.J., Sener A. Salivary glucose concentration and excretion in normal and diabetic subjects. *J Biomed Biotechnol*. 2009; 2009: 430426. [PMID: 19503844](#)
18. Gupta S., Sandhu S.V., Bansal H., Sharma D. Comparison of salivary and serum glucose levels in diabetic patients. *J Diabetes Sci Technol*. 2015; 9 (1): 91—6. [PMID: 25294888](#)
19. Panchbhai A.S. Correlation of salivary glucose level with blood glucose level in diabetes mellitus. *J Oral Maxillofac Res*. 2012; 3 (3): e3. [PMID: 24422015](#)
20. Cheprasova A.A., Popov S.S., Pashkov A.N., Kryl'skii E.D., Verevkin A.N. The concentration of glucose, zinc cations, and indicators of oxidative status in saliva as non-invasive markers of type 2 diabetes mellitus. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2022; 5: 16—21 (In Russian). [eLibrary ID: 48502598](#)

Т.М. Еловикова¹,

д.м.н., профессор кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний

О.В. Романычева²,

директор научного центра

С.Н. Саблина¹,

ассистент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний

Е.Ю. Ермишина¹,

к.х.н., доцент кафедры общей химии

С.С. Григорьев¹,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний

Ю.В. Мандра¹,

д.м.н., профессор кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний

Т.Б. Большаякова²,

руководитель исследовательской лаборатории научного центра

А.С. Кощеев³,

к.ф.-м.н., доцент кафедры моделирования управляемых систем

¹ УГМУ, 620028, Екатеринбург, Россия² АО «Свобода», 127015, Москва, Россия³ УрФУ, 620002, Екатеринбург, Россия

Клинико-лабораторный анализ эффективности применения ополаскивателя на основе аквакомплекса глицеросольвата титана у пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта

Реферат. Цель исследования — анализ эффективности применения ополаскивателей отечественного производства на основе аквакомплекса глицеросольвата титана при воспалительных заболеваниях пародонта. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 112 человек — студентов-добровольцев стоматологического факультета в возрасте от 18 до 24 лет. Для клинического обследования сформировано 3 группы участников по 25 человек. Пациенты с хроническим простым маргинальным гингивитом составили I и II группы, III группу сравнения — здоровые субъекты без воспалительных заболеваний пародонта. В I и III группе применяли лечебно-профилактический ополаскиватель «Ледяная вишня» с запатентованным аквакомплексом глицеросольвата титана и гиалуроната натрия. Пациенты II группы пользовались обычным гигиеническим ополаскивателем. Стоматологическое обследование пациентов включало индексную оценку состояния зубов (КПУ), вычисление индекса гигиены рта Грина—Вермилльона (ИГ) и индекса гингивита (РМА). Всем пациентам проводили качественный анализ смешанной слюны с измерением относительной вязкости, pH, окислительно-восстановительного потенциала и буферной емкости по кислоте, а также выполняли сиалометрию и измеряли функциональную активность малых слюнных желез. **Результаты.** В I группе индекс РМА уменьшился в 1,99 раза через 7 дней, через 14 дней — в 3,85 раза, через 21 день — в 4,91 раза. В III группе через 7 дней значения индекса РМА уменьшились в 1,99 раза, через 14 дней — в 3,86 раза, через 21 день — 4,92 раза ($p \leq 0,05$). **Заключение.** Анализ эффективности применения ополаскивателя «Ледяная вишня» у молодых пациентов при хроническом простом маргинальном гингивите выявил улучшение гигиенического состояния полости рта и снижение воспаления свободной десны.

Ключевые слова: ополаскиватели для полости рта, ротовая жидкость, смешанная слюна, воспалительные заболевания пародонта, сиалометрия, аквакомплекс глицеросольвата титана

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Еловикова Т.М., Романычева О.В., Саблина С.Н., Ермишина Е.Ю., Григорьев С.С., Мандра Ю.В., Большаякова Т.Б., Кощеев А.С. Клинико-лабораторный анализ эффективности применения ополаскивателя на основе аквакомплекса глицеросольвата титана у пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 104—109.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_104

Clinical laboratory effectiveness assessment of the use of mouthwash containing titanium nanoparticles by patients with periodontal inflammation

Abstract. The aim of this study is to evaluate the efficacy of domestic mouthwashes containing titanium glycerosolvate aquacomplex for periodontal inflammations. **Materials and methods.** The study included 112 patients from volunteer students with the age range of 18 to 24 years. The participants were divided into three groups of 25 persons each. Patients with chronic simple marginal gingivitis were included in groups I and II, while healthy individuals without periodontal diseases were included in the reference group III. The patients of groups I and III used the therapeutic preventive mouthwash Icy Cherry with the proprietary blend of titanium glycerosolvate aquacomplex and sodium hyaluronate. The patients of group II applied a mouthwash commonly used for oral hygiene. The dental exam of patients consisted of DMFT, determination of OHI-S (Green, Vermillion) and PMA. All patients underwent a qualitative examination of mixed saliva to study relative viscosity, pH, oxidation-reduction potential and buffer capacity in the acid direction. The study also used the sialometry test and evaluation of functional activity of minor salivary glands. **Results.** In group I, the PMA index decreased by 1.99 times after 7 days, 3.85 times after

Т.М. Еловикова¹,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Therapeutic dentistry and dentistry diseases propaedeutics Department

О.В. Романычева²,

scientific director

С.Н. Саблина¹,

assistant at the Therapeutic dentistry and dentistry diseases propaedeutics Department

Е.Ю. Ермишина¹,

PhD in Chemical Sciences, associate professor of the General chemistry Department

С.С. Григорьев¹,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Therapeutic dentistry and dentistry diseases propaedeutics Department

Ю.В. Мандра¹,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Therapeutic dentistry and dentistry diseases propaedeutics Department

T.B. Bolshakova²,

R&D Lab manager

A.S. Koscheev³,

PhD in Physics and Mathematics, associate professor of the Controlled systems simulation Department

¹ Ural State Medical University,
620028, Yekaterinburg, Russia² "Svoboda" JSC, Moscow, 127015, Russia³ Ural Federal University,
620002, Yekaterinburg, Russia

14 days and 4.91 times after 21 days. In group III, the PMA index decreased by 1.99 times after 7 days, 3.86 times after 14 days and 4.92 times after 21 days ($p \leq 0.05$). **Conclusion.** Effectiveness assessment of the use of the mouthwash Icy Cherry by young patients with chronic simple marginal gingivitis showed improvement in oral hygiene and reduction in inflammation of the gingival margin.

Key words: mouthwashes, oral fluid, mixed saliva, periodontal inflammation, sialometry, titanium glycerosolvate aquacomplex

FOR CITATION:

Elovikova T.M., Romanycheva O.V., Sablina S.N., Ermishina E.Yu., Grigoryev S.S., Mandra Yu.V., Bolshakova T.B., Koscheev A.S. Clinical laboratory effectiveness assessment of the use of mouthwash containing titanium nanoparticles by patients with periodontal inflammation. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 104—109 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_104

ВВЕДЕНИЕ

Воспалительные заболевания пародонта (ВЗП) в структуре стоматологических болезней занимают особое место, их распространенность велика. По мнению некоторых авторов, ВЗП у взрослого населения встречаются в 64—98% случаев [1]. Сегодня самой действенной и вместе с тем наиболее простой и доступной мерой профилактики ВЗП является адекватный гигиенический уход за полостью рта. Значимость проблемы гигиенического ухода за полостью рта отмечена в концепции Всемирной организации здравоохранения и является важнейшим сегментом Глобальной программы здоровья в мире. Для поддержания оптимального уровня гигиены необходимо применение дополнительных средств, в частности ополаскивателей для полости рта, активные компоненты которых оказывают лечебно-профилактическое действие и препятствуют образованию зубных отложений, в том числе в труднодоступных участках полости рта [1—3]. Применение современных ополаскивателей повышает эффективность удаления зубного налета и способствует профилактике воспалительных заболеваний пародонта и кариеса зубов.

Основные направления использования жидкых средств гигиены полости рта: гигиенические, предназначенные для дезодорирования ротового дыхания, увлажнения слизистых оболочек и частично для удаления зубного налета, и профилактические, содержащие в своем составе активные компоненты, которые и определяют направленность их действия [4—7].

В научном центре фабрики «Свобода» (Москва) разработан новый состав ополаскивателя с аквакомплексом глицеросольвата титана (АГТ) и гиалуроновой кислотой (патент № 2716023, действ. с 20.09.2019). Предлагаемый ополаскиватель пролонгированного действия включает 0,02—5,0% гиалуроната натрия, 0,05—30,0% АГТ, 65% полигликоля и воду (до 100%). Этот лечебно-профилактический ополаскиватель выпускается под названием «Ледяная вишня» (свидетельство о государственной регистрации № 0444588 от 18.07.2023) [2].

Связь с активным веществом происходит не посредством прочного ковалентного соединения (ведущего

к снижению эффективности связанного активного вещества), а за счет водородных и координационных связей. Благодаря этому АГТ не разрушает встроенную в него активную лекарственную добавку, а образует с ней устойчивую иммобилизованную систему, способную проникать к патологическому очагу и полностью высвобождать в нем активный компонент. Как металлокомплексное соединение АГТ имеет собственную микробиологическую чистоту и стерильность.

Гиалуронат натрия (гиалуроновая кислота) эффективен в снижении бактериальной нагрузки, принимая участие в иммунных реакциях, способствует улучшению микроциркуляции, регенерации и сохранению водно-солевого баланса тканей, профилактике и уменьшению воспаления в области десен, участвует в ускорении регенерации тканей. Комплекс АГТ и гиалуроната натрия уменьшает воспалительные явления, обладает хорошей адгезией к биологическим тканям, усиливает действие и является проводником гиалуроната натрия в ткани полости рта, действие данной комбинации препаратов основано на синергизме — приводит к двойному фармакологическому эффекту [5].

Цель исследования — клинико-лабораторный анализ эффективности применения ополаскивателей отечественного производства на основе аквакомплекса глицеросольвата титана у молодых пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В научной работе приняли участие 112 человек — студентов-добровольцев стоматологического факультета в возрасте от 18 до 24 лет (39 юношей и 73 девушки), их средний возраст составил 19,2—22,7 года.

Критерии включения:

- наличие не менее 26 зубов в полости рта;
- отсутствие дефектов твердых тканей зубов в пришеечной области;
- отсутствие признаков острого или обострения хронического системного заболевания;
- отсутствие медицинских противопоказаний.

Критерии исключения:

- наркотическая или токсическая зависимость.

Для клинического обследования сформировано 3 группы по 25 человек:

- I — пациенты с простым хроническим маргинальным гингивитом, которые применяли лечебно-профилактический ополаскиватель «Ледяная вишня» (АО «Свобода», Москва);
- II — пациенты с простым хроническим маргинальным гингивитом, которые применяли обычный ополаскиватель (АО «Свобода», Москва);
- III — условно здоровые участники без воспалительных заболеваний пародонта, которые применяли лечебно-профилактический ополаскиватель «Ледяная вишня».

Оба ополаскивателя не содержат фториды, агрессивные отбеливающие и антибактериальные компоненты, рекомендованы для регулярного применения. В состав обычного ополаскивателя входят основные компоненты, обеспечивающие необходимую консистенцию и приемлемые органолептические свойства. Этот состав способствует общему гигиеническому уходу за полостью рта путем ополаскивания утром, вечером, после еды.

Все участники исследования были обучены правилам ухода за полостью рта и обязались добросовестно чистить зубы не менее 3 минут, используя выданные им ополаскиватели и зубную пасту, 2 раза в день после приема пищи зубными щетками средней мягкости в течение 3 недель. Ополаскиватели применялись пациентами без проведения предварительной профессиональной гигиены полости рта. Другие формы гигиенического ухода за полостью рта в период исследования не допускались. Пациенты могли придерживаться своих обычных привычек: диета, питьевой режим, образ жизни и т.д.

Стоматологическое обследование в соответствии с установленными клиническими рекомендациями (протокол ведения больного при гингивите) включало индексную оценку состояния зубов (КПУ зубов), измерение индекса гигиены (ИГ) рта по Грину—Вермильону (1964) и папиллярно-маргинально-альвеолярного индекса гингивита (РМА; Parma, 1960).

Всем участникам исследования проводили сиалометрию, измеряли функциональную активность малых слюнных желез (ФАМСЖ). Проводили качественный анализ смешанной слюны: измеряли ее вязкость, *pH*, окислительно-восстановительный (redox) потенциал и буферную емкость по кислоте.

Сиалометрию проводили натощак, в первой половине дня методом сплевывания слюны в стерильную пробирку, приставленную к нижней губе в течение 10 минут, в положении сидя, наклонив подбородок к груди.

Относительную вязкость слюны определяли с помощью стандартной микропипетки откалиброванной дистиллированной водой на истекание в течение 10 секунд, далее измеряли текучесть по методу Рединовой—Поздееву (1994).

Поверхностное натяжение слюны (ПНС) определяли по методу Т.Л. Рединовой [2].

С помощью цифрового *pH*-метра «*pH-150M*» измеряли *pH* и redox-потенциал слюны, вычисляли среднее значение по трем измерениям.

Для вычисления буферной емкости измеряли *pH* чистой слюны и после добавления 1,0 мл 0,01 н раствора кислоты или щелочи. Буферную емкость вычисляли по формуле:

$$B = \frac{V_0}{\Delta pH \cdot V},$$

где V_0 — эквивалентное количество вещества, ΔpH — разница *pH* до и после добавления кислоты или щелочи, V — объем пробы.

Для оценки воздействия ополаскивателей клиническое обследование участников и лабораторные анализы проводили в начале исследования, после однократного применения и через 7, 14 и 21 день после курсового применения ополаскивателей.

Для исследования физико-химических свойств ополаскивателей были приготовлены образцы с объемной долей 10, 20, 40, 50, 70 и 100%. В каждой пробе по итогу трех измерений определяли *pH* и буферную емкость по кислоте и основанию. Буферную емкость определяли по стандартной методике: измеряли *pH*, затем к 20,0 мл ополаскивателя добавляли 2,0 мл 0,01 н раствора соляной кислоты или 2,0 мл 0,01 н раствора гидроксида натрия и вновь измеряли *pH*.

Буферную емкость ополаскивателей рассчитывали по формуле, аналогичной для определения буферной емкости слюны. Поверхностное натяжение определяли методом стагматометрии, удельную электропроводность — методом кондуктометрии с прибором «Анион 7020», осмотические свойства — с помощью осмометра «ОСКР-1М».

В конце исследования провели опрос участников об оценке ими органолептических свойств ополаскивателей (внешний вид, цвет, запах, вкус, раздражение на слизистой оболочке рта) по 10-балльной шкале: 1 балл — неудовлетворительно, 2 — почти удовлетворительно, 3 — удовлетворительно, 4 — весьма удовлетворительно, 5 — почти хорошо, 6 — хорошо, 7 — очень хорошо, 8 — весьма хорошо, 9 — отлично, 10 — превосходно.

При статистической обработке данных для установления достоверности различий использовали *t*-распределение Стьюдента. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходный ИГ пациентов I и II группы составил $1,97 \pm 0,35$, $1,81 \pm 0,15$ — в III группе. Индекс КПУ зубов — $4,90 \pm 1,55$. Индекс РМА в I и во II группе — $47,00 \pm 4,75\%$, в III группе — $5,35 \pm 1,25\%$. Показатели сиалометрии в I группе — $4,19 \pm 0,25$ мл, во II группе — $4,19 \pm 0,45$ мл, в III группе — $4,35 \pm 0,11$ мл. ФАМСЖ составила $19,15 \pm 2,20$ в I и во II группе, $21,85 \pm 1,55$ — в III группе.

После применения ополаскивателя «Ледяная вишня» улучшение гигиенического состояния полости рта клинически подтверждено положительной динамикой изменения ИГ. Так, в I группе через 7 дней значение ИГ уменьшились в 1,98 раза, через 14 дней — в 3,65 раза, через 21 день — в 4,75 раза ($p < 0,05$). Во II группе

ИГ статистически достоверно значимо не изменился. В III группе через 7 дней средний ИГ уменьшился в 1,97 раза, через 14 дней — в 3,64 раза, через 21 день — в 4,78 раза (рис. 1).

Зв время исследования у пациентов I группы уменьшилось воспаление десны, нивелировались явления кровоточивости, отека, гиперемии, что подтверждено изменением индекса РМА в 1,99 раза через 7 дней и в 4,91 раза через 21 день ($p \leq 0,05$). Схожую динамику, но с меньшими величинами показали добровольцы III группы. Во II группе за 21 день применения гигиенического ополаскивателя индекс РМА не изменился ($p \geq 0,05$; рис. 2).

По данным сиалометрии, через 21 день выделение слюны составило в I группе $4,49 \pm 0,35$ мл, во II группе — $4,15 \pm 0,25$ мл, в III группе — $4,45 \pm 0,15$ мл. ФАМСЖ через 21 день курсового применения ополаскивателя в I группе улучшилась до физиологической нормы ($22,55 \pm 1,50$), во II была несколько снижена (20 ± 3), в III группе показатели высокие — $24,15 \pm 1,20$.

При анализе параметров определены различия физико-химических свойств исследуемых ополаскивателей. Так, у «Ледяной вишни» осмоляльность выше на 3,25%, буферная емкость больше на 18–20%, а электропроводность больше на $0,84$ мСм/см ($p \leq 0,05$; табл. 1).

Вязкость смешанной слюны влияет на возможность удаления остатков пищи и самоочищения зубной поверхности. Состав лечебно-профилактического ополаскивателя «Ледяная вишня», как содержащего АГТ и гиалуронат натрия, в большей мере способствует улучшению омывающих свойств слюны. Через 21 день его применения в I группе относительная вязкость слюны уменьшилась на 51% (с 0,41 до 0,21), тогда как во II группе — только на 33% ($p \leq 0,05$; табл. 2).

Использование ополаскивателя у всех пациентов привело к кратковременному снижению буферной емкости и достоверному повышению p H смешанной слюны непосредственно после применения. В динамике за 3 недели буферная емкость слюны у испытуемых увеличилась на 25,9% ($p \leq 0,05$) в I группе, на 3,3% ($p \leq 0,05$) во II группе и на 26,5% ($p \leq 0,05$) в III группе (табл. 3).

Различия обусловлены изначально более низким показателем буферной емкости слюны в I группе. Ополаскиватель «Ледяная вишня» увеличивает буферную емкость слюны, приближая ее к нормальному значению. Гигиенический ополаскиватель поддерживает значение буферной емкости слюны по кислоте в интервале, близком к норме ($8,21 \pm 0,51$ ммол-экв/л; $p \leq 0,05$). Применение «Ледяной вишни» повышает p H и снижает окислительно-восстановительный потенциал смешанной слюны. Так, за 3 недели в I группе p H изменился с 6,43 до 6,74, а окислительно-восстановительный потенциал — с 26,42 до 11,83 мВ ($p \leq 0,05$). Результаты у участников III группы аналогичны

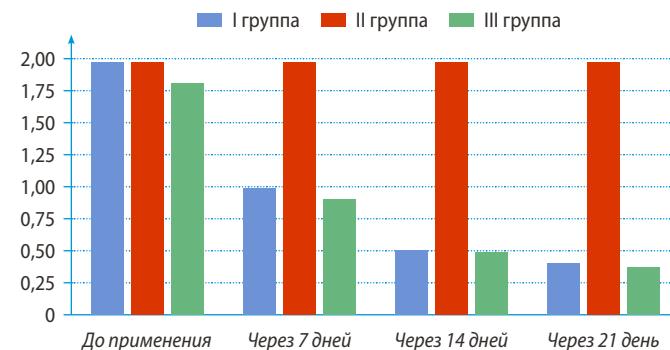


Рис. 1. Индекс гигиены пациентов в ходе применения исследуемых ополаскивателей

Fig. 1. Oral Hygiene Index for the patients in the three study groups using mouthwashes

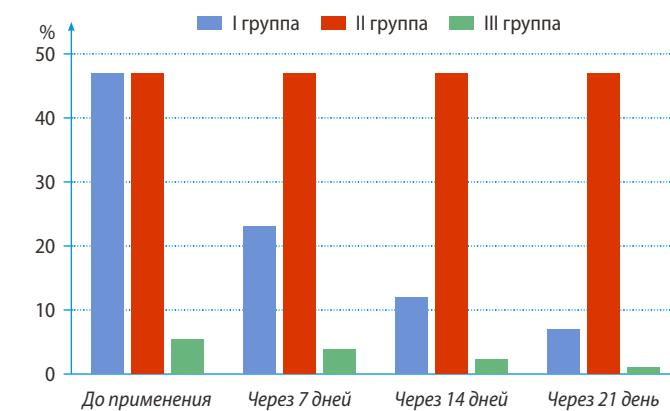


Рис. 2. Папиллярно-маргинально-альвеолярный индекс пациентов в ходе применения исследуемых ополаскивателей

Fig. 2. Dynamic changes in PMA for the patients in the three study groups using mouthwashes

Таблица 1. Физико-химические свойства ополаскивателей

Table 1. Physical properties of mouthwashes

	«Ледяная вишня»	Гигиенический ополаскиватель
Осмоляльность, ммол/кг	$318,0 \pm 1,1^*$	$307,0 \pm 1,5$
pH	$6,49 \pm 0,02$	$6,37 \pm 0,02$
Буферная емкость по кислоте, ммол-экв./л	$29,95 \pm 1,25^*$	$22,5 \pm 1,25$
Удельная электропроводность, мСм/см	$4,51 \pm 0,01^*$	$3,62 \pm 0,01$

Примечание. * — статистически достоверное отличие в сравнении с показателями гигиенического ополаскивателя ($p \leq 0,05$).

Таблица 2. Изменение омывающих характеристик смешанной слюны

Table 2. Effect of mouthwashes on change of washing parameters of mixed saliva in volunteers (salivary surface tension and viscosity)

	«Ледяная вишня»		Гигиенический ополаскиватель	
	до применения	через 21 день	до применения	через 21 день
Поверхностное натяжение, мН/м	$71,09 \pm 0,10$	$53,95 \pm 0,11$	$65,00 \pm 0,11$	$59,0 \pm 0,10$
Относительная вязкость	$0,41 \pm 0,11$	$0,21 \pm 0,10$	$0,31 \pm 0,10$	$0,21 \pm 0,11$

Таблица 3. Динамика изменения кислотно-основного состояния смешанной слюны до и после применения ополаскивателей в течение 3 недель

1 нед.	I группа			II группа			III группа			
	1 нед.	2 нед.	3 нед.	1 нед.	2 нед.	3 нед.	1 нед.	2 нед.	3 нед.	
pH	до	6,59	6,52	6,58	6,44	6,41	6,57	6,60	6,53	6,60
	после	6,73	6,73	6,80	6,65	6,69	6,70	6,74	6,74	6,85
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	до	16,10	19,00	17,05	26,40	31,80	20,80	16,00	19,00	17,00
	после	10,60	10,40		17,00	15,00	11,80	10,50	10,35	10,80
Буферная емкость по кислоте, ммоль-экв./л	до	6,04	7,07	7,60	8,34	8,51	8,62	6,03	7,06	7,59
	после	5,97	6,82	7,03	6,39	7,82	7,92	5,96	6,81	7,04

данным I группы, в отличие от показателей II группы ($p<0,05$).

Следует отметить, что значимыми защитными механизмами при лечении заболеваний пародонта являются скорость саливации, вязкость, pH, redox-потенциал и буферная емкость слюны по кислоте. Динамика изменений этих показателей в течение 21 дня исследования под влиянием ополаскивателя «Ледяная вишня» свидетельствует об улучшении омывающих и очищающих свойств, а также о нормализации кислотно-основного состояния слюны, что благоприятствует снижению воспаления десен.

Органолептические свойства «Ледяной вишни» положительно оценены участниками исследования: внешний вид, вкусовые характеристики, цвет, запах, консистенция, эффект свежести, ощущение чистоты оценены на $9,25\pm0,5$ балла. При этом 20% участников исследования оценили его как самый лучший.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клинико-лабораторный анализ эффективности применения ополаскивателя «Ледяная вишня» отечественного производства на основе АГТ у молодых пациентов

Table 3. Dynamic changes in pH and oxidation-reduction potentials before and after use of mouthwashes for 3 weeks

при воспалительных заболеваниях пародонта (простом хроническом маргинальном гингивите) выявил улучшение гигиенического состояния полости рта и снижение воспаления свободной десны. У здоровых пациентов также отмечено улучшение гигиенических показателей состояния полости рта.

При курсовом использовании лечебно-профилактического ополаскивателя «Ледяная вишня» отмечается достоверное снижение вязкости слюны, увеличение показателей сиалометрии и ФАМСЖ, поддержание нормальных значений окислительно-восстановительного потенциала смешанной слюны, что содействует адекватному поддержанию кислотно-основных свойств в полости рта за счет высокой буферной емкости, а также слабощелочного pH и нормального значения поверхностного натяжения слюны. Это свидетельствует об улучшении омывающих и очищающих свойств слюны, способствует снижению риска развития кариеса зубов, воспаления свободной десны, профилактике образования зубных отложений у пациентов и восстановлению физиологических параметров полости рта.

Поступила/Received: 11.11.2024

Принята в печать/Accepted: 22.03.2025

ЛИТЕРАТУРА:

- Гатило И.А., Кобылкина Т.Л., Перикова М.Г., Брагин А.Е. Опыт применения высокомолекулярной гиалуроновой кислоты в лечении хронического генерализованного пародонтита. — Стоматология для всех. — 2021; 2 (95): 33—37. [eLibrary ID: 46208104](#)
- Еловикова Т.М., Григорьев С.С., Саблина С.Н., Ермишина Е.Ю. Традиции и инновации пародонтологии: аквакомплекс глицеросольвата титана. Учебное пособие. — Екатеринбург: УГМУ, 2023. — 200 с. <http://elib.usma.ru/handle/usma/18574>
- Ковалевский А.М., Латиф И.И., Ковалевский В.А. Эффективность применения при заболеваниях пародонта дополнительных жидких средств гигиены полости рта — ополаскивателей с экстрактами растений. — Институт стоматологии. — 2018; 4 (81): 56—59. [eLibrary ID: 36762487](#)

REFERENCES:

- Gatilo I.A., Kobylkina T.L., Perikova M.G., Bragin A.E. Experience of the use of high-molecular-weight hyaluronic acid in the treatment of chronic generalized periodontitis. *International Dental Review*. 2021; 2 (95): 33—37 (In Russian). [eLibrary ID: 46208104](#)
- Elovikova T.M., Grigoryev S.S., Sablina S.N., Ermishina E.Yu. Traditions and innovations in periodontics: titanium glycerosolvate aquacomplex. Textbook. Ekaterinburg: Ural State Medical University, 2023. 200 p. <http://elib.usma.ru/handle/usma/18574>
- Kovalevskiy A.M., Latif I.I., Kovalevskiy V.A. Efficiency of application in case of periodontal diseases additional liquid oral hygiene products rinses with plant extracts. *The Dental Institute*. 2018; 4 (81): 56—59 (In Russian). [eLibrary ID: 36762487](#)

4. Улитовский С.Б., Орехова Л.Ю., Калинина О.В., Леонтьев А.А., Лобода Е.С. Мировой опыт внедрения профилактических программ в стоматологии. — *Пародонтология*. — 2024; 1: 13—23. [eLibrary ID: 65428803](#)
5. Цап Н.А., Рубцов В.В., Огнев С.И. Активные компоненты противоспаечной терапии на основе наночастиц титана. — *Медицинский альманах*. — 2019; 5—6 (61): 46—50. [eLibrary ID: 41145850](#)
6. Шевченко О.В. Влияние программ первичной профилактики стоматологических заболеваний на основные тенденции развития стоматологической службы. — *Стоматология*. — 2023; 2: 91—96. [eLibrary ID: 53767247](#)
7. Григорович Э.Ш., Евтиюхина Н.С., Смирнова Л.Е. Анкетирование пациентов медицинских стоматологических организаций различных регионов РФ по вопросам индивидуальной и профессиональной гигиены рта. — *Стоматология*. — 2023; 6—2: 15—20. [eLibrary ID: 56930349](#)
4. Ulitovskiy S.B., Orekhova L.Yu., Kalinina O.V., Leontev A.A., Loboda E.S. The world's experience of introducing prophylactic programs in dentistry. *Parodontologiya*. 2024; 1: 13—23 (In Russian). [eLibrary ID: 65428803](#)
5. Tsap N.A., Rubtsov V.V., Ognev S.I. Active components of anti-adhesion therapy based on titanium nanoparticles. *Medical Almanac*. 2019; 5—6 (61): 46—50 (In Russian). [eLibrary ID: 41145850](#)
6. Shevchenko O.V. The impact of primary prevention programs of dental diseases on the main trends in the development of dental services. *Stomatologiya*. 2023; 2: 91—96 (In Russian). [eLibrary ID: 53767247](#)
7. Grigorovich E.Sh., Evtyukhina N.S., Smirnova L.E. Questionnaire survey of patients of medical dental organizations in different regions of the Russian Federation on the issues of individual and professional oral hygiene. *Stomatologiya*. 2023; 6—2: 15—20 (In Russian). [eLibrary ID: 56930349](#)

С.В. Апресян,

д.м.н., профессор кафедры ортопедической стоматологии

А.Г. Степанов,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой стоматологии

А.П. Зражевская,

аспирант Института цифровой стоматологии

В.К. Суонио,

к.м.н., ассистент Института цифровой стоматологии

Л.С. Григорьянц,

зубной техник Института цифровой стоматологии

РУДН, 117198, Москва, Россия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Апресян С.В., Степанов А.Г., Зражевская А.П., Суонио В.К., Григорьянц Л.С. Сравнительная характеристика лицевых сканеров в эксперименте. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 110—114.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_110

Сравнительная характеристика лицевых сканеров в эксперименте

Реферат. Развитие цифровых технологий и устройств, используемых в ортопедической стоматологии, позволяет сократить время на изготовление протеза, снизить себестоимость и повысить качество изготавливаемых протезов. Одним из наиболее важных этапов производства протеза в цифровом протоколе является этап получения цифровых слепков, которые должны быть максимально точными. **Цель** — оценить в эксперименте точность объемных изображений и определить наиболее подходящие модели лицевых сканеров, оптимальные по соотношению цены и качества. **Материалы и методы.** В исследовании рассматривали 4 модели сканеров: 3dMDface, ObiScanner, Einstar и Planmeca ProMax 3D ProFace. В качестве эталонной модели был выбран стационарный сканер VT MINI V2 (Volume Technologies, Россия). В качестве модели был использован манекен лица с участками рельефной поверхности; выбраны определенные точки (борозды, вдавления), так как данные точки можно воспроизвести на разных сканах: точки 1 и 2 — внешние углы глаз, 3 и 4 — углы рта, 5 — подбородок. Все полученные изображения были импортированы в программу Exocad, где каждый скан поочередно накладывался на скан эталонной модели и измерялось расстояние между сканами. Было проведено по 5 таких исследований для каждого сканера. **Результаты.** ObiScanner имеет наименьшее отклонение от эталонного скана в большем количестве точек: точка 1 — 0,069 мм; точка 4 — 0,015 мм; точка 5 — 0,045 мм, а также он приемлем по цене и доступности. Сканер Planmeca ProMax 3D ProFace имеет наименьшее отклонение от эталонного скана в точке 3 (0,008 мм), но является самым дорогим среди сканеров, участвующих в исследовании. Сканер 3dMDface имеет наименьшее отклонение в точке 2 (0,068 мм) от эталона, но является самым труднодоступным и вторым по стоимости среди участвующих в исследовании сканеров. Сканер Einstar имеет большие значения отклонений от эталонного скана в каждой точке по сравнению с эталонными сканом, чем другие сканеры, участвующие в исследовании, а также имеет самую низкую стоимость и является легкодоступным для покупки.

Ключевые слова: аддитивные технологии, лицевые сканеры, лицевые протезы, цифровые стоматологические технологии, точность сканирования

Comparative characteristics of facial scanners

Abstract. The development of digital technologies and devices used in orthopedic dentistry makes it possible to reduce the time for making a prosthesis, reduce costs and improve the quality of manufactured prostheses. One of the most important stages in the production of a prosthesis in a digital protocol is the stage of obtaining digital impressions, which must be as accurate as possible. **Goal** — to experimentally evaluate the accuracy of three-dimensional images and determine the most suitable models of facial scanners, optimal in terms of price and quality ratio. **Materials and Methods.** The study examined four scanner models: 3dMDface, ObiScanner, Einstar, and Planmeca ProMax 3D ProFace. The reference model chosen was the stationary scanner VT MINI V2 (Volume Technologies, Russia). A facial mannequin with areas of textured surface was used, and specific points (grooves, indentations) were selected, as these points could be reproduced across different scans: points 1 and 2 represent the outer corners of the eyes, points 3 and 4 correspond to the corners of the mouth, and point 5 indicates the chin. All obtained images were imported into the Exocad software, where each scan was sequentially overlaid onto the reference model scan, and the distance between the scans was measured. Five such studies were conducted for each scanner. **Results.** The ObiScanner demonstrated the least deviation from the reference scan at a greater number of points: point 1 — 0.069 mm; point 4 — 0.015 mm; point 5 — 0.045 mm, and it is also acceptable in terms of price and availability. The Planmeca ProMax 3D ProFace scanner showed the least deviation from the reference scan at point 3 (0.008 mm), but it is the most expensive among the scanners involved in the study. The 3dMDface scanner had the least deviation at point 2 (0.068 mm) from the reference, but it is the most difficult to access and the second most expensive among the scanners in the study. The Einstar scanner exhibited higher deviation values from the reference scan at each point compared to the other scanners involved in the study, but it has the lowest cost and is easily accessible for purchase.

Key words: additive technologies, facial scanners, facial prostheses, digital dental technologies, scanning accuracy

FOR CITATION:

Апресян С.В., Степанов А.Г., Зражевская А.П., Суонио В.К., Григорьянц Л.С. Comparative characteristics of facial scanners. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 110—114 (In Russian).

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_110

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития стоматологии все методы лечения можно разделить на 2 большие группы — аналоговые, в которых используется ручной труд, и цифровые, активно внедряющиеся в практику в последние 20—30 лет. Неинвазивные трехмерные методы визуализации широко используются в ортопедической стоматологии, ортодонтии и челюстно-лицевой хирургии. Основное преимущество сканеров заключается в отсутствии неприятных ощущений и минимизации погрешностей по сравнению с аналоговыми оттисками. Использование сканера исключает некоторые проблемы, такие как разделение материала, движение пациента, и позволяет мгновенно оценить качество оттиска. В случае дефекта можно повторно отсканировать или исправить проблемную область. Сканеры ускоряют передачу данных в лабораторию и позволяют сразу начинать планирование конструкции без создания физической модели, что сокращает сроки выполнения работ, снижает риск передачи инфекций [1]. 3D-сканы позволяют исследовать данные во всех плоскостях и дают возможность проанализировать объект с разных углов обозрения, более того, современные CAD-программы могут совмещать 3D-сканы с данными компьютерной томографии для дальнейшего проектирования протезов.

Литературные источники все чаще сообщают, что 3D-сканеры лица можно использовать в стоматологической области — они демонстрируют высокую степень точности [2]. 3D-сканы лица позволяет создать полноценную виртуальную сцену лечения, что способствует дальнейшему изготовлению персонализированных стоматологических конструкций [3]. Точность получения оптического 3D-изображения — залог успешного лечения в цифровой стоматологии. Для получения точного 3D-изображения лица выделяют два метода визуализации: объемные и поверхностные. К объемным методам получения 3D-изображения лица относят компьютерную томографию (КТ), мультиспиральную (МСКТ), конусно-лучевую КТ (КЛКТ) и магнитно-резонансную томографию (МРТ). Данные методы позволяют получать данные о внутренней и внешней анатомии, соответственно, их использование сопряжено с высокими финансовыми затратами как для пациента так и для врача; они требуют высококвалифицированного персонала для работы, а также такие аппараты предполагают воздействие ионизирующего излучения. К методам оптической визуализации относят цифровую стереофотограмметрию [4], лазерное сканирование и структурированную световую проекцию. Все указанные методы используют видимый свет, и поэтому показаны для захвата только внешних структур. Ориентиры мягких тканей считаются менее воспроизведимыми, чем ориентиры твердых тканей, тем не менее получение хороших результатов сканирования мягких тканей — основная цель для использования в челюстно-лицевой хирургии и ортопедической стоматологии.

В стоматологической практике широко используется метод оптической визуализации — цифровая 3D-стереофотограмметрия благодаря безопасности метода, простоте использования и быстроте сбора данных, а также получения высококачественных данных о поверхности и текстуре сканируемого объекта, возможности получения скана лица в анатомическом положении головы. Лазерные сканеры требуют больше времени для сканирования объекта, чем стереофотограмметрические устройства, к тому же сбор данных проводится при закрытых глазах, во избежание риска повреждения глаз от лазерного луча.

Используются две основные техники для 3D-сканеров: контактные и бесконтактные. Контактная техника предполагает использование датчиков на поверхности лица для создания 3D-объекта. Бесконтактная технология предполагает проецирование световых лучей на объект. Бесконтактные методы делятся на две основные категории: активные и пассивные. Лазерные сканеры и структурированная световая проекция относятся к пассивной группе [5]. Лазерные сканеры работают по принципу триангуляции, а структурированная световая проекция представляет собой проекцию световой сетки на объект, деформация этого изображения и есть модель сканируемого объекта. Принцип работы сканера заключается в проецировании света на сканируемый объект, принятии и обработки отраженных лучей, передаче информации на компьютер для получения 3D-изображения. Специальное программное обеспечение обрабатывает облака треугольников и воссоздает объемное изображение объекта. При проведении 3D-сканирования на исследуемую зону проецируется оптическая сетка, которая делит поверхность на триангуляционные треугольники. Чем меньше площадь каждого треугольника, тем точнее получается изображение. Также на качество изображение влияет количество получаемых триангуляционных треугольников.

Проведение научных исследований, изучающих точность получаемых с помощью лицевых сканеров 3D-объектов, относительно темпа развития данной области недостаточно [6].

Несмотря на постоянное совершенствование лицевых сканеров и программного обеспечения на рынке стоматологических аппаратов ассортимент моделей таких устройств ограничен. Это затрудняет внедрение 3D-сканирования лица в стоматологическую практику, несмотря на многие его преимущества, такие как сокращение времени получения цифровых слепков и повышение их качества. Появляется необходимость понимания преимуществ и недостатков каждого из доступных к использованию 3D-сканеров лица.

Цель — оценить в эксперименте точность объемных изображений и определить наиболее подходящие модели лицевых сканеров, оптимальные по соотношению цены и качества.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Точность цифрового оттиска определяется его прецизионностью и истинностью. Прецизионность отражает, насколько близки друг к другу результаты повторных измерений, для определения достаточно сравнить несколько идентичных оттисков [7–9].

Истинность определяет, в какой степени результаты измерений отклоняются от истинных размеров объекта. Метод определения истинности заключается в наложении отсканированных поверхностей друг на друга [10].

Для определения лучшего 3D-сканера, позволяющего получить максимально качественное трехмерное отображение структуры поверхности лица, нами в исследовании были использованы 4 модели и метода получения трехмерных изображений:

- 1) 3dMDface (3dMD, США/Великобритания);
- 2) ObiScanner (Fifth Ingenium, Италия);
- 3) Einstar (Shining 3D, Китай);
- 4) Planmeca ProMax 3D ProFace (Planmeca, Финляндия).

Все перечисленные методы получения 3D-скана лица позволяют экспортить полученное трехмерное изображение в форматах STL и OBJ — это максимально адаптивно для импортирования в открытые программы для проведения дальнейших исследований.

Разрешающая способность — это способность к точному отображению деталей поверхности. Так как эти исследования выполняются на основе сравнения сканов эталонной поверхности, на которой имеется эталонный рельеф — борозды и вдавления, в качестве модели был использован манекен лица с участками рельефной поверхности; выбраны определенные точки (борозды, вдавления), так как их можно воспроизвести на разных

сканах: точки 1 и 2 — внешние углы глаз, 3 и 4 — углы рта, 5 — подбородок (рис. 1).

Система сканирования 3dMDface позволяет получать трехмерное изображение высокого разрешения (геометрическая погрешность в пределах 0,2 мм). Технология сканирования лица заключается в использовании 6 синхронизированных камер: 4 из них передают информацию о рельефе поверхности лица и 2 камеры отвечают за цветопередачу (рис. 2).

ObiScanner является самой новой моделью в линейке исследуемых сканеров. Портативная модель сканера позволяет в течение 15 секунд получить полноценный 3D-скан лица за счет безопасной технологии сканирования лазером I класса (рис. 3).

3D-сканер Einstar был разработан не только для получения трехмерных изображений лица и других частей тела человека, но и для более крупных объектов. Технология сканирования заключается в работе трех инфракрасных проекторов VCSEL, двух стереокамер и одной камеры RGB, отвечающей за цветопередачу. Скорость сканирования составляет 14 кадров в секунду (рис. 4).

Технология сканирования лица Planmeca ProMax 3D ProFace основана на данных объемной КЛКТ и обладает встроенной системой 3D-сканирования лица. Трехмерная фотография позволяет визуализировать мягкие ткани челюстно-лицевой области в комплексе с результатами КТ (рис. 5).

В качестве эталонной модели был выбран скан, полученный с помощью стационарного сканера VT MINI V2 (Volume Technologies, Россия). Данный сканер обладает превосходными техническими характеристиками за счет технологии структурированного подсвета и высококачественных камер технического зрения.

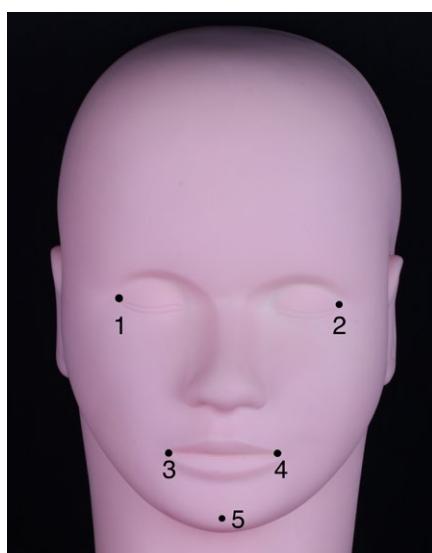


Рис. 1. Манекен с отмеченными точками: 1 и 2 — внешние углы глаз, 3 и 4 — углы рта, 5 — подбородок

Fig. 1. Mannequin with marked points: 1 and 2 — outer corners of the eyes, 3 and 4 — corners of the mouth, 5 — chin



Рис. 2. 3D-скан лица манекена, полученный при помощи 3dMDface (3dMD, США/Великобритания)

Fig. 2. 3D scan of a face obtained using 3dMDface system (3dMD, USA/United Kingdom)



Рис. 3. 3D-скан лица манекена, полученный при помощи ObiScanner (Fifth Ingenium, Италия)

Fig. 3. 3D scan of the face obtained using ObiScanner (Fifth Ingenium, Italy)

С помощью мощного программного обеспечения и качественных компонентов сканер позволяет получать 3D-модели с высокой точностью и детализацией. Данный сканер может сканировать объекты размером от нескольких миллиметров до нескольких метров, применяется в реверсивном инжиниринге, контроле точности, оцифровке объектов. В данном сканере используются черно-белые камеры, позволяющие использовать опцию «синий свет», которая сводит к минимуму влияние внешних источников освещения во время процесса сканирования, повышает точность сканирования и детализацию. Высокую точность и детализацию получают в режиме бининга — 4 пикселя используются как 1, фактически разрешение камеры составляет около 1,5 Мп, размер суммарного пикселя около 4,8 мкм и при этом приблизительно в 2 раза снижается шум матрицы.

Отклонение от эталонного скана, мм Deviation from the reference scan (in mm)

Сканер	№	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
Einstar	1	0,168	0,576	0,363	0,007	0,595
	2	0,157	0,568	0,370	0,010	0,598
	3	0,163	0,580	0,352	0,003	0,590
	4	0,159	0,577	0,371	0,017	0,584
	5	0,161	0,565	0,358	0,005	0,600
Среднее		0,162	0,573	0,363	0,019	0,593
ObiScanner	1	0,068	0,073	0,152	0,013	0,044
	2	0,078	0,081	0,161	0,018	0,05
	3	0,081	0,082	0,172	0,027	0,053
	4	0,061	0,078	0,149	0,010	0,037
	5	0,059	0,071	0,141	0,009	0,039
Среднее		0,069	0,077	0,155	0,015	0,045
Planmeca ProMax 3D ProFace	1	0,078	0,094	0,006	0,031	0,051
	2	0,084	0,096	0,011	0,040	0,056
	3	0,073	0,091	0,004	0,038	0,046
	4	0,080	0,087	0,008	0,042	0,048
	5	0,070	0,099	0,013	0,037	0,056
Среднее		0,077	0,093	0,008	0,032	0,052
3dMDface	1	0,076	0,069	0,135	0,066	0,189
	2	0,080	0,071	0,127	0,068	0,195
	3	0,082	0,065	0,139	0,072	0,178
	4	0,070	0,060	0,129	0,060	0,198
	5	0,073	0,075	0,140	0,059	0,180
Среднее		0,076	0,068	0,134	0,065	0,188



Рис. 4. 3D-скан лица манекена, полученный при помощи Einstar (Shining 3D, Китай)
Fig. 4. 3D scan of the face obtained using Einstar (Shining 3D, China)



Рис. 5. 3D-скан лица манекена, полученный при помощи Planmeca ProMax 3D ProFace (Planmeca, Финляндия)
Fig. 5. 3D scan of the face obtained using Planmeca ProMax 3D ProFace (Planmeca, Finland)

Для данного исследования скан лица манекена был снят в 2-камерном режиме, область сканирования — 200 мм. Все полученные изображения в формате STL были импортированы в программу Exocad, где каждый скан поочередно накладывали на скан эталонной модели, измеряя расстояние между сканами, полученными с помощью сканера Einstar, ObiScanner, Planmeca ProMax 3D ProFace, 3dMDface, за счет чего было рассчитано отклонение от эталонной модели. Проведено по 5 таких исследований для каждого сканера. Также сканеры сравнивали по стоимости для выявления самой подходящей модели по доступности и используемым параметрам в условиях клиники.

РЕЗУЛЬТАТЫ

3D-сканы лица манекена, полученные исследуемыми сканерами, совмещали в программе Exocad с 3D-сканами лица манекена, полученными стационарным сканером VT MINI V2, принятыми за эталон. Измерения проводили в 5 заранее выбранных точках. Проведено по 5 исследований для каждого сканера. Далее рассчитывали среднее значение для каждой точки (см. таблицу).

Таким образом, сканер ObiScanner имеет наименьшее отклонение от эталонного скана в большем количестве точек: точка 1 — 0,069 мм; точка 4 — 0,015 мм; точка 5 — 0,045 мм. Сканер Planmeca ProMax 3D ProFace имеет наименьшее отклонение от эталонного скана в точке 3 — 0,008 мм, а сканер 3dMDface в точке 2 — 0,068 мм.

Стоимость установки Planmeca ProMax 3D ProFace составляла 8,871 млн рублей, стоимость сканера 3dMDface — 4 млн, лицевого сканера ObiScanner — 180 тыс., а сканера Einstar — 90 тыс. рублей. В связи со сложившейся геополитической ситуацией имеются

некоторые сложности при покупке данных лицевых сканеров: так, больше всего времени (1 месяц) займет покупка сканера 3dMDface, а быстрее всего можно приобрести сканер Einstar — на следующий день после оплаты заказа, для приобретения ObiScanner потребуется 2 недели, а Planmeca ProMax 3D ProFace можно получить спустя 1 неделю после полной оплаты заказа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание качественные и количественные характеристики исследуемых трехмерных участков средней зоны лица, наиболее точным для практического стоматологического применения является лицевой сканер ObiScanner, а также он имеет доступную стоимость и оптимальное время для приобретения. Стоит

еще отметить хорошее качество и глубину изображений, полученные при помощи 3D-сканеров и технологий 3dMDface и Planmeca ProMax 3D ProFace, но ввиду довольно высокой стоимости и трудности при приобретении в связи со сложной геополитической ситуацией данные сканеры недоступны большей части практикующих врачей — стоматологов-ортопедов. Сканер Einstar — это очень перспективное устройство ввиду лучшей разрешающей способности, а также небольшой стоимости и легкости в приобретении, однако он требует доработки для нивелирования искажений, в частности программного обеспечения.

Поступила/Received: 23.07.2024

Принята в печать/Accepted: 02.03.2025

ЛИТЕРАТУРА:

1. Костюкова В.В., Ряховский А.Н., Уханов М.М. Сравнительный обзор внутриротовых трехмерных цифровых сканеров для ортопедической стоматологии. — Стоматология. — 2014; 1: 53—59. [eLibrary ID: 21218165](#)
2. Pellitteri F., Bruculeri L., Spedicato G.A., Siciliani G., Lombardo L. Comparison of the accuracy of digital face scans obtained by two different scanners. — Angle Orthod. — 2021; 91 (5): 641—649. [PMID: 33826690](#)
3. Апресян С.В., Степанов А.Г., Варданян Б.А. Цифровой протокол комплексного планирования стоматологического лечения. Анализ клинического случая. — Стоматология. — 2021; 3: 65—71. [eLibrary ID: 46222733](#)
4. Liu C., Artopoulos A. Validation of a low-cost portable 3-dimensional face scanner. — Imaging Sci Dent. — 2019; 49 (1): 35—43. [PMID: 30941286](#)
5. Coward T.J., Watson R.M., Scott B.J. Laser scanning for the identification of repeatable landmarks of the ears and face. — Br J Plast Surg. — 1997; 50 (5): 308—14. [PMID: 9245863](#)
6. Мирзоева М.С. Использование сканирования в ортопедической стоматологии — обзор литературы. — Проблемы стоматологии. — 2017; 1: 31—34. [eLibrary ID: 29256718](#)
7. Dalstra M., Melsen B. From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility. — J Orthod. — 2009; 36 (1): 36—41. [PMID: 19286874](#)
8. Luthardt R.G., Koch R., Rudolph H., Walter M.H. Qualitative computer aided evaluation of dental impressions in vivo. — Dent Mater. — 2006; 22 (1): 69—76. [PMID: 16040117](#)
9. Ряховский А.Н., Костюкова В.В. Сравнительное исследование размерной точности отображения культи зуба и полной зубной дуги, полученного с помощью сканирования на различных интраоральных и лабораторных сканерах. — Стоматология. — 2016; 4: 65—70. [eLibrary ID: 26603275](#)
10. Rudolph H., Luthardt R.G., Walter M.H. Computer-aided analysis of the influence of digitizing and surfacing on the accuracy in dental CAD/CAM technology. — Comput Biol Med. — 2007; 37 (5): 579—87. [PMID: 16844107](#)

REFERENCES:

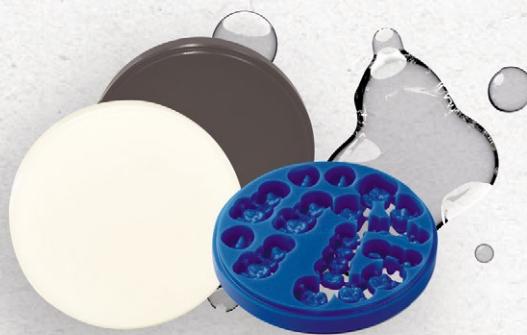
1. Kostiukova V.V., Riakhovskii A.N., Ukhanov M.M. Comparative study of intraoral 3D digital scanners for restorative dentistry. Stomatology. 2014; 1: 53—59 (In Russian). [eLibrary ID: 21218165](#)
2. Pellitteri F., Bruculeri L., Spedicato G.A., Siciliani G., Lombardo L. Comparison of the accuracy of digital face scans obtained by two different scanners. Angle Orthod. 2021; 91 (5): 641—649. [PMID: 33826690](#)
3. Apresyan S.V., Stepanov A.G., Vardanyan B.A. Digital protocol for comprehensive planning of dental treatment. Clinical case analysis. Stomatology. 2021; 3: 65—71 (In Russian). [eLibrary ID: 46222733](#)
4. Liu C., Artopoulos A. Validation of a low-cost portable 3-dimensional face scanner. Imaging Sci Dent. 2019; 49 (1): 35—43. [PMID: 30941286](#)
5. Coward T.J., Watson R.M., Scott B.J. Laser scanning for the identification of repeatable landmarks of the ears and face. Br J Plast Surg. 1997; 50 (5): 308—14. [PMID: 9245863](#)
6. Mirzoeva M.S. Application of scanning technologies in orthopedic dentistry: a review. Actual Problems in Dentistry. 2017; 1: 31—34 (In Russian). [eLibrary ID: 29256718](#)
7. Dalstra M., Melsen B. From alginate impressions to digital virtual models: accuracy and reproducibility. J Orthod. 2009; 36 (1): 36—41. [PMID: 19286874](#)
8. Luthardt R.G., Koch R., Rudolph H., Walter M.H. Qualitative computer aided evaluation of dental impressions in vivo. Dent Mater. 2006; 22 (1): 69—76. [PMID: 16040117](#)
9. Ryakhovskiy A.N., Kostyukova V.V. Implant-supported fixed cantilever prosthesis: the impact on bone stress deformity. Stomatology. 2016; 4: 65—70 (In Russian). [eLibrary ID: 26603275](#)
10. Rudolph H., Luthardt R.G., Walter M.H. Computer-aided analysis of the influence of digitizing and surfacing on the accuracy in dental CAD/CAM technology. Comput Biol Med. 2007; 37 (5): 579—87. [PMID: 16844107](#)

CAD/CAM

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Беловакс диски

воск зуботехнический



белый

для безметалловых
реставраций

синий

для металлокерамики

серый

для металлокерамики

Эсткер диски

оксид циркония



Нт

ST

UT

3D-PRO

прозрачные
суперпрозрачные
ультрапрозрачные
многослойные

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Белакрил диски

полиметилметакрилат
(ПММА)

Нолатек блоки

светоотверждаемый
композит

Нолатек 3D

фотополимерный
материал

- Полные съемные протезы
- Модели десен
- Временные
и долгосрочные коронки,
мосты, зубы
- Демонстрационные
и мастер-модели
- Хирургические шаблоны,
шины, ключи
- Индивидуальные
оттисковые ложки
- Элайнеры
- Модели для прямой
отливки металлов



CAD/CAM

CEREC

LSD/DLP

В.В. Шкарин,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой общественного здоровья и здравоохранения Института непрерывного медицинского и фармацевтического образования (ИНМФО)

Ю.А. Македонова,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой стоматологии ИНМФО

Е.Н. Ярыгина,

к.м.н., доцент, зав. кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии

Л.Д. Вейсгейм,

д.м.н., профессор кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии ИНМФО

Д.Ю. Дьяченко,

к.м.н., доцент кафедры стоматологии ИНМФО

Л.М. Гаврикова,

к.м.н., доцент кафедры стоматологии ИНМФО

ВолГГМУ, 400066, Волгоград, Россия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шкарин В.В., Македонова Ю.А., Ярыгина Е.Н., Вейсгейм Л.Д., Дьяченко Д.Ю., Гаврикова Л.М. Оценка диагностической возможности обученной нейросетевой модели в стоматологии. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 116—123.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_116

Оценка диагностической возможности обученной нейросетевой модели в стоматологии

Реферат. Разработка нейросетей — актуальная задача в современной практике врача-стоматолога в связи с необходимостью достижения высоких показателей интерпретации рентгенологических снимков, сокращения времени на оформление первичной медицинской документации, снижения субъективной оценки при диагностике стоматологических заболеваний.

Цель работы — оценить диагностические возможности интерпретации рентгенологических снимков в стоматологии при помощи обученной нейросетевой модели. **Материалы и методы.**

В исследование были включены 300 ортопантомограмм (ОПТГ) пациентов, на которых было изображено не менее 5 зубов без учета их групповой принадлежности. Снимки случайным образом распределили на 3 группы: I — 200 снимков для обучения нейросетевой модели, II — 50 снимков для контроля модели в процессе обучения, III — 50 снимков для ручной разметки врачами-стоматологами (группа сравнения). Для обучения были выбраны 5 доступных нейросетевых моделей «You Only Look Once» v8 с открытым исходным кодом и различным скоростью операций с плавающей точкой: 12, 42, 110, 220 и 344 Гфлопс. Каждая модель обучалась в течение 5000 эпох с регистрацией промежуточных вариантов обученной модели каждые 100 эпох. **Результаты.** Применение нейросетей в задачах определения различных рентгеноконтрастных структур на ОПТГ выявляет объекты с точностью 0,98 при условии достаточного количества объектов в обучающей выборке. Увеличение количества эпох обучения увеличивает качество детектирования каждого объекта (0,875) и его сегментации (0,947) до пиковых значений к 2500 эпох и становится практически неизменным при дальнейшем обучении. Увеличение параметра быстродействия модели целесообразно до значений 42 Гфлопс, дальнейшее повышение показателя не выявило диагностической ценности. В сравнении с врачами-стоматологами нейросеть показала значительный прирост в скорости обработки одного снимка, примерно в 25 раз быстрее человека, а качество детектирования врачами лучше на 1%, но больший вклад в ошибку внесен объектами, требующими увеличение обучающей выборки, что в очередной раз подтверждает необходимость правильного формирования обучающего набора данных. **Заключение.** Применение нейросети с обученной моделью для детектирования и интерпретации рентгенологических снимков в стоматологии показала высокую диагностическую ценность. Для условий определения и сегментации объектов целесообразно использовать модели таких размеров, которые позволяют обрабатывать объекты с высокой степенью достоверности. Обязательным условием достижения высоких результатов является достаточная обучающая выборка, которая в должной мере способствует повышению качества детектирования объектов и их границ на рентгенологических исследованиях.

Ключевые слова: нейросетевая модель в стоматологии, детектирование объектов, ортопантомограмма

Evaluation of the diagnostic capability of a trained neural network model in dentistry

Abstract. The development of neural networks is an urgent task in the modern practice of a dentist due to the need to achieve high rates of interpretation of X-ray images, reduce the time for processing primary medical documentation, and reduce subjective assessment in the diagnosis of dental diseases. **The aim of the work** is to evaluate the diagnostic possibilities of interpreting X-ray images in dentistry using a trained neural network model. **Materials and methods.** The study included 300 OPTG patients who had at least 5 teeth without taking into account their group affiliation. The images were randomly divided into 3 groups: I — 200 images for training the neural network model, II — 50 images for monitoring the model during training, III — 50 images for manual marking by dentists (comparison group). Five available “You Only Look Once” v8 neural network models with open source code and different floating-point operation speeds were selected for training: 12, 42, 110, 220 and 344 Gflops. Each model was trained for 5,000 epochs with the registration of intermediate variants of the trained model every 100 epochs. **Results.** The use of neural networks in the tasks of determining various X-ray contrast structures at the optical imaging

V.V. Shkarin,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Public health and health care Department

Yu.A. Makedonova,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Dentistry Department

E.N. larygina,

PhD in Medical Sciences, associate professor and head of the Oral and maxillofacial surgery Department

L.D. Veisgeim,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Prosthodontics and orthodontics Department

D.Yu. Dyachenko,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Dentistry Department

L.M. Gavrikova,

PhD in Medical sciences, associate professor of the Dentistry Department

Volgograd State Medical University,
400066, Volgograd, Russia**FOR CITATION:**

Shkarin V.V., Makedonova Yu.A., larygina E.N., Veisgeim L.D., Dyachenko D.Yu., Gavrikova L.M. Evaluation of the diagnostic capability of a trained neural network model in dentistry. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 116—123 (In Russian).
DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_116

laboratory identifies objects with an accuracy of 0.98, provided there are a sufficient number of objects in the training sample. An increase in the number of training epochs increases the quality of detection of each object (0.875) and its segmentation (0.947) to peak values by 2500 epochs and becomes almost unchanged with further training. An increase in the model's performance parameter is advisable to values of 42 Gflops, a further increase in the indicator did not reveal diagnostic value. In comparison with dentists, the neural network showed a significant increase in the processing speed of a single image, about 25 times faster than a human, and the quality of detection by doctors is 1% better, but a greater contribution to the error was made by objects requiring an increase in the training sample, which once again confirms the need for proper formation of the training dataset. **Conclusion.** The use of a neural network with a trained model for the detection and interpretation of X-ray images in dentistry has shown high diagnostic value. For the conditions for defining and segmenting objects, it is advisable to use models of such sizes that allow processing objects with a high degree of confidence. A prerequisite for achieving high results is a sufficient training sample, which contributes to improving the quality of detection of objects and their boundaries in X-ray studies.

Key words: neural network model in dentistry, object detection, orthopantomogram

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько лет особое развитие в медицине получили методы компьютерного зрения и алгоритмы анализа плоскостных и объемных данных. Это связано не только с прорывным развитием аппаратных технологий обработки массивов данных, но и с внедрением технологий распознавания электронно-вычислительными машинами контекста и нелинейной обработки данных. Одним из ярких примеров подобной технологии в стоматологии можно считать технологии сверточных нейронных сетей, представляющих собой революционную трансформацию компьютерного анализа [1, 2]. Они позволяют обучить математическую модель проведению анализа, поиска, идентификации и сегментации объектов в исходных массивах данных. Алгоритмы глубокого обучения по своему принципу работы схожи с работой мозга человека и подходом к анализу визуальных образов [3]. Они предоставляют возможность выявить ключевые маркеры и группы объектов, которые ранее нейросетевая модель встречала в процессе обучения [4]. Наглядной демонстрацией практического применения технологии может служить рентгенологическое исследование, которые являются двухмерным массивом пикселей (прицельная внутроротовая рентгенография, ортопантомография и т.д.) или трехмерным массивом вокселей (конусно-лучевая компьютерная или магнитно-резонансная томография и т.д.). Однако, несмотря на постоянное совершенствование рентгенологических методик, анализ и интерпретация данных проводятся врачом-специалистом при помощи визуального восприятия изображения. В отечественных и зарубежных публикациях описаны возможные трудности интерпретации рентгенологических снимков [5]. Недостаточная и/или неправильная диагностика оказывает значительное влияние на дальнейший прогноз лечения заболевания полости рта.

С целью повышения диагностической ценности исследований в качестве системы поддержки принятия решений можно использовать компьютерные технологии, в том числе нейронные сети [6]. При условии множества факторов: адекватного обучения математической модели, достаточного объема обучающей выборки, точности

создания обучающего набора и других факторов, — можно добиться высоких показателей достоверности при анализе рентгенологических снимков. Применение подобных технологий может способствовать расширению диагностических возможностей на стоматологическом приеме.

Однако в стоматологии остро ощущается дефицит свободного доступа к диагностическим нейросетям, направленным на интерпретацию рентгенологических изображений [7]. Разработка и обучение данных систем является актуальной задачей в современной практике врача-стоматолога.

Цель исследования — оценить диагностические возможности интерпретации рентгенологических снимков в стоматологии при помощи обученной нейросетевой модели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено рандомизированное контролируемое исследование 334 ортопантомограмм (ОПТГ) пациентов от 18 до 74 лет не менее чем с 5 зубами в полости рта и без признаков патологии костной ткани на рентгеновском снимке. Отбор ОПТГ проводили при обследовании пациентов на базе Волгоградской областной клинической стоматологической поликлиники с февраля по апрель 2024 г. После первичного отсева в рамках разработки нейросети и обучения модели для врачей-стоматологов в работу было включено 300 ОПТГ (рис. 1).

Распределение между первой и второй группами находилось в общепринятое соотношении 80:20, в соответствии с правилами обучения нейросетевых моделей: 80% от всех исходных данных, причисленных к обучающей выборке, помещается в группу обучения, 20% — в группу контроля обучения для отслеживания качества полученной модели [8—10].

Рандомизация ОПТГ осуществлялась по написанному нами алгоритму, который позволил сформировать группы таким образом, чтобы распределение всех объектов интереса между 3 группами стремилось к соотношению 4:1:1:

1 — 200 уникальных ОПТГ, на которых нейросетевая модель обучалась в течение каждой эпохи;

II — 50 ОПТГ — контроль обучения модели
 III — 50 ОПТГ для оценки возможности применения нейросетевой модели диагностики в стоматологии.

Это позволило распределить все детектированные объекты на ОПТГ по группам с указанным ранее соотношением и предотвратить случаи попадания объектов с меньшей частотой встречаемости в одну группу и полное отсутствие их в других. Все обучающие данные были подвергнуты дополнительной обработке в процессе обучения модели для увеличения выборки.

На всех снимках объектами исследования для идентификации были приняты моляры, премоляры, клыки и резцы верхней и нижней челюсти, а также коронки, искусственные зубы, корни, штифтово-кульевые конструкции, металлические штифты, дентальные имплантаты и пломбы. Зубы были разделены по принципу функциональной принадлежности для каждой челюсти, корни зубов относили в отдельную группу при разрушении коронковой части более 50% от визуализируемой площади.

Ручная цифровая разметка проводилась исследователями на основе рентгенологической картины пациента и данных клинического осмотра для составления полной картины клинической ситуации. Процедура включала обведение контуров твердых тканей, а также иных рентгеноконтрастных элементов: реставраций, ортопедических конструкций и др. В случае конфликта границ объектов различной групповой принадлежности максимально сохранялись визуализируемые границы и идентифицировались все доступные объекты: например зуб, покрытый коронкой, отмечался как зуб соответствующей функциональной группы и отдельно детектировалась коронка (рис. 2). В ходе работы было идентифицировано 11 385 объектов.

Далее было проведено сравнительное исследование на 5 моделях нейронной сети «You Only Look Once» v8 с открытым исходным кодом и различным уровнем производительности средствами глубокого машинного обучения. Нейросеть запускали на компьютере с процессором i5-11900KF, 32 Гб оперативной памяти DDR4, видеокартой NVIDIA GeForce RTX 4080 с 16 Гб памяти под управлением Windows 10. Код выполняли в среде Python 3.11 с библиотекой PyTorch 1.9.1 и пакетом torchvision 0.15.0. В ходе обучения для сокращения времени обучения задействовали NVIDIA CUDA 11.3 с применением графического процессора. Нейросетевые

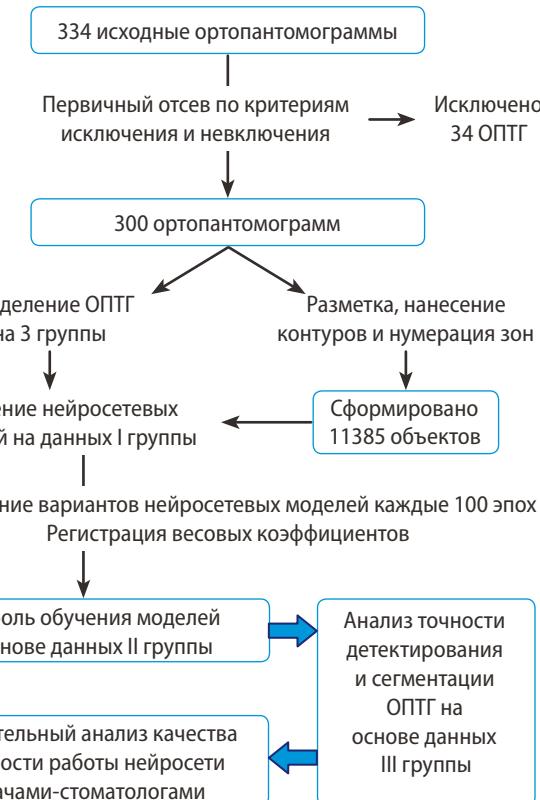


Рис. 1. Дизайн исследования

Fig. 1. Study design

модели были разделены по скорости выполнения операций с плавающей запятой: nano (N), small (S), medium (M), large (L) и extra-large (X; табл. 1).

В ходе исследования проводилось обучение каждой модели нейронной сети с ОПТГ из I группы. Контроль обучения проводился на каждой эпохе при помощи

Таблица 1. Характеристика различных моделей нейронных сетей
 Table 1. Characteristics of various neural network models

Модель	Производительность, Гфлопс	Размер входного изображения для обучения, пикс.	Скорость работы нейросети на процессоре, мс
Nano	12,6	640	96,1
Small	42,6	640	155,7
Medium	110,2	640	317,0
Large	220,5	640	572,4
Extra-large	344,1	640	712,1



Рис. 2. Предварительный этап обучения нейросети. Пациент Б., 44 года: А — ОПТГ (исходные данные), В — разметка рентгеноконтрастных структур в зависимости от класса принадлежности



Fig. 2. Preliminary stage of neural network training. Patient B., 44 years old: A — Orthopantomogram (initial data), B — Marking of radiopaque structures depending on the class of belonging

II группы. Каждая нейросетевая модель обучалась в течение 5000 эпох, что является двукратным увеличением количества необходимых эпох до достижения пиковых значений результатов обучения. Одна эпоха соответствует процессу прохождения нейронной сети по всему набору обучающей выборки (обучение на 200 снимках первой группы и замер качества модели на II группе). Каждая модель обучалась в течение 5000 эпох с регистрацией промежуточных вариантов весовых коэффициентов обученной модели каждые 100 эпох.

Далее, после пройденного обучения каждой модели, был проведен сравнительный анализ точности детектирования и сегментации ОПТГ для каждой модели (выбирали варианты моделей с наилучшими показателями контроля обучения). Сравнивали результат работы нейросети со вручную размеченными границами ОПТГ III группы.

Следующим этапом стало проведение сравнительного анализа качества и скорости работы с врачами-стоматологами. Для этого в процессе проверки работы модели на III группе сохранялись данные, полученные при детектировании объектов, а также время, затраченное нейросетью на работу с ОПТГ. В сравнительном анализе исследования приняло участие 10 врачей-стоматологов. В ходе исследования они должны были записать зубную формулу на основе данных ОПТГ, учитывая все объекты исследования. Помимо зубной формулы, регистрировалось время, затраченное на анализ ОПТГ.

Для анализа качества обучения нейросетевой модели были приняты следующие показатели исхода исследования: точность каждой нейросетевой модели, отзыв модели, точность идентификации и точность сегментации объекта на снимке. Для работы нейросети с врачами-стоматологами были приняты следующие показатели исхода исследования: время, затраченное на распознавание, а также запись зубной формулы по ОПТГ, качество детектирования структур на рентгенограмме.

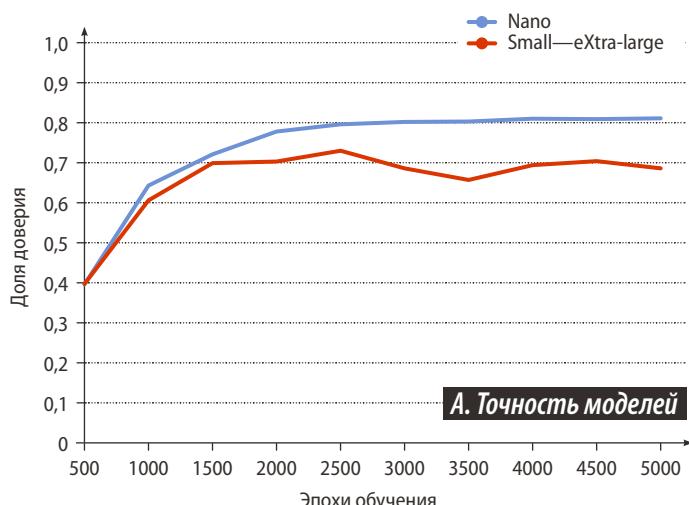


Рис. 3. Точность (A) и отзыв моделей (B) при пороге доверия 0,05

Таблица 2. Суммарное количество выделенных объектов на ОПТГ

Table 2. Total number of selected objects in orthopantomographic studies

Объект	I группа		II группа		III группа	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Моляры верхней челюсти	832	7,31	207	1,82	206	1,81
Премоляры верхней челюсти	610	5,36	155	1,36	154	1,35
Клыки верхней челюсти	378	3,32	93	0,82	95	0,83
Резцы верхней челюсти	735	6,46	187	1,64	182	1,60
Моляры нижней челюсти	842	7,40	208	1,83	211	1,85
Премоляры нижней челюсти	721	6,33	176	1,55	182	1,60
Клыки нижней челюсти	406	3,57	102	0,90	106	0,93
Резцы нижней челюсти	794	6,97	201	1,77	201	1,77
Коронки	891	7,83	227	1,99	222	1,95
Искусственные зубы	124	1,09	29	0,25	27	0,24
Корни	246	2,16	59	0,52	64	0,56
Штифтово-кульевые конструкции	190	1,67	48	0,42	52	0,46
Металлические штифты	18	0,16	3	0,03	5	0,04
Дентальные имплантаты	29	0,25	6	0,05	8	0,07
Пломбы	772	6,78	191	1,68	190	1,67

В ходе обучения нейросети были оценены дополнительные показатели процесса обучения нейросетевой модели: время, необходимое для достижения требуемого количества эпох обучения, объем задействованной видеопамяти и среднее значение потери пакета сегментации во время проверки.

При статистической обработке данных использовали методы вариационной статистики, различие между сравниваемыми показателями считалось достоверным при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Группа обучения, группа контроля и группа сравнения характеризовались сопоставимостью по изучаемым рентгеноконтрастным структурам. Всего было выделено 11 385 объектов (табл. 2). Анализ точности определения модели и ее отзыва представлен на рис. 3.

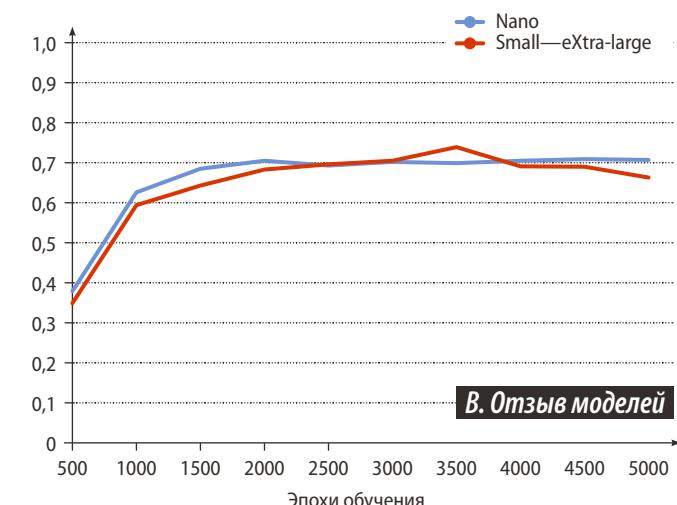


Fig. 3. Model accuracy (A) and recall (B) at a confidence threshold of 0,05

В процессе анализа среднего значения потери пакета сегментации во время проверки точности и отзыва модели было выявлено, что модели S, M, L, X идентичны, поэтому на графике они отражены одной линией.

При анализе работы различных моделей на ОПТГ III группы, которые нейросетевая модель не встречала в ходе этапа обучения, было выявлено, что присутствуют значительные различия обнаружения, детектирования и сегментации объектов в сравнении эпох обучения с 500 по 2500 во всех моделях нейросети, а также имеются меньшие по значению, но детектируемые изменения при сравнении эпох обучения с 2500 по 5000 (табл. 3).

На основе данных рентгенологического исследования пациентов I группы выявили четкую закономерность: при увеличении количества эпох пропорционально увеличиваются временные затраты цифрового оборудования (табл. 4.).

Среднее значение потери пакета сегментации во время проверки всех нейросетевых моделей примерно одинаково на всех этапах (рис. 4.).

Таблица 3. Данные результатов работы нейросети и описание ОПТГ III группы

Table 3. Data from the results of the neural network and description of orthopantomograms of the third group

	Врачи-стоматологи	Нейросеть, модель N	Нейросеть, модели S—X
Средняя скорость чтения ортопантомограммы и запись ее зубной формулы, секунды	51,82±2,17	1,86±0,17	2,01±0,16
Точность определения объектов на снимках	0,99±0,01	0,95±0,02	0,98±0,01

Таблица 4. Результаты обучения нейросетевой модели

Table 4. Neural network model training results

Модель	Время обучения, секунды			Средний объем видеопамяти для всех эпох, Гб
	500 эпох	2500 эпох	5000 эпох	
N	1987	7534	14741	9,47±0,86
S	1927	7397	14302	9,73±0,72
M	1981	7459	14422	9,84±0,91
L	1748	7400	14478	9,97±0,90
X	1328	6782	13940	10,1±0,92

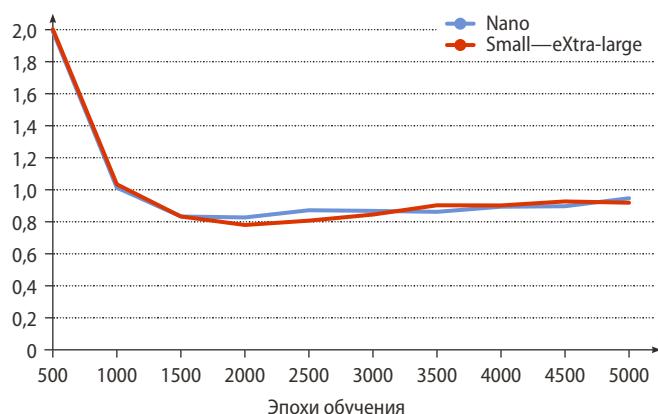


Рис. 4. Среднее значение потери пакета сегментации во время проверки в процессе обучения различных моделей
Fig. 4. Average segmentation packet loss during validation during training of different models

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования подтверждают возможность применения нейросетевых моделей на основе глубокого обучения для применения их в задачах идентификации различных стоматологических структур и образований на ОПТГ.

Небольшой объем выборки исследования не может способствовать переносу полученных результатов на генеральную совокупность.

В ходе исследования процесса обучения нейросетевой модели были получены результаты, что размер модели, номер эпохи влияет незначительно на скорость прохождения одной эпохи, а это позволяет детально просчитать скорость обучения и спрогнозировать необходимое время обучения.

Учитывая, что в процессе анализа моделей было выявлено, что модели S, M, L и X идентичны. Это вызвано избыточностью замера алгоритма моделей M, L и X для поставленной задачи и в дальнейшем они не рассматривались для обсуждения. Все результаты обсуждения были интерпретированы на модель S-типа.

Результат анализа нейросетевых моделей в III группе показал, что объекты, у которых выборка была ограничена небольшим набором исходных данных для обучения, плохо идентифицируются на снимках (дентальный имплантат, анкерный штифт). Трудности в интерпретации объектов также встречаются у корней и штифтово-культиевых конструкций, это вызвано не только недостаточным количеством выборки, но и схожестью клинической ситуации: корень может быть часто интерпретирован неправильно и детектирован как зуб, покрытый коронкой или большим объемом пломбировочного материала, в этот же момент штифтово-культиевая конструкция визуально на ОПТГ по виду схожа с запломбированным корневым каналом, а также ее часть всегда перекрыта коронкой, что ограничивает интерпретацию ее границы. Сложности возникают при интерпретации больших реставраций из пломбировочного материала — это связано с его схожестью с коронками на рентгенограмме, или граница наложения на снимке контактов двух интактных зубов может быть идентифицирована как пломба. Эти и подобные случаи требуют увеличения исходной выборки, доработки алгоритма идентификации и обязательной индивидуальной интерпретации, что позволит повысить точность интерпретации (рис. 5, 6).

Анализ работы нейросети с различными моделями и дифференцированным их обучением показал, что более высокое качество детектирования достигается при определенных значениях размера модели и количества эпох обучения (при условии статистического порога доверия 0,05), что наглядно продемонстрировано на рис. 7 и 8.

Все вышесказанное гармонично дополняется результатами анализа группы сравнения, показывающими, что к 2500 эпох достигается достаточная точность

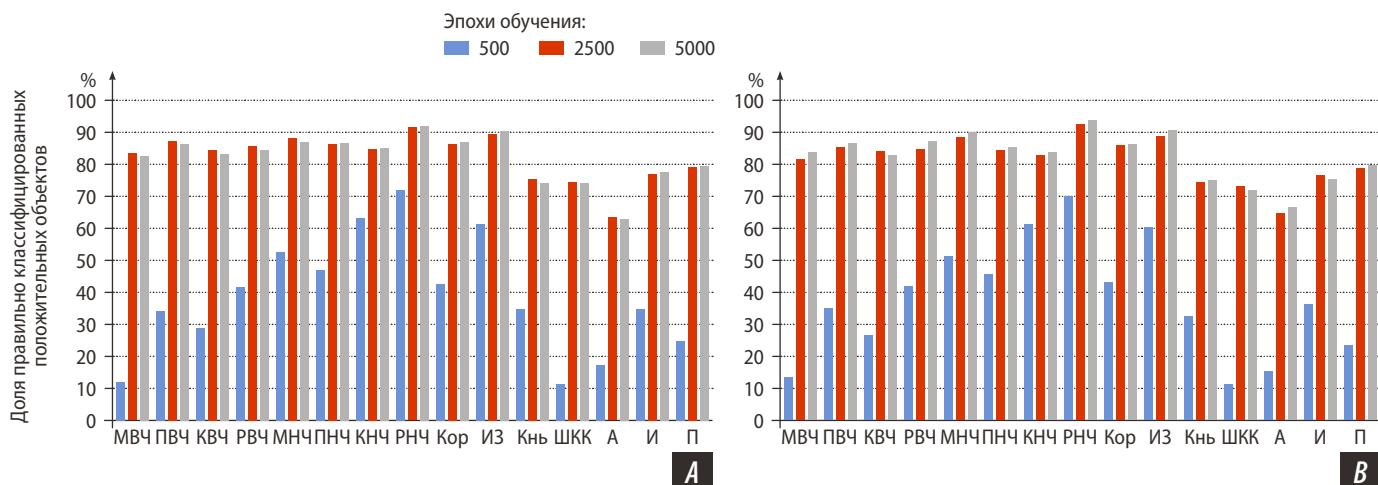


Рис. 5. Сравнение результатов идентификации объектов нейросетевой моделью с эталонными значениями на основе данных III группы: А — N-модели, В — S, M, L и X-модели. Различия данных N-модели статистически достоверно значимы по сравнению с данными остальных моделей одного периода обучения ($p<0,05$)

Fig. 5. Comparison of the results of object identification by the neural network model with reference values based on data from group 3: A — N-model, B — S, M, L, and X models. The differences of the N-model data are statistically significant compared to the data of the other models of the same training period ($p<0.05$)

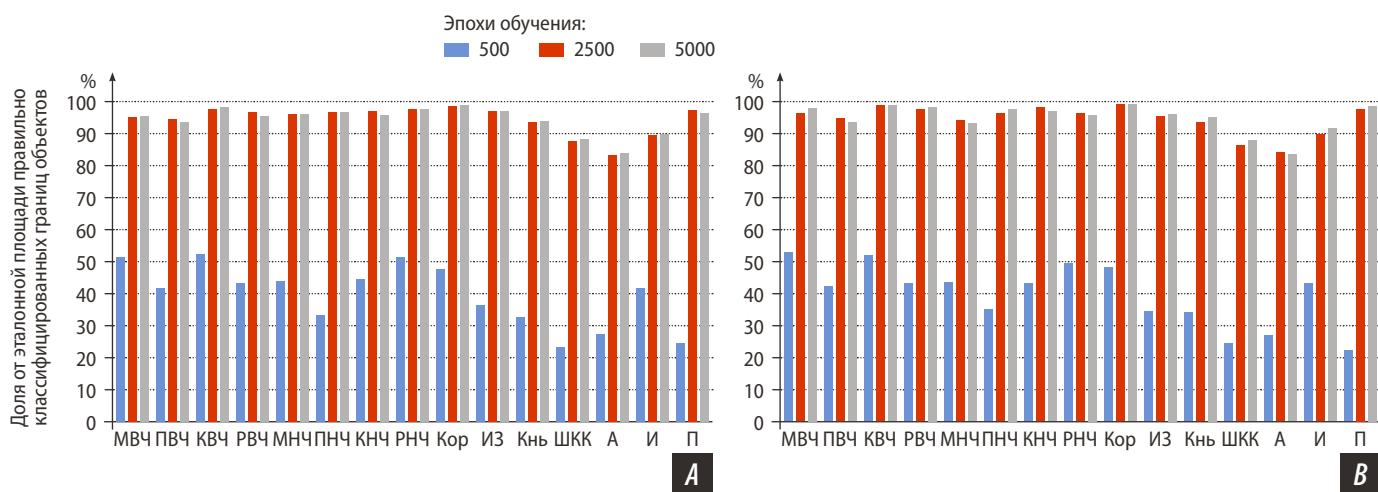


Рис. 6. Сравнение результатов идентификации границ объектов нейросетевой моделью с эталонными значениями на основе данных III группы: А — N-модель, В — S, M, L, и X-модели. Различия данных N-модели статистически достоверно значимы по сравнению с данными остальных моделей одного периода обучения ($p<0,05$)

Fig. 6. Comparison of the results of identifying object boundaries using a neural network model with reference values based on data from group 3: A — N-model, B — S, M, L, and X models. The differences of the N-model data are statistically significant compared to the data of the other models of the same training period ($p<0.05$)



Рис. 7. Динамика изменения качества работы алгоритма S-модели при увеличении эпох обучения: А — 2000 эпох обучения, В — 3500 эпох обучения. Обозначения: 1 — зуб 4.3 идентифицирован как клык нижней челюсти; 2—5 — резцы нижней челюсти (4.2, 4.1, 3.1, 3.2); 6 (А) — зуб 3.3 идентифицирован как резец нижней челюсти; 7 (А) — зуб 3.4 идентифицирован как премоляр нижней челюсти, коронка не идентифицирована; 7 (В) — зуб 3.4 идентифицирован как премоляр нижней челюсти, коронка идентифицирована; 8 — зуб 3.5 идентифицирован как премоляр нижней челюсти; 9 — коронка

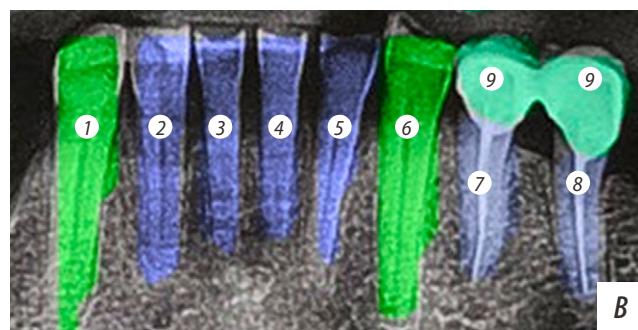


Fig. 7. Dynamics of changes in the quality of the S-model algorithm with increasing learning epochs: A — 2000 epochs of learning, B — 3500 epochs of learning. Labels: 1 — tooth 4.3 identified as the canine of the lower jaw; 2—5 — incisors of the lower jaw (4.2, 4.1, 3.1, 3.2); 6 A — tooth 3.3 identified as the incisor of the lower jaw; 7 A — tooth 3.4 identified as the premolar of the lower jaw, the crown is not identified; 7 B — tooth 3.4 identified as the premolar of the mandible, the crown is identified; 8 — tooth 3.5 identified as the premolar of the mandible; 9 — crown

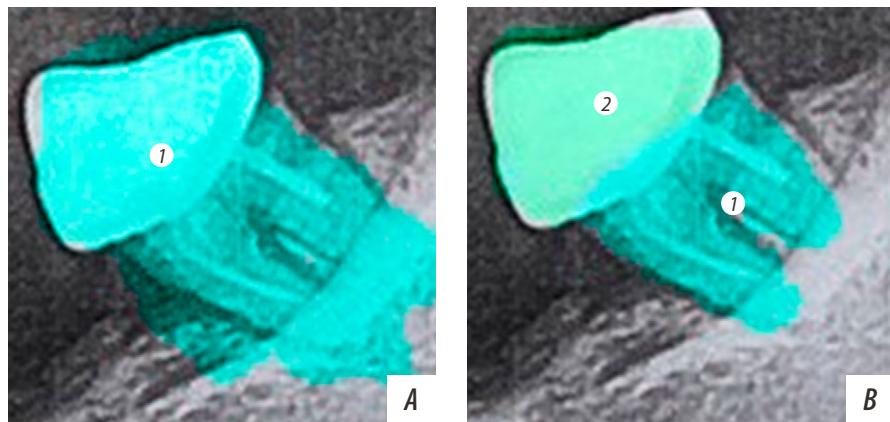


Рис. 8. Динамика изменения качества работы для разных нейросетевых моделей в условиях равного количества (2500 эпох) обучения в области зуба 3.7: А — N-модель, В — S модель. Обозначения: 1 А — зуб 3.7 идентифицирован, как моляр нижней челюсти, контур в неправильных границах; 1 В — зуб 3.7 идентифицирован, как моляр нижней челюсти, контур в правильных границах; 2 В — коронка

у большинства объектов с большим количеством исходного материала для обучения в обеих моделях (N и S), однако, у объектов с малым количеством исходного материала для обучения алгоритма замечено снижение качества идентификации объекта и его границ [11, 12].

Данные сравнительного анализа работы нейросетевого алгоритма с врачами-стоматологами продемонстрировали значительное сокращение среднего времени, необходимого на детектирование и описание одного снимка в 27,81 раз для нейросетевой модели N-типа и в 25,77 раз для нейросетевых моделей S—X-типа. Однако следует отметить, что качество детектирования было на 3,66% меньше для нейросетевой модели N-типа по сравнению с врачами и на 1,06% меньше для нейросетевой модели X-типа по сравнению с врачами. Замечено, что сложности в детектировании для нейросетей вызывают зубы, ранее леченные по поводу осложненного кариеса, с запломбированными корневыми каналами и аналогичные зубы, но с установленными в них штифтово-кульцевыми конструкциями и покрытые коронкой. В такой клинической ситуации больше всего допустили ошибку врачи-стоматологи (13% ошибок), нейросетевая модель N-типа — 17%, и S—X-модели 12% ошибок. Такую большую долю ошибок можно связать с размером выборки в 52 искомых элементах на всю III группу. Также врачи-стоматологи допустили ошибки при детектировании пломб в 2,63% случаев, а нейросеть в 1,59% и 0,53% случаев для N- и S—X-моделей соответственно.

Особый вклад в снижение показателей качества детектирования объектов при сравнительном анализе внесли анкерные штифты по причине малой выборки группы (5 элементов в III группе). Врачи-стоматологи смогли выявить все 5 анкерных штифтов, что соответствует 100%, однако ошибка детектирования в два элемента для N-модели и в один — для S—X-моделей привела к показателям точности в 60 и 80%, соответственно. Это еще раз подтверждает необходимость формирования

Fig. 8. Dynamics of changes in the quality of work for different neural network models under conditions of an equal 2500 epochs of learning in the tooth 3.7: A — N-model, B — S-model. Labels: 1 A — tooth 3.7 identified as a mandibular molar, the contour is not in the correct boundaries; 1 B — tooth 3.7 identified as a mandibular molar, the contour is in the correct boundaries; 2 B — crown

достаточного размера обучающей выборки и выбора нейросетевой модели требуемого размера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая полученные результаты исследования, можно сделать вывод, что обученные нейросетевые модели диагностики можно применять для детектирования и интерпретации рентгенологических снимков в стоматологии.

Для условий определения и идентификации объектов на плоскостных рентгенограммах целесообразно использовать нейросетевые модели средних размеров. Обязательным условием достижения высоких результатов является достаточная по размерам обучающая выборка, которая в должной мере способствует повышению качества детектирования объектов и их границ.

Учитывая тот факт, что нейросеть позволяет значительно сократить время диагностики, сохраняя точность детектирования, сопоставимую с врачами-стоматологами, применение нейросетевых моделей на клиническом приеме может позволить врачу сократить время, необходимое для работы с медицинской документацией, повысить качество диагностики рентгенологических снимков, а также исключить фактор субъективного анализа.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование проведено в рамках реализации гранта РНФ № 24-25-20098 и Соглашения № 10 о предоставлении субсидий из областного бюджета (Волгоградская обл.) от 31.05.2024.

FUNDING

Russian Science Foundation grant No. 24-25-20098 and the Agreement No.10 on the provision subsidies from the regional budget (Volgograd region) dated 05/31/2024.

Поступила/Received: 30.06.2024

Принята в печать/Accepted: 14.02.2025

ЛИТЕРАТУРА:

1. Казарян Г.Г., Бекреев В.В., Иванов С.Ю., Оборотистов Н.Ю., Гусаров А.М., Хлыстова Т.В., Иванова И.В., Солошенков П.П., Цай П.А., Кибардин И.А. Возможности ультразвуковой диагностики и применения искусственной нейронной сети для оценки морфологии и размеров суставного диска височно-нижнечелюстного сустава. — *Клиническая стоматология*. — 2024; 1: 54—59. [eLibrary ID: 63433208](#)
2. Мураев А.А., Гусейнов Н.А., Цай П.А., Кибардин И.А., Буренчев Д.В., Иванов С.С., Оборотистов Н.Ю., Матюта М.А., Грачев Н.С., Ларин С.С. Искусственные нейронные сети в лучевой диагностике, в стоматологии и в челюстно-лицевой хирургии (обзор литературы). — *Клиническая стоматология*. — 2020; 3 (95): 72—80. [eLibrary ID: 44008071](#)
3. Lin C., Huang Y., Wang W., Feng S., Feng S. Lesion detection of chest X-Ray based on scalable attention residual CNN. — *Math Biosci Eng.* — 2023; 20 (2): 1730—1749. [PMID: 36899506](#)
4. Yu G., Sun K., Xu C., Shi X.H., Wu C., Xie T., Meng R.Q., Meng X.H., Wang K.S., Xiao H.M., Deng H.W. Accurate recognition of colorectal cancer with semi-supervised deep learning on pathological images. — *Nat Commun.* — 2021; 12 (1): 6311. [PMID: 34728629](#)
5. Рогацкин Д.В., Гелетин П.Н. Оптимизация алгоритма внутриротовой рентгенографии многокорневых зубов на примере первых моляров верхней челюсти и моляров нижней челюсти с radix entomolaris. Часть 1. — *Клиническая стоматология*. — 2023; 2: 16—23. [eLibrary ID: 54167521](#)
6. Леваньков Б.В., Выборов Е.М., Яковенко Н.И. Система поддержки принятия врачебных решений в медицинской диагностике на основе байесовских сетей. — *Известия Российской военно-медицинской академии*. — 2020; 4: 39—43. [eLibrary ID: 48033883](#)
7. Шанина А.Ю. Применение искусственного интеллекта в стоматологии. — *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2023; 6 (132): . [eLibrary ID: 54052633](#)
8. Guefrechi S., et al. Deep learning based detection of COVID-19 from chest X-ray images. — *Multimed Tools Appl.* — 2021; 80 (21—23): 31803—31820. [PMID: 34305440](#)
9. Ranjbarzadeh R., Bagherian Kasgari A., Jafarzadeh Ghoushchi S., Anari S., Naseri M., Bendechache M. Brain tumor segmentation based on deep learning and an attention mechanism using MRI multi-modalities brain images. — *Sci Rep.* — 2021; 11 (1): 10930. [PMID: 34035406](#)
10. Рогацкин Д.В., Гелетин П.Н. Оптимизация алгоритма внутриротовой рентгенографии многокорневых зубов на примере первых моляров верхней челюсти и моляров нижней челюсти с radix entomolaris. Часть 2. — *Клиническая стоматология*. — 2023; 3: 6—13. [eLibrary ID: 54509002](#)
11. Колесниченко О.Ю., Мартынов А.В., Пулит В.В., Колесниченко Ю.Ю., Шакиров В.В., Варламов О.О., Минушкина Л.О., Сотник А.Ю., Жилина Т.Н., Дорофеев В.П., Смородин Г.Н., Жапаров М.К., Мазелис Л.С. Современный передовой уровень искусственного интеллекта для умной медицины. — *Ремедиум*. — 2019; 4: 36—43. [eLibrary ID: 37532436](#)
12. Кореневский Н.А., Аксенов В.В., Родионова С.Н., Гонтарев С.Н., Лазурина Л.П., Сафонов Р.И. Метод комплексной оценки уровня информативности классификационных признаков в условиях нечеткой структуры данных. — *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. — 2022; 3: 80—96. [eLibrary ID: 49725204](#)

REFERENCES:

1. Kazarian G.G., Bekreev V.V., Ivanov S.Yu., Oborotistov N.Yu., Gussarov A.M., Khlystova T.V., Ivanova I.V., Soloshenkov P.P., Tsay P.A., Kibardin I.A. Possibilities of ultrasound diagnostics and the use of artificial neural network to assess the morphology and size of the articular disc of the temporomandibular joint. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2024; 1: 54—59 (In Russian). [eLibrary ID: 63433208](#)
2. Muraev A.A., Guseynov N.A., Tsay P.A., Kibardin I.A., Burenchev D.V., Ivanov S.S., Oborotistov N.Yu., Matuta M.A., Grachev N.S., Larin S.S. Artificial neural networks in dental and maxillofacial radiology: a review. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2020; 3 (95): 72—80 (In Russian). [eLibrary ID: 44008071](#)
3. Lin C., Huang Y., Wang W., Feng S., Feng S. Lesion detection of chest X-Ray based on scalable attention residual CNN. *Math Biosci Eng.* 2023; 20 (2): 1730—1749. [PMID: 36899506](#)
4. Yu G., Sun K., Xu C., Shi X.H., Wu C., Xie T., Meng R.Q., Meng X.H., Wang K.S., Xiao H.M., Deng H.W. Accurate recognition of colorectal cancer with semi-supervised deep learning on pathological images. *Nat Commun.* 2021; 12 (1): 6311. [PMID: 34728629](#)
5. Rogatskin D.V., Geletin P.N. Optimization of the algorithm for intraoral radiography of multi-rooted teeth on the example of the first maxillary molars and mandibular molars with radix entomolaris. Part 1. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2023; 2: 16—23 (In Russian). [eLibrary ID: 54167521](#)
6. Levan'kov B.V., Vyborov E.M., Yakovenko N.I. Medical decision-making support system based on bayesian networks in medical diagnostics. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2020; 4: 39—43 (In Russian). [eLibrary ID: 48033883](#)
7. Shanina A.I. The use of artificial intelligence in dentistry. *International Research Journal*. 2023; 6 (132): (In Russian). [eLibrary ID: 54052633](#)
8. Guefrechi S., Jabra M.B., Ammar A., Koubaa A., Hamam H. Deep learning based detection of COVID-19 from chest X-ray images. *Multimed Tools Appl.* 2021; 80 (21—23): 31803—31820. [PMID: 34305440](#)
9. Ranjbarzadeh R., Bagherian Kasgari A., Jafarzadeh Ghoushchi S., Anari S., Naseri M., Bendechache M. Brain tumor segmentation based on deep learning and an attention mechanism using MRI multi-modalities brain images. *Sci Rep.* 2021; 11 (1): 10930. [PMID: 34035406](#)
10. Rogatskin D.V., Geletin P.N. Optimization of the algorithm for intraoral radiography of multi-rooted teeth on the example of the first maxillary molars and mandibular molars with radix entomolaris. Part 2. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2023; 3: 6—13 (In Russian). [eLibrary ID: 54509002](#)
11. Kolesnichenko O.Yu., Martynov A.V., Pulit V.V., Kolesnichenko Yu. Yu., Shakirov V.V., Varlamov O.O., Minushkina L.O., Sotnik A.Yu., Zhilina T.N., Dorofeev V.P., Smorodin G.N., Zhabarov M.K., Mazeilis L.S. Modern advanced artificial intelligence for smart medicine. *Remedium*. 2019; 4: 36—43 (In Russian). [eLibrary ID: 37532436](#)
12. Korenevsky N.A., Aksenov V.V., Rodionova S.N., Gontarev S.N., Lazurina L.P., Safronov R.I. Method of Complex Assessment of the Level of Information Content of Classification Features in the Conditions of Fuzzy Data Structure. *Proceedings of the Southwest State University. Series: IT Management, Computer Science, Computer Engineering. Medical Equipment Engineering*. 2022; 3: 80—96 (In Russian). [eLibrary ID: 49725204](#)

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_124

М.И. Шиморский,

ассистент кафедры пропедевтики хирургической стоматологии

А.М. Панин,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой пропедевтики хирургической стоматологии

Н.Б. Корчажкина,

д.м.н., профессор кафедры восстановительной медицины и биомедицинских технологий

А.М. Цициашвили,

д.м.н., профессор кафедры пропедевтики хирургической стоматологии

Е.В. Волосова,

ассистент кафедры пропедевтики хирургической стоматологии

Л.А. Акимочкина,

к.м.н., ассистент кафедры пропедевтики хирургической стоматологии

Л.Р. Паниашвили,

студент IV курса стоматологического факультета

Российский университет медицины, 127006, Москва, Россия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шиморский М.И., Панин А.М., Корчажкина Н.Б., Цициашвили А.М., Волосова Е.В., Акимочкина Л.А., Паниашвили Л.Р. Клиническая эффективность комбинированного метода реабилитации пациентов после стоматологических хирургических вмешательств — кинезиотейпирование и низкоинтенсивная инфракрасная лазерная терапия. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 124—129.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_124

Клиническая эффективность комбинированного метода реабилитации пациентов после стоматологических хирургических вмешательств — кинезиотейпирование и низкоинтенсивная инфракрасная лазерная терапия

Реферат. В современной стоматологической практике применяются различные методы реабилитации пациентов после операций, включая немедикаментозные (физиотерапевтические) методики. Доказано, что кинезиотейпирование и низкоинтенсивная лазерная терапия оказывают значительное влияние на выраженность болевого синдрома и постоперационного отека после хирургических стоматологических вмешательств. Однако отсутствуют доста-точные данные о возможности комбинирования этих методик и эффективности подобной реабилитации пациентов. **Цель** — совершенствование реабилитации пациентов при применении комбинированного метода кинезиотейпирования и инфракрасного лазерного излучения после стоматологических хирургических вмешательств. **Материалы и методы.** В исследование включено 63 пациента с симметричными, равными по объему плановыми хирургическими вмешательствами в полости рта. Группы пациентов формировались в зависимости от методики реабилитации: лазеротерапия низкоинтенсивным лазером (I группа), кинезиотейпирование (II группа) или комбинированная методика с применением лазеротерапии и кинезиотейпирования (III группа). Были оценены основные клинические показатели: боль с помощью визуально-аналоговой шкалы и постоперационный коллатеральный отек методом региональной биомпедансометрии. **Результаты.** Выраженность болевого синдрома в III группе составила 2,81, 1,43 и 0,67 балла на 1-е, 3-и и 7-е сутки после операции. В те же сроки показатели импедансометрии снизились на 7,7, 9,2 и 4,2%. В I группе выраженность болевого синдрома составила 3,10, 2,48 и 0,81 балла на 1-е, 3-и и 7-е сутки после операции. Показатели импедансометрии в те же сроки снизились на 10,1, 11,7 и 5,2% соответственно. Во II группе выраженность болевого синдрома снизилась с 3,05 балла в 1-е сутки до 2,57 и 0,86 балла на 3-и и 7-е сутки соответственно. Показатели импедансометрии в те же сроки снизились на 7,6, 10,8 и 4,3%. **Заключение.** Применение кинезиотейпирования и лазеротерапии позволяет уменьшить выраженность болевого синдрома после операций в полости рта. Сочетание кинезиотейпирования по лимфодренажному типу и лазеротерапии с применением низкоинтенсивного инфракрасного лазера потенцирует обезболивающий эффект каждого физиотерапевтического фактора, а также усиливает противоотечное действие.

Ключевые слова: стоматология, кинезиотейпирование, реабилитация, лазеротерапия

The clinical effectiveness of the combined method of rehabilitation of patients after dental surgery is kinesiotaping and low-intensity infrared laser therapy

Abstract. In modern dental surgery, various methods for patient rehabilitation are used, including non-medication (physiotherapy) approaches. It has been proved that kinesio taping and low-intensity laser treatment have a significant impact on pain syndrome severity and postoperative edema following dental surgeries. However, there is a lack of data on combining these treatments and their effectiveness in patient rehabilitation. **Objective** — to improve patient rehabilitation using a combined approach of kinesio taping and infrared laser therapy after dental surgeries. **Materials and methods.** The study included 63 patients with symmetrical, equal-volume elective surgical procedures in the oral cavity. The groups of patients were formed depending on the rehabilitation method: low-intensity laser therapy (group I), kinesiotaping (group II) or a combined technique

M.I. Shimorskiy,

assistant at the Oral surgery propaedeutics Department

A.M. Panin,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Oral surgery propaedeutics Department

N.B. Korchazhkina,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Regenerative medicine and biomedical technologies Department

A.M. Tsitsiashvili,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Oral surgery propaedeutics Department

E.V. Volosova,

assistant at the Oral surgery propaedeutics Department

L.A. Akimochkina,PhD in Medical Sciences, assistant professor
of the Oral surgery propaedeutics DepartmentL.R. Panikashvili,4th year student at the Dental FacultyRussian University of Medicine,
127006, Moscow, Russia

with the use of laser therapy and kinesiotaping (group III). The main clinical indicators were evaluated: pain using a visual analog scale and postoperative collateral edema using regional bio-impedance measurement. **Results.** The severity of pain syndrome in group III was 2.81, 1.43, and 0.67 points on the 1st, 3rd, and 7th days after surgery. The impedance measurements decreased by 7.7, 9.2, and 4.2% on the 1st, 3rd, and 7th days, respectively. In group I, the severity of pain syndrome was 3.10, 2.48, and 0.81 points on the 1st, 3rd, and 7th days after surgery. During the same period, the impedance measurements decreased by 10.1, 11.7, and 5.2%, respectively. In group II, the severity of pain decreased from 3.05 points on day 1 to 2.57 and 0.86 points on days 3 and 7, respectively. During the same period, the impedance measurements decreased by 7.6, 10.8 and 4.3%. **Conclusions.** The use of kinesiotaping and laser therapy can reduce the severity of pain.

Key words: dentistry, kinesio taping, rehabilitation, laser therapy

FOR CITATION:
.....

Shimorskiy M.I., Panin A.M., Korchazhkina N.B., Tsitsiashvili A.M., Volosova E.V., Akimochkina L.A., Panikashvili L.R. The clinical effectiveness of the combined method of rehabilitation of patients after dental surgery is kinesiotaping and low-intensity infrared laser therapy. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 124—129 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_124

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остается актуальным вопрос реабилитации пациента после хирургического вмешательства. Стандарты оказания медицинской помощи совершенствуются и требуют индивидуального подхода к восстановлению каждого пациента. Подобные цели ставятся и при выполнении амбулаторных стоматологических операций. Главными задачами на этапе реабилитации после хирургического вмешательства являются снижение выраженности болевого синдрома и уменьшение постоперационного отека как наиболее ярких факторов асептического воспаления после операции [1].

В современной стоматологической практике применяются различные методы реабилитации пациентов после операций, включая немедикаментозные (физиотерапевтические) методики. При этом физиотерапевтические методы имеют ряд преимуществ перед медикаментозным лечением [2—5]. Основным достоинством физических методов лечения является универсальность, которая позволяет применять их при самых разнообразных заболеваниях и состояниях [2, 6]. Физиотерапевтические методы действуют на организм таким же образом, как и естественные раздражители, с которыми организм взаимодействует во внешней среде [3]. К таким методам относятся, в частности, кинезиотейпирование и низкоинтенсивное лазерное излучение.

Кинезиотейпирование по лимфодренажной методике в постоперационном периоде хирургического стоматологического лечения успешно применяется в амбулаторной практике [7, 8]. Согласно исследованиям, кинезиотейпы обладают не меньшим анальгезирующим эффектом, чем традиционные методы обезболивания, и могут снижать выраженность болевой реакции в 2 раза, по данным визуально-аналоговой шкалы [4, 9].

В раннем постоперационном периоде успешно применяется терапия низкоинтенсивным лазерным излучением [10—12]. Подобный метод физиотерапии эффективен в уменьшении боли, тризма жевательной мускулатуры и отека, в частности после удаления нижних третьих моляров [12, 13].

На сегодняшний день отсутствуют достаточные данные о возможности комбинирования этих методик и эффективности подобной реабилитации пациентов после различных стоматологических хирургических вмешательств. Сочетание данных методик физиотерапии может позволить потенцировать эффект каждого согласно принципу комплексного лечения физическими факторами [14], тем самым повысив эффективность восстановления пациентов после хирургических вмешательств в полости рта.

Цель — сравнение постоперационных периодов после проведения симметричных, равных по объему хирургических вмешательств в полости рта у одного и того же пациента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 63 пациента (34 мужчины и 29 женщин) в возрасте от 18 лет до 61 года. Критерии включения: показания к проведению двусторонних, равных по объему плановых операций в полости рта — сложное удаление ретинированных, полуретинированных и дистопированных третьих моляров нижней челюсти, отсутствие беременности и периода лактации. Критерии невключения: хронические заболевания в стадии декомпенсации и инфекционные заболевания (ВИЧ, гепатиты, туберкулез, сифилис). Критерии исключения: аллергия на препараты при постоперационном ведении, индивидуальная непереносимость физиотерапевтического воздействия и реакция на кинезиотейп, несоблюдение назначений лечащего врача.

Пациентам проводились хирургические вмешательства на контрольной стороне и на исследуемой с разницей в 3 месяца. Под инфильтрационной анестезией проводился Г-образный разрез слизистой оболочки в ретромолярной области и отслаивание слизисто-надкостничного лоскута. Зубы фрагментировались с помощью прямого наконечника и бора Линдемана под охлаждением физиологическим раствором, фрагментарно удалялись. Проводились кюретаж и гемостаз с контролем образования кровяного сгустка. На края раны

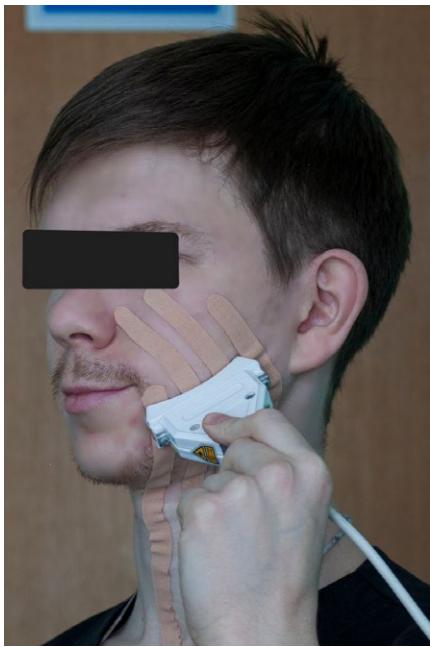


Рис. 1. Применение инфракрасного лазера
Fig. 1. The use of an infrared laser



Рис. 2. Аппликации кинезиотейпа по лимфодренажной методике
Fig. 2. Kinesiotape applications using the lymphatic drainage technique

накладывались сближающие швы. В лунку удаленного зуба вводилась йодоформная турунда, которая извлекалась на 5-е сутки после хирургического вмешательства. После каждого хирургического вмешательства пациентам назначалась стандартная противовоспалительная и антибактериальная терапия, обработка постоперационной области 0,05%-ным раствором хлоргексидина 3 раза в день в течение 14 дней.

При этом одна сторона являлась контрольной, где проводилась только стандартная медикаментозная терапия, а другая — исследуемой. В зависимости от вида дополнительного послеоперационного физиолечения на исследуемой стороне пациенты случайным образом были разделены на 3 равные группы:

- I — 10 мужчин и 11 женщин в возрасте от 21 года до 42 лет, которым проводилась инфракрасная лазерная терапия по 5 минут в день, на курс 6 ежедневных процедур [15];
- II — 14 мужчин и 7 женщин в возрасте от 18 лет до 61 года, которым назначали аппликации кинезиотейпа по лимфодренажному типу в проекции постоперационной области (4 дня непрерывного ношения) [3, 7];
- III — 10 мужчин и 11 женщин в возрасте от 21 года до 42 лет, которые получали курс ИК-лазеротерапии и аппликации кинезиотейпа (приоритетная справка № 2024109874).

Лазеротерапию проводили с помощью аппарата для инфракрасной лазеротерапии «Интра-донт-Скан» («ТРИМА», Россия). Режим работы сканирующий,

частота сканирования — 50 Гц, импульсная мощность — 30 Вт, длительность — 6 минут. Датчик располагался на кожном покрове в проекции постоперационной области (рис. 1).

Для кинезиотейпирования применялся стандартный кинезиотейп BB FACE TAPE (Южная Корея) шириной 5 см. Аппликация кинезиотейпа проводилась на предварительно обезжиренный 70%-ным раствором этилового спирта участок кожи в состоянии максимального натяжения тканей. Кинезиотейп состоит из якорной части, которая располагается над подключичными лимфоузлами и рабочей части, которая перекрывает постоперационную область (рис. 2).

Для определения выраженности болевой реакции проводилось анкетирование пациентов с помощью визуально-аналоговой шкалы (ВАШ). Опросы проводились до операции и на 1-е, 3-и, 7-е и 14-е сутки после проведенного хирургического вмешательства.

Для определения выраженности постоперационного отека у всех пациентов непосредственно перед оперативным вмешательством и на 1-е, 3-и, 7-е сутки после измеряли сопротивления тканей постоперационной зоны с помощью анализатора оценки баланса водных секторов организма АВС-01 (НТЦ «Медасс», Россия) с целью оценки изменения гидратации мягких тканей [16, 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ

При анализе показателей ВАШ было выявлено, что начальные показатели до операции во всех группах соответствовали 0 баллам, что свидетельствовало об отсутствии болевых ощущений. Максимальные показатели болевой реакции во всех группах наблюдались на 1-е сутки после операции с постепенным снижением выраженности боли на 3-и и 7-е сутки после хирургического вмешательства (табл. 1).

Таблица 1. Выраженность болевого синдрома
Table 1. Severity of pain syndrome

Срок, сутки	I группа (лазеротерапия, n=21)		II группа (кинезиотейпирование, n=21)		III группа (лазеротерапия и кинезиотейпирование, n=21)	
	контрольная сторона	исследуемая сторона	контрольная сторона	исследуемая сторона	контрольная сторона	исследуемая сторона
1	3,90±0,75	3,10±0,68*	4,05±0,84	3,05±0,72*	3,90±0,75	2,81±0,66*
3	3,19±0,79	2,48±0,73**	3,57±0,73	2,57±0,73**	3,33±0,71	1,43±0,58**
7	1,38±0,57	0,81±0,39*	1,24±0,53	0,86±0,70	1,29±0,63	0,67±0,64*
14	0,05±0,22	0,05±0,22	0	0	0	0

Примечание. Различия статистически достоверно значимы ($p<0,05$): * — по сравнению с контрольной стороной, ** — по сравнению с исследуемой стороной других групп.

В I группе на 1-е сутки после операции показатели ВАШ на контрольной стороне составили 3,90 балла. На 3-и, 7-е и 14-е сутки выраженность болевой реакции плавно снижалась до 3,20, 1,38 и 0,05 балла соответственно. Показатели ВАШ на исследуемой стороне в 1-е, 3-и и 7-е сутки (3,10, 2,48 и 0,81 балла соответственно) статистически достоверно отличались от контрольной стороны ($p<0,05$).

Во II группе на 1-е сутки после операции показатели ВАШ составили 4,05 балла на контрольной стороне. При осмотре на 3-и, 7-е и 14-е сутки отмечалось снижение выраженности болевой реакции, а показатели ВАШ составляли 3,57; 1,24 и 0 балла соответственно. Аналогичная тенденция наблюдалась и в исследуемой подгруппе: 3,05 балла на 1-е сутки; 2,57 балла на 3-и сутки; 0,86 балла на 7-е сутки и 0 баллов на 14-е сутки. В данной группе между контрольной и исследуемой сторонами также получены достоверные различия ($p<0,05$).

В III группе на 1-е сутки показатели ВАШ на контрольной стороне составили 3,9 балла. На 3-и сутки данный показатель снизился до 3,33 балла; на 7-е — до 1,29 балла. На 14-е сутки болевая реакция отсутствовала. Показатели ВАШ для исследуемой стороны в 1-е, 3-е и 7-е сутки (2,81; 1,43 и 0,67 балла) статистически достоверно отличались от контрольной стороны ($p<0,05$).

При сравнении исследуемых сторон вмешательства получены достоверные отличия в выраженности болевого синдрома на 3-и сутки между III (кинезиотейпирование + лазеротерапия) и I группой (лазеротерапия), между III и II группой (кинезиотейпирование; $p<0,05$). Между I и II группами достоверные отличия отсутствовали.

Данные биоимпедансометрии постоперационных областей позволяют утверждать, что максимальный отек во всех группах наблюдался на 3-и сутки после хирургического вмешательства (табл. 2).

Так, в группе I на контрольной стороне вмешательства наибольшие отклонения в биоимпедансометрии наблюдались на 1-е и 3-и сутки ($-11,27$ и $-12,99\%$ соответственно) с постепенным снижением к 7-м суткам ($-6,73\%$). Аналогичную тенденцию можно было проследить и на исследуемой стороне, где наибольшие отклонения в биоимпедансометрии наблюдались на 1-е и на 3-и сутки ($-11,78\%$; табл. 2). Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что лазеротерапия незначительно снижает выраженность постоперационного отека, однако нами не получено достоверных отличий по данному параметру между исследуемой и контрольной сторонами ни в какой временной точке ($p>0,05$).

Таблица 2. Динамика изменения биоимпедансометрии постоперационной области, %
Table 2. Dynamics of changes in bioimpedance in the postoperative area (in per cent)

Срок, сутки	I группа (лазеротерапия, n=21)		II группа (кинезиотейпирование, n=21)		III группа (лазеротерапия и кинезиотейпирование, n=21)	
	контрольная сторона	исследуемая сторона	контрольная сторона	исследуемая сторона	контрольная сторона	исследуемая сторона
1	$-10,15 \pm 1,60$	$-11,27 \pm 5,24$	$-7,64 \pm 2,17$	$-9,40 \pm 7,50$	$-7,73 \pm 1,97$	$-9,25 \pm 7,43$
3	$-11,78 \pm 2,47$	$-12,99 \pm 8,04$	$-10,84 \pm 2,43$	$-14,19 \pm 9,93$	$-9,22 \pm 3,47$	$-14,57 \pm 10,1^*$
7	$-5,27 \pm 3,77$	$-6,73 \pm 5,22$	$-4,32 \pm 3,73$	$-6,72 \pm 4,98$	$-4,22 \pm 3,72$	$-6,51 \pm 5,24$

Примечание: * — статистически достоверное отличие от контрольной стороны ($p<0,05$).

В группе II нами так же не получены достоверные отличия между контрольной и исследуемой сторонами. Наибольшие отклонения наблюдались на 1-е и на 3-и сутки: на $-9,4$ и $-14,2\%$ на контрольной стороне; $-7,64$ и $-10,84\%$ на исследуемой стороне. Полученные результаты показывают, что кинезиотейпирование более эффективно для снижения выраженности постоперационного отека, чем лазеротерапия. На 7-е сутки отклонения в обеих подгруппах уменьшались по сравнению с пиком, который приходился на 3-и сутки.

В группе III наблюдались наибольшие отличия между контрольной и исследуемой стороной. Получены достоверные отличия в изменениях биоимпедансометрии на 3-и сутки. На контрольной стороне $-14,57\%$, а на исследуемой $-9,22\%$ ($p<0,05$). Данные результаты позволяют утверждать, что применение комбинированной методики реабилитации достоверно снижает выраженность постоперационного отека (рис. 3).

Однако стоит отметить, что по результатам статистического анализа достоверные отличия не выявлены между исследуемыми сторонами разных групп.

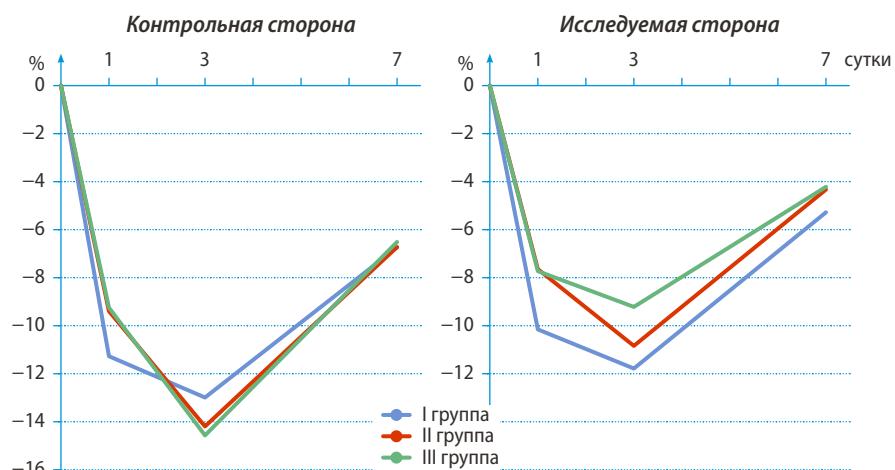


Рис. 3. Динамика изменения показателей биоимпедансометрии
Fig. 3. Dynamics of changes in bioimpedance indicators

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный комбинированный метод уменьшает выраженность болевой реакции и постоперационного отека в сравнении со стандартным способом постоперационного ведения пациентов в амбулаторной

стоматологической практике. Полученные данные позволяют сделать вывод, что сочетание кинезиотейпирования по лимфодренажному типу и лазеротерапии с применением низкоинтенсивного инфракрасного лазера потенцирует обезболивающий эффект каждого

физиотерапевтического фактора, а также усиливает противоотечное действие.

Поступила/ Received: 05.12.2024

Принята в печать/ Accepted: 13.02.2025

Л И Т Е Р А Т У Р А :

1. Hallab L., Azzouzi A., Chami B. Quality of life after extraction of mandibular wisdom teeth: A systematic review. — *Ann Med Surg (Lond)*. — 2022; 81: 104387. [PMID: 36147052](#)
2. Jaroń A., Jedliński M., Grzywacz E., Mazur M., Trybek G. Kinesiology Taping as an Innovative Measure against Post-Operative Complications after Third Molar Extraction-Systematic Review. — *J Clin Med*. — 2020; 9 (12): 3988. [PMID: 33317073](#)
3. Шиморский М.И., Корчажкина Н.Б., Панин А.М., Волосова Е.В. Обоснование применения кинезиотейпирования в практике стоматолога-хирурга. — *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. — 2022; 6: 455—460. [eLibrary ID: 54304229](#)
4. Шиморский М.И., Корчажкина Н.Б., Панин А.М., Цициашвили А.М. Особенности использования лазеротерапии при реабилитации пациентов после хирургических стоматологических вмешательств. — *Физиотерапевт*. — 2023; 6: 93—101. [eLibrary ID: 57618396](#)
5. Лапина Н.В., Ижнина Е.В., Скориков В.Ю., Гришечкин С.Д., Кочурова Е.В. Физиотерапевтическое лечение в комплексной терапии ревматоидного артрита височно-нижнечелюстного сустава. — *Клиническая стоматология*. — 2020; 3 (95): 88—92. [eLibrary ID: 44008073](#)
6. Валиева Л.У., Панкратов А.С., Орлова О.Р., Барышников И.В. Проблема ранней реабилитации пациентов с переломом нижней челюсти и их осложнениями (обзор). — *Клиническая стоматология*. — 2024; 3: 134—141. [eLibrary ID: 71035269](#)
7. Yurttutan M.E., Sancak K.T. The effect of kinesio taping with the web strip technique on pain, edema, and trismus after impacted mandibular third molar surgery. — *Niger J Clin Pract*. — 2020; 23 (9): 1260—1265. [PMID: 32913166](#)
8. Montalvo A.M., Cara E.L., Myer G.D. Effect of kinesiology taping on pain in individuals with musculoskeletal injuries: systematic review and meta-analysis. — *Phys Sportsmed*. — 2014; 42 (2): 48—57. [PMID: 24875972](#)
9. da Rocha Heras A.C.T., de Oliveira D.M.S., Guskuma M.H., de Araújo M.C., Fernandes K.B.P., da Silva Junior R.A., Andraus R.A.C., Maia L.P., Fernandes T.M.F. Kinesio taping use to reduce pain and edema after third molar extraction surgery: A randomized controlled split-mouth study. — *J Craniomaxillofac Surg*. — 2020; 48 (2): 127—131. [PMID: 31899111](#)
10. Matys J., Świder K., Flieger R. Laser instant implant impression method: A case presentation. — *Dental and Medical Problems*. — 2017; 54 (1): 101—106. [DOI: 10.17219/dmp/66363](#)
11. Salaberry D.R., Bruno L.H., Cirisola R.W.C., Longo P.L., Chavantes M.C., Navarro R.S., Gonçalves M.L.L., Sobral A.P.T., Gimenez T., Duran C.C.G., Motta L.J., Bussadori S.K., Horliana A.C.R.T., Mesquita Ferrari R.A., Fernandes K.P.S. Assessment of the pre-emptive effect of photobiomodulation in the postoperative period of impacted lower third molar extractions: A randomized, controlled, double-blind study protocol. — *PLoS One*. — 2024; 19 (6): e0300136. [PMID: 38885236](#)

Р E F E R E N C E S :

1. Hallab L., Azzouzi A., Chami B. Quality of life after extraction of mandibular wisdom teeth: A systematic review. *Ann Med Surg (Lond)*. 2022; 81: 104387. [PMID: 36147052](#)
2. Jaroń A., Jedliński M., Grzywacz E., Mazur M., Trybek G. Kinesiology Taping as an Innovative Measure against Post-Operative Complications after Third Molar Extraction-Systematic Review. *J Clin Med*. 2020; 9 (12): 3988. [PMID: 33317073](#)
3. Shimorskiy M.I., Korchazhkina N.B., Panin A.M., Volosova E.V. Modern understanding of the application of kinesiotaping in dental surgery. *Russian Journal of Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation*. 2022; 6: 455—460 (In Russian). [eLibrary ID: 54304229](#)
4. Shimorskiy M.I., Korchazhkina N.B., Panin A.M., Tsitsiashvili A.M. Features of using laser therapy in the rehabilitation of patients after dental surgical interventions. *Physiotherapist*. 2023; 6: 93—101 (In Russian). [eLibrary ID: 57618396](#)
5. Lapina N.V., Izhnina E.V., Skorikov V.Yu., Grishechkin S.D., Kochurova E.V. Physiotherapeutic treatment in complex therapy of rheumatoid arthritis of a temporomandibular joint. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2020; 3 (95): 88—92 (In Russian). [eLibrary ID: 44008073](#)
6. Valieva L.U., Pankratov A.S., Orlova O.R., Baryshnikov I.V. The problem of early rehabilitation of patients with injuries of the maxillo-facial region and their complications (review). *Clinical Dentistry (Russia)*. 2024; 3: 134—141 (In Russian). [eLibrary ID: 71035269](#)
7. Yurttutan M.E., Sancak K.T. The effect of kinesio taping with the web strip technique on pain, edema, and trismus after impacted mandibular third molar surgery. *Niger J Clin Pract*. 2020; 23 (9): 1260—1265. [PMID: 32913166](#)
8. Montalvo A.M., Cara E.L., Myer G.D. Effect of kinesiology taping on pain in individuals with musculoskeletal injuries: systematic review and meta-analysis. *Phys Sportsmed*. 2014; 42 (2): 48—57. [PMID: 24875972](#)
9. da Rocha Heras A.C.T., de Oliveira D.M.S., Guskuma M.H., de Araújo M.C., Fernandes K.B.P., da Silva Junior R.A., Andraus R.A.C., Maia L.P., Fernandes T.M.F. Kinesio taping use to reduce pain and edema after third molar extraction surgery: A randomized controlled split-mouth study. *J Craniomaxillofac Surg*. 2020; 48 (2): 127—131. [PMID: 31899111](#)
10. Matys J., Świder K., Flieger R. Laser instant implant impression method: A case presentation. *Dental and Medical Problems*. 2017; 54 (1): 101—106. [DOI: 10.17219/dmp/66363](#)
11. Salaberry D.R., Bruno L.H., Cirisola R.W.C., Longo P.L., Chavantes M.C., Navarro R.S., Gonçalves M.L.L., Sobral A.P.T., Gimenez T., Duran C.C.G., Motta L.J., Bussadori S.K., Horliana A.C.R.T., Mesquita Ferrari R.A., Fernandes K.P.S. Assessment of the pre-emptive effect of photobiomodulation in the postoperative period of impacted lower third molar extractions: A randomized, controlled, double-blind study protocol. *PLoS One*. 2024; 19 (6): e0300136. [PMID: 38885236](#)

12. Hamid M.A. Low-level laser therapy on postoperative pain after mandibular third molar surgery. — *Ann Maxillofac Surg.* — 2017; 7 (2): 207—216. [PMID: 29264287](#)
13. He W.L., Yu F.Y., Li C.J., Pan J., Zhuang R., Duan P.J. A systematic review and meta-analysis on the efficacy of low-level laser therapy in the management of complication after mandibular third molar surgery. — *Lasers Med Sci.* — 2015; 30 (6): 1779—88. [PMID: 25098769](#)
14. Пономаренко Г.Н. Медицинская реабилитация: учебник. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. — С. 32—33.
15. Лепилин А.В., Райгородский Ю.М., Фищев С.Б. Аппаратная физиотерапия в стоматологии. Традиции и инновации: руководство для врачей. — СПб.: СпецЛит, 2019. — С. 123—130
16. Панин А.М., Гуревич К.Г., Цициашвили А.М., Архангельская А.Н., Николаев Д.В., Щелькалина С.П., Акимочкина Л.А. Способ применения региональной биомпедансометрии щечной области у пациентов при хирургических операциях в полости рта и челюстно-лицевой области. — Патент RU №2778106, действ. с 20.00.2022. [eLibrary ID: 49316290](#)
17. Акимочкина Л.А., Гуревич К.Г., Николаев Д.В., Щелькалина С.П., Цициашвили А.М., Панин А.М., Васильева Ю.Н. Возможности оценки электрического сопротивления тканей щечной области для контроля коллатерального отека при хирургических стоматологических вмешательствах. — *Cathedra — Кафедра. Стоматологическое образование.* — 2022; 81: 60—65. [eLibrary ID: 49744984](#)
12. Hamid M.A. Low-level laser therapy on postoperative pain after mandibular third molar surgery. *Ann Maxillofac Surg.* 2017; 7 (2): 207—216. [PMID: 29264287](#)
13. He W.L., Yu F.Y., Li C.J., Pan J., Zhuang R., Duan P.J. A systematic review and meta-analysis on the efficacy of low-level laser therapy in the management of complication after mandibular third molar surgery. *Lasers Med Sci.* 2015; 30 (6): 1779—88. [PMID: 25098769](#)
14. Ponomarenko G.N. Medical rehabilitation: a textbook. Moscow: GEOTAR-Meda, 2014. Pp. 32—33 (In Russian).
15. Lepilin A.V., Rajgorodskij Yu.M., Fishhev S.B. Hardware physiotherapy in dentistry. Traditions and innovations: a guide for doctors. Saint-Petersburg: SpecLit, 2019. Pp. 123—130 (In Russian).
16. Panin A.M., Gurevich K.G., Tsitsiashvili A.M., Arkhangelskaya A.N., Nikolaev D.V., Shchelykalina S.P., Akimochkina L.A. Method for application of regional biopedansometry of the buccal region in patients during surgical operations in the oral cavity and maxillo-facial area. Patent RU #2778106, effective from 20.00.2022 (In Russian). [eLibrary ID: 49316290](#)
17. Akimochkina L., Gurevich K., Nikolaev D., Shchelykalina S., Tsitsiashvili A., Panin A., Vasiliyeva Y. Possibilities for assessing the electrical resistance of the tissues of the buccal region to control collateral edema during oral surgery. *Cathedra. Dental education.* 2022; 81: 60—65 (In Russian). [eLibrary ID: 49744984](#)

С.Ю. Иванов^{1,2},

член-корр. РАН, д.м.н., профессор, зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии; зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

Д.Ю. Милюкова¹,

к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии

А.Д. Свириденко¹,

к.м.н., ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии

А.А. Мураев²,

д.м.н., профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

А.М. Гусаров¹,

к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии

Л.Л. Бороздкин¹,

к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии

А.М. Кузнецов¹,

ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии

И.А. Седов¹,

клинический ординатор кафедры челюстно-лицевой хирургии

¹ Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, 119991, Москва, Россия² РУДН, 117198, Москва, Россия

Функциональный анализ программного 3D-обеспечения, применяемого в челюстно-лицевой хирургии

Аннотация. Цель работы — анализ доступного в РФ программного обеспечения для планирования операций в челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии, оценка возможностей и перспектив отечественных программ в условиях международных санкций.

Материалы и методы. В исследовании проведен анализ функциональных возможностей программ для планирования операций на основе отечественных и зарубежных продуктов. Рассмотрены такие системы, как Materialise, Dolphin, 3D Systems, Brainlab, Planmeca, а также российские разработки Avantis3D, Эндопринт, Bonabyte, Medgital Vision и Autoplan. Выполнена сравнительная характеристика их функционала, преимуществ и ограничений. Оценивалась возможность замещения зарубежных программ отечественными аналогами в условиях санкций. **Результаты.** Исследование показало, что российские программы Avantis3D, Эндопринт и Bonabyte обладают функциональными возможностями, сопоставимыми с зарубежными аналогами, что делает их полноценной альтернативой для использования в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии. Тем не менее, для полноценной работы необходимо создать программу, включающую все аспекты хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии и состоящей из трех модулей: 1) имплантология и стоматология; 2) ортогнатическая хирургия; 3) реконструктивно-пластика хирургия. **Заключение.** Российские разработки могут полноценно заменить зарубежные программы в большинстве клинических случаев, что особенно актуально в условиях санкций. Необходимы дальнейшие исследования и доработки в области биопечати и роботизации.

Ключевые слова: челюстно-лицевая хирургия, хирургическая стоматология, 3D-моделирование, навигация, программное обеспечение, 3D-печать

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Иванов С.Ю., Милюкова Д.Ю., Свириденко А.Д., Мураев А.А., Гусаров А.М., Бороздкин Л.Л., Кузнецов А.М., Седов И.А. Функциональный анализ программного 3D-обеспечения, применяемого в челюстно-лицевой хирургии. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 130—142. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_130

Functional analysis 3D software used in maxillofacial surgery

Annotation. The purpose of the work is to analyze the available software for planning operations in maxillofacial surgery and surgical dentistry, with an assessment of the capabilities and prospects of domestic programs in the conditions of international sanctions. **Materials and methods.** The study analyzed the functionality of programs for planning operations based on domestic and foreign software products. Systems such as Materialize, Dolphin, 3D Systems, Brainlab, Planmeca, as well as Russian developments Avantis3D, Endoprint, Bonabyte, Medgital Vision and Autoplan were considered. A comparative description of their functionality, advantages and limitations has been made. The possibility of replacing foreign programs with domestic analogues under sanctions was assessed. **Results.** The study showed that the Russian programs Avantis3D, Endoprint and Bonabyte have functionality comparable to their foreign counterparts, which makes them a full-fledged alternative for use in maxillofacial surgery and dentistry. However, bioprinting remains one of the areas where domestic developments are still lagging behind. **Conclusion.** Russian developments can fully replace foreign programs in most clinical cases, which is especially important under sanctions. Further research and development is needed in the field of bioprinting and robotics.

Key words: maxillofacial surgery, dental surgery, 3D modeling, navigation, software, 3D printing

S.Yu. Ivanov^{1,2},

Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, full professor of the Maxillofacial surgery Department; full professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

D.Yu. Milyukova¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Maxillofacial surgery Department

A.D. Sviridenko¹,

PhD in Medical Sciences, assistant professor of the Maxillofacial surgery Department

A.A. Muraev²,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

A.M. Gusarov¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Maxillofacial surgery Department

L.L. Borozdkin¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Maxillofacial surgery Department

A.M. Kuznetsov¹,assistant at the Maxillofacial surgery
Department**I.A. Sedov¹,**clinical resident of the Maxillofacial surgery
Department**FOR CITATION:**

Ivanov S.Yu., Milyukova D.Yu., Sviridenko A.D., Muraev A.A., Gusarov A.M., Borozdkin L.L., Kuznetsov A.M., Sedov I.A. Functional analysis 3D software used in maxillofacial surgery. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 130—142 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_130

¹ Sechenov University,
119991, Moscow, Russia² RUDN University,
117198, Moscow, Russia**ВВЕДЕНИЕ**

Современный мир быстро и необратимо меняется за счет появления и распространения компьютерных технологий. Они проникают во все аспекты современного общества: в политику, оборону, развлечения, образование. Большинство процессов даже на бытовом уровне уже невозможны без использования компьютерных технологий, поскольку качество жизни человека, не сумевшего адаптироваться к современным реалиям, резко снижается. Так же и врач, не использующий современные компьютерные технологии на этапе диагностики и в процессе лечения пациентов, резко снижает их качество, подвергая пациента дополнительным рискам, что противоречит философии медицины и самой сути лечения. Сейчас на рынке представлено большое количество компьютерных программ с широким спектром инструментария. Иногда врачу-клиницисту достаточно сложно сориентироваться и выбрать подходящее компьютерное обеспечение, полностью отвечающее его запросам. В этой статье мы рассмотрим самые популярные программы, используемые сейчас в челюстно-лицевой хирургии, проведем их сравнительный анализ, представив ограничения и недостатки каждой, выделим их сильные стороны, рассмотрим перспективы развития компьютерных 3D-технологий, применяемых в данной сфере.

Именно челюстно-лицевая хирургия занимает первое место по степени важности использования предоперационного планирования — это связано с особенностями строения и многофункциональностью лица человека. В связи с трехмерной конфигурацией проектируемой конструкции и критической важностью восстановления таких функций, как речь, глотание, жевание, а также для сохранения эстетической функции лица человека челюстно-лицевая реконструкция представляет собой многогранную проблему. До недавнего времени результаты лечения пациентов были противоречивы и зависели от мануальных навыков конкретного хирурга, нарабатывались путем проб и ошибок. Виртуальное хирургическое планирование и компьютерное 3D-проектирование — это технологии, которые дают преимущества в комплексной черепно-челюстно-лицевой реконструкции, меняют подход и скорость выполнения сложных реконструкций головы и шеи. Среди заявленных преимуществ — повышенная реконструктивная точность, сокращение времени операции и простота использования.

Ранние методы планирования в реконструктивной челюстно-лицевой хирургии были основаны на эмпирическом опыте хирургов и включали использование гипсовых слепков, рисунков и физических моделей для визуализации предполагаемого хирургического результата. Например, в начале XX века хирурги использовали гипсовые маски для предоперационного моделирования реконструкции лица. В 1970-х годах началось использование двухмерной рентгенографии для более точного предоперационного планирования. Это позволило хирургам лучше оценивать анатомические особенности и планировать хирургические вмешательства. Значительный прорыв произошел в 1980-х годах с внедрением компьютерной томографии (КТ) и трехмерного моделирования. Использование 3D-моделей на основе данных КТ позволяет более точно планировать реконструктивные вмешательства с учетом индивидуальной анатомии пациента. В 1990—2000-х годах методы визуализации продолжали развиваться с появлением магнитно-резонансной томографии (МРТ), ультразвукового сканирования и других передовых технологий. В последние годы все большее распространение получают методы виртуального хирургического планирования с использованием специализированного программного обеспечения. Данный подход позволяет хирургам тщательно смоделировать операцию, отработать различные варианты и выбрать оптимальный план вмешательства. Планирование хирургических операций и моделирование имплантатов с помощью специализированного программного обеспечения стало важным инструментом в современной медицинской практике. Эти программы позволяют хирургам переносить 3D-объекты непосредственно на конкретного пациента посредством интегрированной реальности. На рынке представлено множество программ для планирования операций, каждая обладает уникальными возможностями и ориентирована на определенные клинические области. В данной статье проводится сравнительный анализ зарубежных и российских компаний.

Современные технологии, такие как трехмерное моделирование и навигация, становятся неотъемлемой частью челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии. С помощью этих технологий хирурги могут точно планировать операции, прогнозировать результаты и минимизировать риски. Однако в связи с ограничением доступа к зарубежным программным продуктам многие российские клиники столкнулись с необходимостью поиска альтернативных решений.

Цель исследования — анализ программных решений для планирования хирургических вмешательств в области челюстно-лицевой хирургии, оценка возможностей отечественных программ как альтернативы зарубежным продуктам в условиях санкций.

В ходе исследования проведен сравнительный анализ следующих программных продуктов.

Зарубежные программы:

- 1) Materialise — лидер в области 3D-моделирования для планирования сложных операций;
- 2) Dolphin — специализируется на ортогнатической хирургии и ортодонтии;
- 3) 3D Systems — предлагает решения для 3D-печати и биопринтинга;
- 4) Brainlab — система нейронавигации с возможностями интегрированной реальности;
- 5) Planmeca — ориентирована на комплексное ортогнатическое и ортодонтическое лечение.

Отечественные программы:

- 6) Avantis3D — программа для ортогнатической хирургии и имплантологии;
- 7) Эндопринт и Bonabyte — отечественные системы для планирования и 3D-печати хирургических шаблонов и пластиин;
- 8) Medgital Vision — навигационная система дополненной реальности;
- 9) Autoplan — система интраоперационной навигации с роботизированными решениями.

Исследование проводилось на основе анализа документации производителей, публикаций, а также опыта применения данных программ в клинической практике. Особое внимание уделялось функциональным возможностям, ограничениям, простоте использования и наличию поддержки в условиях санкций.

ЗАРУБЕЖНЫЕ

1. Materialise

Materialise — бельгийская компания специализируется на 3D-планировании и 3D-печати в таких областях, как машиностроение, космическое оборудование, архитектура и дизайн 3D-проектов. Компания представляет программное обеспечение, применяемое в различных областях медицины, в том числе в челюстно-лицевой хирургии. Она способна преобразовывать файлы типа DICOM в анатомические 3D-модели в общепринятых форматах, импортирует изображения КТ и МРТ, автоматически сегментирует данные, измеряет геометрические параметры модели, выполняет виртуальное планирование операций непосредственно на анатомических моделях с последующим изготовлением индивидуальных имплантатов, пластиин, протезов и хирургических шаблонов.

Функциональные возможности:

- Сегментация и обработка медицинских изображений. Позволяет выделять, классифицировать и реконструировать различные анатомические структуры, обеспечивая высокую точность 3D-моделей за счет обширного набора инструментов для сегментации и 3D-моделирования анатомических

структур на основе медицинских изображений (КТ, МРТ, ПЭТ).

- Виртуальное хирургическое планирование. Хирурги могут использовать 3D-модели для планирования операций, моделируя различные варианты вмешательств и оценивая их потенциальные результаты.
- Создание индивидуальных имплантатов и хирургических инструментов. Программа позволяет разрабатывать и производить персонализированные модели, имплантаты, шаблоны, пластины и другие хирургические приспособления с помощью аддитивных технологий и с учетом анатомии пациента.
- Интеграция с системами интраоперационной навигации. Данные из Materialise могут быть интегрированы с системами навигации, позволяя хирургам точно ориентироваться во время операции.
- Большая библиотека стандартных имплантатов от различных производителей.

Основные модули:

- Orthognathic surgery. Модуль по ортогнатической хирургии, который включает программное обеспечение для планирование операций с последующим изготовлением индивидуальных хирургических шаблонов, сплинтов, имплантатов и пластиин. При отсутствии необходимости изготовления индивидуальных пластиин предоставляет стандартизированные S-образные пластины, специально разработанные в компании для ортогнатической хирургии.
- Reconstructive surgery. Модуль по реконструктивной хирургии для планирование операций с последующим изготовлением индивидуальных хирургических шаблонов для забора и позиционирования трансплатинов и пластиин.
- TMJ Total Arthroplasty System. Модуль по реконструкции височно-нижнечелюстного сустава, который включает специальное программное обеспечение для планирование операций с последующим изготовлением индивидуальных хирургических шаблонов и непосредственно эндопротеза.
- Trauma surgery. Модуль по травматологии челюстно-лицевой области, который включает специальное программное обеспечение для планирование операций с последующим изготовлением индивидуальных пластиин и эндопротезов

Многочисленные исследования показали эффективность использования Materialise в различных областях реконструктивной хирургии, включая восстановление лица, груди, конечностей. Данная программа является одним из ведущих программных решений для виртуального планирования, предоставляя хирургам широкий спектр инструментов для точного предоперационного моделирования и изготовления индивидуальных конструкций. Как и любое другое программное обеспечение, у нее есть свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

- Широкий спектр клинических приложений: ортогнатическая хирургия, травматология челюстно-лицевой области, реконструктивная хирургия.
- Интеграция с системами навигации для интраоперационного наведения.

- **Большая научная база — более 20000 научных публикаций.**
- **Большой штаб высококвалифицированных биоинженеров, способных спланировать операцию любой степени сложности**
- Ограничения:
 - **Высокая стоимость лицензий и обновлений.**
 - **Требуется мощное оборудование для работы с большими объемами данных.**
 - **Сложный интерфейс, требующий дополнительного обучения, как следствие, невозможность проведения самостоятельного планирования операций для врача.**

2. Dolphin

Dolphin — американская компания, специализирующаяся на планировании ортогнатических операций, позволяет подготовить план ортодонтического и ортопедического лечения на этапе предоперационной подготовки. Программа обеспечивает удобную работу с фотографиями и рентгенограммами пациентов для понятной визуализации как клинической ситуации на этапах планирования, так и непосредственно результатов лечения.

Основные модули:

- ImagingPlus. Позволяет автоматически синхронизировать загруженные фотографии, соединять их с рентгенограммами, а также моделировать внешний вид пациента в зависимости от наличия брекетов, выравненных зубов или их отбеливания.
- Scep Traicing. На основании загруженных ТРГ или рентгеновских снимков, а также за счет переработки данных КЛКТ в 2D-рентгенограммы самостоятельно проводит расстановку крациоцефальных точек и цефалометрический анализ.
- Treatment Simulation. Позволяет спланировать и презентовать пациенту предполагаемый внешний вид в латеральной проекции.
- Letter sistem. Автоматически создает шаблоны по пациентам, в которых отражен весь фотопротокол лечения. Возможное индивидуальное редактирование формата шаблона.
- Implanner. Планирование расположения стоматологических имплантатов на рентгенограммах.
- Integration. Автоматическая передача всех изображений и рентгенограмм в базу данных Dolphin.
- 3D. Формирование 3D-моделей, перенос 2D-фотографий в 3D-формат, выделение 3D-объектов (воздухоносных путей, сосудов и нервов).
- 3D-surgery. Возможность виртуального проведения ортогнатических операций и остеотомии, интеграция 3D-сканов моделей.
- 3D digital Study Models. Загрузка в программу 3D-сканов моделей с возможностью проведения 3D-измерений для последующего планирования операций.
- Aquarium. Программа, содержащая как обучающие материалы, так и материалы для более доступной визуализации предстоящего лечения пациента.
- Cloud. Обеспечивает полное системное поддержание, обновление и синхронизацию программ, дистанционный доступ необходимой информации по пациентам.

- Mobile. Возможность доступа к системе хранения и программам через мобильное приложение.
- Функциональные возможности программы Dolphin:
- Работа с фотографиями: импорт, калибровка, изменение канта при улыбке пациента.
- Обработка КТ головы, выделение боковой, фронтальной ТРГ, получение срезов ВНЧС.
- 2D-цефалометрия лицевого скелета.
- Интерпретация полученных цефалометрических данных.
- 2D-симуляция хирургической операции.
- Сопоставление КТ, цифровых аналогов (данных сканирования) зубов, 3D-фотографий лица.
- Постановка цефалометрических точек на 3D-изображении.
- Ориентация виртуальной модели черепа.
- Моделирование виртуальных распилов.
- Перемещение сегментов челюстей, анализ измерений.
- Моделирование хирургических шаблонов.
- Подготовка файлов хирургических шаблонов к 3D-печати.
- Преимущества:
 - **возможность проведения цефалометрического анализа;**
 - **облачные решения и мобильные приложения для удаленного доступа и совместной работы;**
 - **удобство работы с документацией, создание базы данных по пациентом, автоматическая синхронизация;**
 - **обширная библиотека обучающих материалов и поддержка сообщества пользователей;**
 - **более 20000 научных публикаций, построенных вокруг использования программы.**
- Ограничения:
 - **введение санкций против российских пользователей — открытие сайта только с VPN;**
 - **высокая стоимость лицензий и обновлений;**
 - **требуется мощное оборудование для работы с большими объемами данных;**
 - **сложный интерфейс, требующий дополнительного обучения, как следствие, невозможность проведения самостоятельного планирования операций для врача.**
 - **ограниченный спектр использования — специализация на планировании ортогнатических операций.**

3. 3D Systems

3D Systems — американская компания, специализирующаяся на 3D-печати персонализированных имплантатов, шаблонов и других медицинских изделий. Одно из ключевых преимуществ программ 3D Systems — возможность биопринтинга.

Основные модули программы 3D Systems:

- VSP Orthognathics. Обеспечивает возможность планирования ортогнатических операций. Первый шаг — интерактивная веб-встреча между хирургом и инженером, на которой они моделируют операцию, включая расположение линий остеотомии и передвижение костных фрагментов. В результате создается промежуточная и окончательная шина, обеспечивающая клинический перенос цифрового плана в хирургию.

- VSP Reconstruction. Наиболее широко используется для реконструкции нижней или верхней челюсти с использованием свободного лоскута малоберцовой кости и других вакуляризированных трансплантатов, при травмах, врожденных дефектах или опухолях лицевого скелета.
- VSP Distraction. Предназначен для планирования дистракционного остеогенеза. Включает проектирование размещения остеотомий, планирование векторов дистракторов и создание шаблонов для их позиционирования и проведения линий остеотомии.
- VSP Trauma. Используется в челюстно-лицевой травматологии. С его помощью можно изготовить индивидуальные шаблоны для остеотомии, индивидуальные пластины и шаблоны для правильно позиционирования прикуса. Возможна печать DICOM-файлов на основе хирургического плана для последующего использования в интраоперационных навигационных системах.
- Jaw in a Day. Позволяет немедленно установить временный зубной протез при одноэтапной операции по реконструкции челюсти с использованием свободных тканей. Планирование операции, а также проектирование шаблонов и протезов выполняется с использованием самых современных технологий CAD/CAM, что позволяет пациенту после одной операции полностью восстановить челюсть, включая стоматологическую реабилитацию.
- 3D Bioprinting. Позволяет создавать живые ткани, данная технология биопечати открывает перспективы и потенциал для разработки новых методов лечения и улучшения жизни пациентов.
- Simbionix ANGIO Mentor для виртуального хирургического моделирования позволяет хирургам отрабатывать различные сценарии вмешательств и оценивать их потенциальные возможности, а затем проводить операции на распечатанных 3D-моделях для тренировки перед основным вмешательством. Функциональные возможности:
 - инструменты для сегментации, 3D-моделирования и планирования операций;
 - проектирование индивидуальных имплантатов;
 - интеграция с системами навигации и робототехникой для хирургии;
 - поддержка 3D-печати спроектированных моделей и имплантатов.Преимущества:
 - есть возможность биопринтинга;
 - интуитивно понятный интерфейс и простота использования;
 - тесная интеграция с аппаратными решениями 3D Systems для 3D-печати;
 - широкий спектр клинических приложений, включая ортопедию, стоматологию.Ограничения:
 - меньшая функциональность для планирования сложных операций по сравнению Materialise;
 - ограниченная библиотека стандартных имплантатов;
 - отсутствие облачных решений и ограниченная интеграция с системами навигации других производителей.

4. Brainlab

Brainlab — немецкая компания, занимающаяся медицинскими технологиями, со штаб-квартирой в Мюнхене (Бавария). Brainlab разрабатывает программное и аппаратное обеспечение для лучевой терапии и радиохирургии, а также оно применимо в таких хирургических областях, как нейрохирургия, ЛОР и челюстно-лицевая хирургия, хирургия позвоночника и травматические вмешательства. Данная компания производит уникальное оборудование для операционных, которое включает в себя все возможности интегрированной реальности.

Основные модули программы Brainlab:

- Buzz. Модуль нового поколения для работы в операционной. Он представляет собой централизованный сетевой информационный узел, подкрепленный оборудованием, который позволяет выводить, отображать, обрабатывать, передавать в потоковом режиме, записывать и дополнять медицинские изображения, программное содержимое и видеоконтент. Система Buzz имеет открытую архитектуру, удобный сенсорный интерфейс и не занимает места в помещении, благодаря чему подходит для любой операционной.
- Buzz Virtual. Данный модуль может быть установлен в любом месте, он позволяет накладывать дополнительные данные о пациентах на видеопоток в реальном времени, одновременно предоставляя необходимую документацию, обеспечивает оборудование интерактивный поддержкой.
- Kick. Модуль компактного портативного оборудования с многофункциональной навигационной системой, дополняющей линейку платформ для хирургии. Он позволяет быстро переключаться между приложениями и перемещаться между операционными, а также имеет передвижную камеру.
- Curve Navigation. Самая мощная и универсальная платформа для хирургии под визуализационным контролем, которая обеспечивает не просто навигацию, но и мобильный доступ ко всем возможностям цифровой хирургии. С помощью легкой тележки с очень большим 4K-дисплеем можно планировать, просматривать, документировать и транслировать операцию из любой точки операционной.
- Loop-X. Передвижная роботизированная система визуализации 2- и 3-мерных изображений. Loop-X позволяет делать рентгеновские снимки на месте проведения операции и устанавливать точную область сканирования, что значительно снижает дозу облучения пациента и медицинского персонала.
- Mixed reality. С помощью очков воссоздается гибридная реальность, которая позволяет взаимодействовать с реальным пациентом за счет возможности видеть перед собой изображения из программного обеспечения. Кроме того, данный модуль открывает новые способы сотрудничества с коллегами на любом расстоянии, не выходя из кабинета. Есть возможность обходить вокруг виртуальных структур и перемещать данные как реальные объекты.
- CMF Planning предназначен для планирования в челюстно-лицевой хирургии, он автоматизирует

этапы выравнивания, сегментации, конструирования, создания объемов, отзеркаливания структур. Это позволяет выполнять планирование быстро и интуитивно, независимо от сложности случая. Данный модуль удобно использовать в травматологии и реконструктивной хирургии (отзеркаливание здоровых и пораженных структур), создании STL-файлов на основании отзеркаленных структур при удалении образований за счет создания 3D-объемов.

Функциональные возможности:

- собственное разработанное оборудование и программное обеспечение для операционной;
- специализированное программное обеспечение для нейрохирургии, ортопедии и других областей медицины;
- точное планирование операций с использованием систем навигации Brainlab;
- обширная библиотека имплантатов и инструментов для их проектирования;
- интеграция с системами визуализации и интраоперационного картирования.

Преимущества:

- **высокая точность переноса виртуального плана благодаря навигации и тесной интеграции с оборудованием Brainlab;**
- **специализированные решения для конкретных клинических областей;**
- **интегрированная реальность.**

Ограничения:

- **ориентировано преимущественно на решения Brainlab, ограниченная интеграция с оборудованием других производителей.**

5. Planmeca

Planmeca — головная компания Planmeca Group, специализирующаяся на разработке и производстве высокотехнологичного стоматологического оборудования. Ассортимент продукции компании включает цифровые стоматологические установки, CAD/CAM-системы, системы двух- и трехмерной визуализации, а также комплексные программные решения. Эта компания первая в мире реализовала и продвинула на рынок концепции цифровой стоматологии, обеспечивающие эффективное и эргономичное управление информационными потоками. Компания Planmeca была основана в 1971 г. и на сегодняшний день является крупнейшей частной компанией в стоматологической отрасли.

Основные модули программы Planmeca:

- 2D. Данный модуль включает предварительную обработку рентгеновских снимков, поддерживает процессы интраоральной визуализации — от изображений прикуса до шаблонов полной внутроротовой серии изображений, а также подходит для хранения информации о пациентах.
- Сephalometric Analysis автоматически размещает точки и очертания мягких тканей на цефалометрическом изображении, позволяет имитировать хирургическое и ортодонтическое лечение, создавая цефалометрическую визуализацию цели лечения (VTO) со снимком прогнозируемого результата.

• Smile Design предназначен для проектирование новой улыбки. С помощью двухмерной фотографии лица и автоматически определяемых контуров зубов он дает возможность изменять положения, форму и размеры каждого зуба индивидуально, позволяя достичь оптимального вида и подгонки.

• Planmeca Romexis позволяет управлять снимками КЛКТ, моделями поверхностей, трехмерными фотографиями и даже записями движения челюсти в 4D в одном интерфейсе. Модуль оптимально подходит для упрощенного и быстрого просмотра изображений и предоставляет инструменты, необходимые для расширенных планов лечения и анализа.

• Romexis 3D implantology имеет два подмодуля, специально предназначенные для имплантологии: один — для виртуального планирования имплантатов, а другой — для моделирования хирургических шаблонов. В комплект программного обеспечения Romexis входит библиотека имплантатов с реалистичными моделями имплантатов более чем 100 производителей.

• Romexis CMF Surger предназначен для виртуально подготовки виртуальных планов ортогнатического хирургического лечения. Он предоставляет хирургам средства для оценки и создания промежуточных и окончательных шин на базе целевой окклюзии и положения челюсти.

• PlanCAD Easy предназначен для автоматизированного моделирования различных зубных протезов — от одиночной коронки до полного мостовидного протеза.

• PlanCAD Premium позволяет моделировать коронки и мосты (колпачки, в том числе анатомические, монолитные реставрации, каркасы), вкладки, накладки, виниры, восковые модели, телескопические коронки, абатменты с винтовой и цементной фиксацией, балки и мосты с опорой на имплантат, ночные окклюзионные капы и модели для 3D-печати.

• Romexis CAD/CAM позволяет добавлять неограниченное количество типов сканирования, подходящих для различных пациентов и показаний. Например, можно сканировать разные прикусы при лечении сложных случаев или добавлять изображения скан-боди для целей имплантации.

• Romexis Ortho Simulator подходит для всех наиболее распространенных ортодонтических показаний: позволяет создавать симуляции результатов лечения в течение нескольких минут после сканирования с помощью интраорального сканера Planmeca Emerald S. Результатами симуляции являются не конкретный план лечения, а реалистично выглядящий зубной ряд и улыбка, которые можно использовать в качестве основы для обсуждения плана лечения с пациентом.

Функциональные возможности:

- работа с 3D-фотографиями пациента;
- обработка КТ головы, выделение боковой, фронтальной ТРГ, получение срезов ВНЧС;
- 2D-цефалометрия лицевого скелета;
- 2D- и 3D-симуляция хирургической операции;

- сопоставление КТ, цифровых аналогов (данных сканирования) зубов, 3D-фотографий лица;
- широкий спектр возможностей внутриротового сканирования;
- CAD/CAM-печать.

Преимущества:

- **собственное качественное рентгенологическое оборудование;**
- **возможность проведения цефалометрического анализа;**
- **3D-симуляция конечного результата оперативного вмешательства и прогнозирование ортогнатического лечения (улыбка).**

Ограничения:

- **высокая стоимость лицензий и обновлений;**
- **требуется мощное оборудование для работы с большими объемами данных;**
- **сложный интерфейс, требующий дополнительного обучения, как следствие невозможность проведения самостоятельного планирования операций для врача.**

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ

Авантис3Д

Авантис3Д — отечественная компьютерная программа, разработанная на базе ЦНИИС. Программа направлена на минимизацию ручного труда и перевод большего количества повседневных манипуляций в автоматический режим с помощью компьютерных технологий. Программа состоит из нескольких модулей, включающих все разделы стоматологии. Она позволяет импортировать данные КТ, 3D-сканы и фото пациента, совмещать их и виртуально планировать лечение. Такое «обратное» планирование гарантирует высокое качество диагностики и лечения. Пациент может увидеть конечный результат еще до начала лечения. Виртуальный дизайн протезов, имплантов, элайнера и других лечебных аппаратов, их цифровое производство (3D-прототипирование, CAD/CAM) гарантирует высокую точность лечения.

Основные модули программы Авантис3Д:

- «Виртуальный пациент» включает возможность построения виртуального двойника пациента на основе данных КТ, сканов зубных рядов, лица (или фотографий).
- «Диагностика» включает анализ исходных данных, требуемых для планирования лечения и оценку его результатов, а также цифровой анализ моделей, ТРГ, КТ.
- «Гнатостудия» включает определение центрального взаимоотношения челюстей, расположения ВНЧС сустава, мануальную коррекцию положения шарнирной оси, проектирование сливов.
- «Ортогнатика» включает в себя виртуальное проведение ортогнатических операций.
- «Ортодизайн» включает планирование выравнивания зубов с визуализацией и контролем движения корней.
- «Имплант-мастер» включает в себя виртуальное планирование положения имплантатов и мини-винтов.
- «Дентал Лаб» включает проектирование несъемных протезов.

Функциональные возможности:

- работа с 3D-сканами пациента;
- обработка КТ головы, выделение боковой, фронтальной ТРГ, получение срезов ВНЧС;
- 2D-цефалометрия лицевого скелета;
- 3D-симуляция хирургической операции и улыбки пациента;
- сопоставление КТ, цифровых аналогов (данных сканирования) зубов, 3D-фотографий лица;
- широкий спектр возможностей внутриротового сканирования.

Преимущества:

- **удобство в использовании, при возникновении вопросов и сложностей в работе программы или планировании пациента общение происходит на русском языке, что облегчает и ускоряет достижение результата, легкая доступность обновлений, отсутствие санкций и необходимости использования VPN;**
- **3D-симуляция конечного результата оперативного вмешательства и прогнозирование ортогнатического лечения (улыбка).**

Ограничения:

- **отсутствие полноценного модуля по травматологии;**
- **сложный интерфейс, требующий дополнительного обучения, как следствие, невозможность проведения самостоятельного планирования операций для врача.**

Bonabyte

BonaByte — молодая компания, базирующаяся в Российской Федерации. Она специализируется на разработке программного обеспечения для визуализации и планирования в области реконструктивной хирургии.

Основные модули программы Bonabyte

- BonaPlanner 3D создан специально для удобства работы врача, интуитивно понятен, направлен на комфортное и быстрое взаимодействие инженера-планировщика и оперирующего хирурга. Содержит все необходимые инструменты для планирования различных типов операций (перемещение, вращение, измерения, виртуальная остеотомия). Важный плюс — можно провести постоперационное совмещение для оценки результатов операции и сравнения их с планированием.
- ВНЧС. Изготовление индивидуальных имплантов ВНЧС в соответствии с потребностями пациента, а также изготовление суставных ямок из полированного титана, высокомолекулярного полиэтилена или PEEK. Фиксация рассчитывается на этапе предоперационного планирования исходя из состояния кости, удобности доступа и безопасности нижнечелюстного нерва и полостей черепа. Персонифицированность подхода позволяет совмещать данный тип операции с ремоделированием костей и ортогнатическими коррекциями.
- Ортогнатия. Хирургические шаблоны обеспечивают высочайшую точность проведения операции, а анатомичность формы индивидуальных пластин позволяет достичь оптимального прилегания. Фиксирующие сплиты помогают добиться

запланированного взаимного расположения верхней и нижней челюсти исходя из желаемого прикуса.

- Травматология и восстановление дефектов. Индивидуальные компоненты для фиксации/аугментации/замещения фрагментов лица из различных биосовместимых материалов обеспечивают оптимальную реконструкцию средней и/или нижней трети, что приводит не только к функциональной, но и к эстетической реконструкции. Этот продукт доступен в различных конфигурациях и материалах: титан (твердотельный и сетчатый), РЕЕК (твердотельный и сетчатый), твердотельный высокомолекулярный полиэтилен.
 - Микрохирургия. Комплект направляющих для реконструкции челюсти с микроваскуляризацией малоберцовой кости позволяет оптимально приблизить силуэт челюсти пациента. Направляющие содержат тщательно спроектированные плоскости для проведения остеотомии, чтобы обеспечить полный контакт между фрагментами малоберцовой кости и в точности соблюдать медицинские показания.
 - Субпериостальная имплантация. Имплантаты для реконструкций участков верхней и нижней челюсти с посадочными местами под зубные протезы являются комплексным решением при масштабных дефектах челюсти. Крепежные элементы имплантата рассчитывают заранее, на этапе предоперационного планирования. Это позволяет запланировать введение винтов в области наибольшей плотности кости, обеспечить доступ для установки, адаптировать форму крепежных элементов в соответствии с дефектом.
- Функциональные возможности:**
- визуализация медицинских изображений и создание 3D-моделей анатомических структур;
 - планирование хирургических вмешательств с симуляцией различных сценариев;
 - проектирование индивидуальных имплантатов, их печать из медицинского титанового сплава Ti6Al4V (BT-6), SLA, FDM;
 - генерация отчетов и документации по планам операций;
 - возможность сравнения результатов до и после оперативного лечения.

Преимущества:

- **относительно низкая стоимость по сравнению с лидерами рынка;**
- **интуитивно понятный интерфейс и простота использования, как следствие, возможность самостоятельного виртуального планирования операции хирургом;**
- **фокус на определенных клинических областях челюсто-лицевой хирургии ВНЧС, ортогнатия, травматология и реконструкция, микрохирургия.**

Ограничения:

- **меньшие функциональность и возможности по сравнению с лидерами рынка;**
- **ограниченная интеграция с системами навигации и роботизированной хирургии;**
- **отсутствие облачных решений.**

Эндопринт

Инновационно-технологическая компания «Эндопринт» (ИТК «Эндопринт») — первое российское предприятие, реализующее возможности 3D-проектирования и адаптивных технологий для изготовления индивидуальных имплантатов, применяемых при лечении пациентов в сложнейших случаях. Индивидуальные решения для каждого пациента создаются в тесном взаимодействии опытных биоинженеров с оперирующим хирургом при помощи передового программного обеспечения. Каждый имплантат уникален. При изготовлении не только учитываются анатомические особенности пациента, совместно с врачом прописывается план предстоящей операции. Такой механизм работы обеспечивает возможность установки эндопротеза даже в условиях крайне сложного доступа к области дефекта.

При проектировании бионженеры учитывают индивидуальные особенности каждой конкретной анатомической области, а за основу для проектирования принимается здоровая сторона пациента, которая помогает восстановить симметрию лица. «ИТК Эндопринт» можно использовать в таких областях челюстно-лицевой хирургии, как травматология, коррекция врожденных и приобретенных деформаций с помощью резекционных шаблонов и эндопротезов, ортогнатическая хирургия, микрохирургия. Спектр возможностей определяется конкретной анатомической областью.

Области применения «ИТК Эндопринт»

- **Дно глазницы.** Имплантаты для замещения дна глазницы изготавливаются из сверхвысокомолекулярного хирургического полиэтилена — хиурулена. В редких случаях замещение производится сетчатым титановым имплантатом.
- **Скуловая кость.** Имплантаты для замещения скуловой кости, как правило, изготавливаются из сверхвысокомолекулярного хирургического полиэтилена — хиурулена. В редких случаях замещение производится титановым имплантатом.
- **ВНЧС.** Восстановление функций сустава после травмы или его разрушения в результате онкологического заболевания осуществляется посредством замещения мышцелкового отростка титановым имплантатом, а также замещения суставного диска вкладышем из сверхвысокомолекулярного хирургического полиэтилена — хиурулена. В случае поражения обширной области нижней челюсти восстановление осуществляется с помощью костного трансплантата в комбинации с титановой пластиной или сеткой-фиксатором. Индивидуально спроектированные резекционные блоки из стерилизованного медицинского фотополимера MED610 позволяют сохранить нижний альвеолярный нерв даже при замещении всей окружающей его костной ткани.
- Восстановление области нижней челюсти костным трансплантатом (свободным или микрососудистым, фиксируемым индивидуальной титановой пластиной).
- Индивидуальные титановые имплантаты при переломах нижней челюсти, изгиб пластины точно повторяет контур челюсти пациента.

- Индивидуальные резекционные шаблоны и эндопротезы используются для врожденных патологий, последствий полученных травм или развития хронических заболеваний. В ходе операции резецируется участок гипертрофированной области челюсти с последующим совмещением участков и закреплением их пластиной или, наоборот, восполняется индивидуальным трансплантатом. При проектировании комплекта изделий для данной операции учитываются не только анатомические особенности дефекта, но и эстетические требования к результату операции.

Функциональные возможности:

- визуализация медицинских изображений и создание 3D-моделей анатомических структур;
- планирование хирургических вмешательств с симуляцией различных сценариев;
- проектирование индивидуальных имплантатов, их печать из медицинского титанового сплава и фотополимера MED610.

Преимущества:

- относительно низкая стоимость по сравнению с лидерами рынка.**
- Доступность компании в связи с расположением в Российской Федерации.**

Ограничения:

- невозможность хирургу самостоятельно планировать операцию, длительное дистанционное согласование конечной конструкции.**

Medgital Vision

Medgital Vision — навигационная система дополненной реальности для визуализации анатомии пациента во время хирургической операции. С помощью технологии смешанной реальности врач приобретает способность рентгеновского зрения и может видеть все необходимые внутренние анатомические структуры и исходя из этого планировать свои действия во время операции.

Области применения Medgital Vision

- точная привязка голограммы к пациенту за счет применения технологии позиционирования Medgital;
- визуализация как сегментированных данных, так и данных DICOM в виде объемной модели;
- гибкая настройка визуализации — врач видит только то, что ему нужно в данный момент;
- передача данных на очки и построение объемной DICOM-модели занимает менее минуты;
- визуализация данных сразу на пациенте;
- построение сечений и сегментация нужных областей;
- голограмму можно визуализировать как в реальном масштабе, так и в увеличенном;
- планирование доступа прямо на пациенте, без необходимости резекции мягких тканей;
- гибкий инструментарий для разметки доступа.

Функциональные возможности:

- возможность проводить операции, не отвлекаясь от операционного поля;
- существенная экономия пространства операционной — нужно только очки;

- вся нужная информация всегда перед хирургом, нет необходимости переключать внимание на мониторы. Преимущества:

- планирование операций без создания физических макетов.**

Ограничения:

- не включена система планирования и печати индивидуальных физических объектов (пластины, шаблоны, эндопротезы и др.).**

Autoplan

Autoplan — российская система хирургической навигации, предназначенная для планирования оперативного вмешательства и интраоперационного контроля. Работа системы основана на технологии оптического трекинга в инфракрасном диапазоне. Ее использование обеспечивает детекцию инструмента хирурга с точностью в доли миллиметра и привязку 3D-модели пациента к его анатомическим структурам в ходе операции. Система позволяет отслеживать и отображать хирургические инструменты относительно анатомических структур пациента, избегая повреждения функционально значимых зон, в режиме реального времени. Интуитивно понятный интерфейс системы ускоряет рабочие процессы в операционной.

Области применения Autoplan:

- Проектирование и производство передовых изделий на основе технологий VR, искусственного интеллекта, оптического трекинга, биологической обратной связи для практического здравоохранения и медицинского образования. Инновационная структура ИИР СамГМУ включает в себя центры для полного цикла производства современного медицинского оборудования по принципу «от идеи до серии». Компания предоставляет системы интраоперационной навигации и роботизированной медицины.
- В настоящий момент находится на этапе разработки. Основной фокус использования планируется на ортогнатической хирургии.
- Реконструкция дефектов на основе зеркализации симметричных областей.
- Импорт и экспорт STL-моделей.
- Добавление слепков зубов для повышения точности навигации.
- Моделирование навигационных шаблонов.
- Морфологические операции с 3D-объектами для челюстно-лицевых структур.
- Планирование линий опила.
- Моделирование желаемой ротации костных структур.
- Оценка диспропорции верхней и нижней челюстей.
- Навигация по нескольким подвижным костным структурам.
- Динамическое отображение данных о ротации цевьевых структур.
- Отслеживание любого хирургического инструмента.
- Интраоперационная проверка следования плану.
- Функциональные возможности:
- собственное оборудование для интраоперационной навигации;

- производство полного цикла собственных продуктов;
- локализация производства зарубежных компаний;
- контрактное производство сторонних резидентов;
- роботизированные технологии в хирургии;
- интеграция с операционным микроскопом.

Преимущества:

- замкнутый цикл — планирование, производство, интраоперационный контроль, протоколирование.

Ограничения:

- направление челюстно-лицевой хирургии находится на этапе разработки.

	Materialise	Dolphin	3D Systems	Brainlab	Planmeca	Авантис3Д	Bonabute	Эндоприм	Medgital Vision	Autoplan
Рентгенологическое оборудование	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Оборудование для 3D-сканирования лица	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
Оборудование для проведения внутриротового сканирования	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—
Оборудование для комплектации операционной	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—
Оборудование для интраоперационной навигации	—	—	+	+	—	—	—	—	—	+
3D-очки для интегрированной реальности	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—
Роботизированные технологии	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
Сегментация (трансформация КТ в 3D-модели)	+	+	+	+	+	+	+	+	—	?
Интеграция 3D-сканов лица	—	+	—	—	+	+	—	—	—	?
Интеграция 3D-внутриротовых сканов	—	+	—	—	+	+	—	—	—	?
Виртуальные планирование операций	+	+	+	+	+	+	+	+	—	?
Формирование STL-файлов для последующей печати	+	+	+	+	+	+	+	+	—	?
Интегрированная реальность — перенос голографических структур на интраоперационное поле	—	—	—	+	—	—	—	—	+	?
Облачные решения для хранения данных	—	+	—	+	—	—	—	—	—	?
Отчетность и система документации клинических случаев для клиники и врача	—	+	—	+	—	—	—	—	—	?
Травматология	+	—	+	+	—	—	+	+	+	?
Реконструктивная хирургия	+	+	+	+	+	+	+	+	+	?
ВНЧС	+	—	+	—	—	—	+	+	—	?
Ортогнатия	+	+	+	—	+	+	+	+	—	?
Микрохирургия	+	—	+	—	—	—	+	+	—	?
Стоматология	—	+	—	—	+	+	—	—	—	?
Печать индивидуальных конструкций из металла	+	—	+	+	—	+	+	+	—	?
Печать индивидуальных конструкций из полимерных материалов	+	—	+	+	—	+	+	+	—	?
Биопринтинг	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—

ОБСУЖДЕНИЕ

После анализа вышеизложенной информации все возможности программного обеспечения сведены нами в таблицу, что облегчает врачу-клиницисту быстрый и удобный поиск подходящего программного обеспечения.

Выбор подходящей программы зависит от конкретных потребностей врача и пациента, бюджета и области применения. Некоторые компании предлагают широкий функционал и расширенные возможности, в то время как другие ориентированы на простоту использования и доступность, отдельные выделяются своей уникальностью. В современных реалиях и при наличии санкций важно тщательно оценивать свои требования и сравнивать различные варианты, чтобы найти подходящее программное обеспечение, т.е. оценивать рассмотренные программы с точки зрения их практического применения.

Программа Materialise является безусловным лидером рынка. Она отличается широким арсеналом инженерных решений, способна справляться с планированием самых сложных операций, существует на рынке длительное время. Однако, выбирая работу напрямую с данной компанией, врач сталкивается с тем, что в связи со сложностью интерфейса и широким спектром инженерных решений, без специального обучения, самостоятельно спланировать оперативное лечение пациента весьма затруднительно, а при планировании его инженерами компании могут возникать сложности в связи с тем, что компания является бельгийской и все общение происходит на французском языке. Кроме того, возникают проблемы с доставкой распечатанных изделий.

Dolphin является лидером в области виртуального планирования лечения пациентов с врожденными аномалиями положения челюстей, включает в себя ортогнатическую хирургию, ортодонтию и ортопедию. Помимо специализированного планирования ортогнатических операций с предварительным цефалометрическим анализом и прогнозированием поведения мягких тканей, компания предлагает широкий спектр возможностей для хранения информации, облачных решений и организации документации для конкретного лечебного учреждения. Конечно, для специалистов, задействованных в ортогнатической хирургии, ортодонтии и ортопедии, программа оптимальна, но в настоящий момент в связи с санкциями нет возможности зайти на официальный сайт компании без использования VPN, вследствие чего даже при наличии программы невозможны ни техническая поддержка, ни обновления. При выборе данной программы можно использовать только старые взломанные версии, что резко ограничивает спектр возможностей планирования.

Американская программа 3D Systems предлагает уникальные решения 3D-печати. Ее особенность — возможность биопечати органов, это уникальное и перспективное направление, но практическое применение данной программы на территории РФ затруднительно. Это связано с различиями в юридических аспектах работы и сложностью логистики доставки биоматериала.

Программа Brainlab предоставляет уникальные решения для организации операционной за счет современных нейронавигационных решений, а также интегрированной реальности. Компания до сих пор сохранила российское представительство, поэтому работа с ней возможна, но спектр использования не слишком объемный. Пожалуй, наиболее рациональным будет выбор данной программы при наличии образований в челюстно-лицевой области или травматологии, но программа не сможет предложить решения для ортогнатической хирургии и стоматологии.

Программа Planmeca будет идеальным решением при необходимости комплексного лечения пациентов с врожденными аномалиями развития челюстей, коррекции прикуса и, при необходимости, дальнейшего ортопедического лечения. В данной программе с помощью цефалометрического анализа возможны полная цифровизация лечения, а также прогнозирование положения мягких тканей на 3D-сканах лица. Она предоставляет возможность цифровизации и стоматологического лечения и использование внутриротовых сканов. Процесс взаимодействия с компанией в современных реалиях остается открытым, так как даже сайт открывается только через VPN. Поэтому рассматривать ее как реальный рабочий инструмент нет возможности.

Анализ отечественных программ продемонстрировал полное функциональное замещение зарубежных. Пожалуй, единственный вопрос, который остается открытым, это биопринтинг.

Отечественная программа Авантис3Д, разработка ЦНИИСиЧЛХ, предоставляет адекватную альтернативу американским программам Planmeca и Dolphin. Она закрывает вопрос цефалометрических измерений, ортодонтического и ортопедического лечения, прогнозирования положения мягких тканей и визуализации конечного результата лечения. Программа подходит для планирования ортогнатических операций, имплантации, ортодонтического и ортопедического лечения.

Программы Эндопринт и Bonabyte являются идеальным решением для планирования операций в челюстно-лицевой области. С инженерной точки зрения они содержат все те же инструменты, что и лидер европейского рынка Materialise. Обе компании, помимо планирования, предоставляют возможность печати STL-файлов из различных материалов. В компаниях работают высококвалифицированные биоинженеры, они всегда готовы проконсультировать и помочь с выбором конструктивных решений. Важно отметить, что в компании Эндопринт у хирурга не будет возможности самостоятельно участвовать в планировании лечения, в любом случае ему придется объяснять инженеру суть концепции на словах или по видеосвязи, т.е. придется специально резервировать время для этого. Компания Bonabyte разработала уникальную программу для взаимодействия с врачом, где он сам, без специальной подготовки, может планировать операцию в любое удобное время. Уже на базе плана, который составил сам хирург, проводится инженерная коррекция. Данный инструмент взаимодействия очень удобен — он отвечает временем реалиям врача. Однако нужно отметить, что не все

врачи готовы активно участвовать в инженерном сегменте программы, поэтому для них больше подходит Эндопринт. В компании Bonabyte сроки изготовления необходимых конструкций из определенных материалов быстрее в связи с наличием специализированного оборудования непосредственно в офисе компании. Это принципиальный момент, так как позволяет внести пациента в операционный график в кратчайшие сроки после окончания планирования.

Немецкую программу Breinlab полностью компенсируют две отечественных компании Medgital Vision и Autoplan. Компания Autoplan предоставляет широкий спектр навигационного оборудования для операционной. В настоящий момент челюстно-лицевой модуль находится на этапе разработки, но имеет большие перспективы. Данная компания предлагает решения с робототехникой, что является стратегически важным направлением. Medgital Vision работает с интегрированной реальностью посредством 3D-очков, которые можно использовать во время операции. Спектр их применения очень широкий, но еще недостаточно изучен.

В заключение хочется отметить, что все вышеописанные программы имеют свои достоинства и недостатки. Как правило, каждая программа специализируется на определенной проблеме, предлагает конкретные и достаточно узкие пути ее решения. Таким образом, в настоящее время на рынке еще не представлена программа, отвечающая всем клиническим запросам как хирургической стоматологии, так и челюстно-лицевой хирургии. Более того, в настоящее время в России наиболее активно используются методы компьютерного моделирования, базирующиеся на импортном программном обеспечении Materialise, Dolphin, 3D Systems, Brainlab, Planmeca. Эти программы не зарегистрированы в России как медицинский продукт, а учитывая сложность политической обстановки, наличие санкций против России, их обновление и легальное использование не представляется возможным. В то же время накоплен значительный практический опыт в амбулаторной и стационарной практике, имеется четкое понимание, что необходимо для проведения реконструктивных операций с прогнозируемым эффектом по замещению дефектов, устраниению аномалий развития и полной комплексной реабилитации пациентов. Поэтому разработка и внедрение отечественного программного продукта, позволяющего планировать оперативные вмешательства, необходима и чрезвычайно актуальна.

Нашим коллективом (ПМГМУ и РУДН) совместно с российскими фирмами «Бонобайт» и «Эндопринт» создается программа для челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии, включающая все аспекты как хирургической стоматологии, так и челюстно-лицевой хирургии, состоящая из трех модулей:

- 1) имплантология, стоматология;
- 2) ортогнатическая хирургия;
- 3) реконструктивно-пластика хирургия.

Основой для такого начинания стал опыт оказания плановой помощи в условиях поликлиники и стационара, а также колоссальный опыт, накопленный нашими сотрудниками при лечении пациентов, получивших

ранения в ходе боевых действий, на этапах оказания медицинской помощи в госпиталях 4-го и 5-го уровня в Ираке и в России.

Платформой стали результаты научно-исследовательских разработок этих вузов и уже созданные, зарегистрированные и широко применяемые отечественные продукты, такие как имплантационная система «ИРИС», программа «Vi-surgery».

Для стандартизации и унификации лечения пациентов отрабатывается алгоритм взаимодействия и создания медицинского сервиса. При этом врач не должен сам от начала и до конца планировать, компьютерно (виртуально) воссоздавать клиническую ситуацию, заниматься организацией 3D-печати шаблонов и пластин. Но понимание и знание каждого этапа необходимо для практикующего врача. Логика заключается в следующем:

- 1-й этап (врачебный). Врач проводит полную диагностику, используя основные и дополнительные методы, составляет план лечения и планируемый конечный результат. Это так называемое техническое задание (ТЗ).
- 2-й этап (технический). ТЗ передается на фирму (в нашем случае «Бонобайт» или «Эндопринт»), где медицинский инженер осуществляет виртуальное воплощение плана врача — архитектурную разработку (АР) с использование компьютерных программ и имеющейся анатомической библиотеки. АР согласовывается с лечащим врачом и утверждается.
- 3-й этап (изготовление). Фирма осуществляет печать (изготовление) из медицинского полимера или титана хирургических шаблонов и реконструктивных пластин, эндопротезов. Стерилизация и упаковка изделия, передача в клинику.
- 4-й этап (клинический). Реализация плана хирургического лечения, проведение оперативных вмешательств, анализ полученного результата, сопоставление соответствуя виртуальному плану лечения. Аналитическая часть позволяет совершенствовать каждый вышеназванный этап.

Такова предлагаемая нами логика и путь развития, которому следует наш научный коллектив.

ВЫВОДЫ

Российские программы, такие как Avantis3D, Эндопринт и Bonabyte, обладают функциональными возможностями, сопоставимыми с зарубежными аналогами, что делает их перспективными для широкого применения в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии.

Благодаря своему удобному интерфейсу программа Bonabyte позволяет врачам активно участвовать в планировании операций, ускоряя процесс подготовки и делая его более гибким.

Технологии дополненной реальности, представленные в программе Medgital Vision, имеют высокий потенциал для интраоперационной навигации, но требуют дальнейшего изучения.

Недостаток отечественных решений заключается в отсутствии технологий биопринтеринга, что остается важным направлением для дальнейших разработок.

В условиях санкций российские программы могут стать полноценной заменой зарубежным продуктам, но для этого необходимо их развивать дальше, внедряя новые технологии, таких как биопринтинг и роботизация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Hassfeld S., Mühling J. Computer assisted oral and maxillofacial surgery — a review and an assessment of technology. — *Int J Oral Maxillofac Surg.* — 2001; 30 (1): 2—13. [PMID: 11289616](#)
2. Li M., Shen S., Zhao Z., Wang B., Yu H. The application of a fully digital approach in the treatment of skeletal class III malocclusion: a preliminary study. — *BMC Oral Health.* — 2023; 23 (1): 237. [PMID: 37095513](#)
3. Spille J., Helmstetter E., Kübel P., Weitkamp J.T., Wagner J., Wicker H., Naujokat H., Flörke C., Wiltfang J., Gülses A. Learning curve and comparison of dynamic implant placement accuracy using a navigation system in young professionals. — *Dent J (Basel).* — 2022; 10 (10): 187. [PMID: 36285997](#)
4. Bhalerao A., Ayoub A., Marimuthu M., Wahab A., Kumar V. Cost-effectiveness of the flapless insertion of zygomatic implants using dynamic navigation — A Retrospective Study. — *Ann Maxillofac Surg.* — 2023; 13 (2): 211—215. [PMID: 38405562](#)
5. Sozzi D., Filippi A., Canzi G., De Ponti E., Bozzetti A., Novelli G. Surgical navigation in mandibular reconstruction: Accuracy evaluation of an innovative protocol. — *J Clin Med.* — 2022; 11 (7): 2060. [PMID: 35407667](#)
6. Czako L., Sufliarsky B., Simko K., Sovis M., Vidova I., Farska J., Lifková M., Hamar T., Galis B. Exploring the practical applications of artificial intelligence, deep learning, and machine learning in maxillofacial surgery: A comprehensive analysis of published works. — *Bioengineering (Basel).* — 2024; 11 (7): 679. [PMID: 39061761](#)

БИОПЛАСТ-ДЕНТ

КОМПЛЕКТ

крошка

мембрана

материал для восстановления структурной целостности костных дефектов



В результате депротеинизации материал лишен клеточных элементов и белковых фракций



Обладает оптимальной адгезией стромальных стволовых клеток к поверхности субстрата



Представляет собой гидроксиапатит биологического происхождения с сохраненной архитектоникой



Характеризуется отсутствием иммунных реакций организма реципиента



Создает идеальные условия для прорастания кровеносных сосудов и миграции остеобластов к месту имплантации



Подходит для всех видов костных аугментаций

НОВАЯ УДОБНАЯ
ФОРМА ВЫПУСКА!

А.И. Потапова¹,

аспирант, стоматолог-хирург отделения хирургической стоматологии

А.П. Ведяева¹,

д.м.н., доцент, зав. отделением хирургической стоматологии

Т.В. Брайловская¹,

д.м.н., профессор, стоматолог-хирург отделения хирургической и экспериментальной имплантологии

Н.В. Кошелева²,

к.б.н., доцент, зав. лабораторией клинических смарт-нанотехнологий

П.С. Тимашев²,

д.х.н., доцент, научный руководитель научно-технологического парка биомедицины

И.И. Власова²,

к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник отдела современных биоматериалов

П.И. Котенева²,

м.н.с. дизайн-центра «Биофабрика»

А.М. Цициашвили³,

д.м.н., профессор кафедры пропедевтики хирургической стоматологии

¹ ЦНИИСиЧЛХ, 119021, Москва, Россия² Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, 127006, Москва, Россия³ Российский университет медицины, 127006, Москва, Россия

Исследование *in vitro* цитотоксичности и биосовместимости ген-активированного остеопластического материала

Аннотация. Проведено исследование биосовместимости и цитотоксичности двух остеопластических материалов: ксеногенного материала (КМ) «Bio-Oss» и ген-активированного материала (ГАМ) «Нуклеостим-VEGF». Эксперимент проводился с использованием крови, которую инкубировали с образцами материалов при 37°C. Исследовали хемилюминесцентные реакции нейтрофилов под воздействием активатора — форбол-12-миристат-13-акетата, а также адгезию мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК) к материалам. Результаты показали, что оба материала усиливают радикал-генерирующую активность нейтрофилов, однако с разной скоростью: ГАМ активирует клетки быстрее, достигая максимума через 40 минут, в то время как КМ требует более длительного времени для активации. ММСК успешно адгезировали к гранулам обоих материалов, но ГАМ обеспечивал лучшую жизнеспособность клеток. Полученные данные указывают на высокую биосовместимость ГАМ и его потенциал для применения в тканевой инженерии и регенеративной медицине.

Ключевые слова: плазмида, остеопластический материал, генно-активированный материал, макрофаги, мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки, адгезия

для цитирования:

Потапова А.И., Ведяева А.П., Брайловская Т.В., Кошелева Н.В., Тимашев П.С., Власова И.И., Котенева П.И., Цициашвили А.М. Исследование *in vitro* цитотоксичности и биосовместимости ген-активированного остеопластического материала. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 144—151. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_144

A.I. Potapova¹,

postgraduate, surgeon at the Dental surgery Division

A.P. Vedyeva¹,

Doctor of Science in Medicine, associate professor and head of the Dental surgery Division

T.V. Brailovskaya¹,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Surgical and experimental implantology Division

N.V. Kosheleva²,

PhD in Biology, head of the Clinical smart-nano-technologies Lab

P.S. Timashev²,

Doctor of Science in Chemistry, associate professor and head of the Biomedical Science & Technology Park

I.I. Vlasova²,

PhD in Physics and Mathematics, leading researcher of the division of Modern biomaterials

P.I. Koteneva²,

junior researcher at the “Biofactory” Design Centre

A.M. Tsitsiashvili³,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Oral surgery propaedeutics Department

¹ Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, 119021, Москва, Россия² Сеченовский университет, 127006, Москва, Россия³ Российский университет медицины, 127006, Москва, Россия

In vitro study of cytotoxicity and biocompatibility properties of gene-activated osteoplastic material

Annotation. A study of the biocompatibility and cytotoxicity of two osteoplastic materials has been conducted: the xenogenic material (XM) “Bio-Oss” and the gene-activated material (GAM) “Nucleostim-VEGF”. The experiment was conducted using blood, which was incubated with samples of materials at 37°C. Chemiluminescent reactions

of neutrophils under the influence of the activator forbol-12-myristate-13-acetate, as well as the adhesion of multipotent mesenchymal stromal cells (MMSCs) to materials were studied. The results showed that both materials enhance the radical-generating activity of neutrophils, but at different rates: GAM activates cells faster, reaching a maximum after

40 minutes, while XM takes a longer time to activate. MMSCs successfully adhered to the granules of both materials, but GAM provided better cell viability. The data obtained indicate the high biocompatibility of GAM and its potential for use in tissue engineering and regenerative medicine.

Key words: plasmid, osteoplastic material, gene-activated material, macrophages, multipotent mesenchymal stromal cells, adhesion

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время квалифицированная стоматологическая помощь остается высоко востребованной среди населения. Одним из наиболее распространенных видов оказания помощи является дентальная имплантация как эффективный метод лечения пациентов с отсутствием зубов. При этом проведение дентальной имплантации, по данным различных авторов, требует увеличения объема альвеолярной кости — проведения костной пластики с целью создания условий для установки дентального имплантата [1–3]. Кроме того, костная пластика может быть показана в связи с проведением различного рода радикальных резекционных вмешательств на челюстях по поводу кистозных и иных образований, после удаления которых формируются дефекты костной ткани, что может затруднить любое дальнейшее восстановительное лечение [1, 2]. Проведение операций костной пластики сопряжено с использованием остеопластических материалов, мембран или стволовых клеток [3]. «Золотым стандартом» остается аутогенная кость — только она одновременно обладает остеоиндуктивными, остеокондуктивными и остеогенными свойствами, при этом не вызывая никаких патологических иммунных реакций у пациента. При этом забор костного аутотранспланта всегда сопряжен с дополнительной хирургической травмой, возможными интра- и послеоперационными осложнениями в донорской области, ограниченным объемом трансплантата [3, 4].

В связи с вышеперечисленными недостатками использования аутогенных трансплантатов при костной пластике самой распространенной им альтернативой являются ксеногенные трансплантаты. Как правило, в той или иной степени они представляют собой деминерализованную и/или депротеинизированную форму, что должно говорить об отсутствии у них цитотоксичности, неорганической матрицы костей животных [5]. Их основные преимущества — это удовлетворительные остеокондуктивные свойства, отсутствие в необходимости формирования дополнительной донорской зоны и неограниченный объем [6, 7]. В зависимости от метода обработки ксеногенный остеопластический материал обладает достаточной резорбционной устойчивостью и может служить каркасом на протяжении нескольких лет [7, 8]. При этом для благоприятного исхода костной пластики: своевременного восстановления или увеличения объема костной ткани путем замещения костного трансплантата — недостаточно только остеокондуктивных свойств у остеопластических материалов. В связи с этим не прекращаются клинические испытания и исследования по разработке и совершенствованию неаутогенных остеопластических материалов, свойства

FOR CITATION:

Potapova A.I., Vedyeva A.P., Brailovskaya T.V., Kosheleva N.V., Timashov P.S., Vlasova I.I., Koteneva P.I., Tsitsiashvili A.M. In vitro study of cytotoxicity and biocompatibility properties of gene-activated osteoplastic material. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 144—151 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_144

у которых будут аналогичными или приближаться к аутогенным [9, 10].

На сегодняшний день перспективной группой остеопластических материалов считаются синтетические материалы, целенаправленно создаваемые с учетом процессов необходимых для увеличения объема и полноценной регенерации кости. К таким материалам относятся Cerasorb (Германия), а также Alpha Bio (Израиль). В связи с этим ведутся разработки отечественных остеопластических материалов с выраженным остеоиндуктивным действием. Особенность одного из подобных отечественных материалов — наличие интегрированной в гранулы октакальций фосфата плазмидной ДНК с геном эндотелиального роста сосудов — VEGF [9]. Данный материал представляет собой комплекс «носитель — нуклеиновая кислота», компоненты которого объединены за счет использования гелевых полимеров на этапе синтеза матрикса. Эффективность материала определяется наличием и остеоиндуктивных, и остеокондуктивных свойств.

Остеоиндуктивные свойства разрабатываемого материала связаны с моментальным высвобождением нуклеиновых кислот в зону имплантации материала и специфическим действием молекулы белковой природы, направленной на активный синтез терапевтического белка (кольцевая ДНК или РНК) [10, 11]. Такой механизм позволяет клетке сохранять свое нормальное состояние и реакцию на клеточные сигналы и полностью прекратить синтез белка, что дает ген-активированным материалам преимущество перед материалами с факторами роста [11–13].

С учетом результатов и перспектив использования ген-активированных остеопластических материалов при костной пластике челюстей определенный интерес может представлять его *in vitro* оценка свойств цитотоксичности и, соответственно, биосовместимости по отношению к росту и дифференцировке мультипотентных мезенхимальных стromальных клеток (ММСК), что может быть изучено в сравнении с аналогичными характеристиками наиболее распространенной депротеинизированной формы ксеногенного остеопластического материала.

Цель исследования — оценка свойств цитотоксичности и биосовместимости по отношению к росту и дифференцировке мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток ген-активированного остеопластического материала

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе оценивали биосовместимость с ММСК, а также цитотоксичность в отношении нейтрофилов двух

остеопластическими материалами различного происхождения:

- 1) ксеногенный материал (КМ) — Bio-Oss (Geistlich Bio-Oss, Швейцария) — натуральный костнозамещающий материал, состоящий из минеральных, очищенных от белков-прионов компонентов бычьей кости и материал на основе октакальциевого фосфата;
- 2) ген-активированный остеопластический материал (ГАМ) — «Нуклеостим-VEGF» («Гистографт», Россия) — материал на основе октакальциевого фосфата и плазмидной ДНК с геном, кодирующим сосудистый эндотелиальный фактор роста (VEGF), который высвобождается с поверхности гранул, что приводит к усилению ангиогенеза и, как следствие, индуцирует репаративную регенерацию костной ткани.

Оценка цитотоксичности изучаемых материалов методом

хемилюминесценции нейтрофилов крови

Важно учитывать общий ответ иммунной системы на имплантацию биоматериалов, который во многом зависит от повышенной концентрации нейтрофилов, они рекрутируются и активируются в месте локального повреждения ткани раньше, чем другие иммунные клетки. Нейтрофилы — клетки врожденного иммунитета, которые первыми реагируют на имплантацию материалов, и их сбалансированный ответ во многом определяет дальнейшую регенерацию тканей. Инфильтрация тканей нейтрофилами происходит через несколько часов после операции, в то время как первыми иммунными клетками, которые реагируют на имплантат, являются нейтрофилы крови. Нейтрофилы составляют 50–70% лейкоцитов крови человека в концентрации 2–7 млн/мл, и множество нейтрофилов успевает провзаимодействовать с материалом пока не остановится кровотечение. Активированные нейтрофилы секрецируют гранулярные белки (эластазу, миелопероксидазу и др.) и цитокины, фагоцитируют поврежденные клетки, а также генерируют активные формы кислорода (АФК).

Генерация АФК может быть количественно измерена с помощью метода люминол-зависимой хемилюминесценции. Это быстрый, простой и чувствительный метод оценки уровня активации нейтрофилов в цельной крови. Люминол окисляется АФК и после ряда внутримолекулярных перегруппировок переходит в 3-аминофталат, что сопровождается испусканием кванта света.

Ген-активированный и ксеногенный материалы перед экспериментом с кровью взвешивали с соблюдением условий стерильности с точностью до 0,1 г. К образцам биоматериалов добавляли аликвоты крови в соотношении 1:100. В контрольной пробе к крови добавляли 20 мкл воды. После чего образцы крови инкубировали при 37°C, в условиях периодического аккуратного ресусспендирования каждые 15 минут. Хемилюминесценцию измеряли спустя 5, 40 и 70 минут инкубации. При измерении хемилюминесценции в кюветы хемилюминометра, с 485 мкл раствора Кребса—Рингера (с NaHCO_3

и CaCl_2) и 200 мкмоль люминола, добавляли 20 мкл крови, инкубированной с внеклеточными везикулами или 20 мкл крови, инкубированной без добавок, в качестве контроля. Измерение хемилюминесценции проводили в 3 повторах на приборе Lum-1200 (Россия). После 5 минут измерения к исследуемым образцам добавляли активатор нейтрофилов форбол-12-миристат-13-ацетат (ФМА) в концентрации 100 нг/мл. Измерения проводили при 37°C достижения максимума хемилюминесценции во всех пробах.

Оценка биосовместимости и адгезии ММСК на поверхности матриц остеопластических материалов

Оценку биосовместимости и адгезивных свойств обоих остеопластических материалов проводили путем двухцветного анализа Live/Dead жизнеспособности ММСК в популяции на основе целостности плазматической мембранны и активности эстеразы.

Стерильные образцы изучаемых остеопластических материалов засевали мультипотентными мезенхимальными стромальными клетками (ММСК), полученными у пациентов из биоптатов альвеолярной слизистой оболочки в ретромолярной области, в количестве 100 тыс. клеток на 0,5 см² материала. Образцы культивировали в течение 3 и 7 дней в стандартных условиях (37°C, 5% CO_2) и затем проводили анализ жизнеспособности с помощью анализа Live/Dead. Живые клетки окрашивали зеленым красителем кальцеином-АМ, мертвые — красным красителем пропидия йодидом. Для окрашивания ядер использовали синий краситель Hoechst 33258. После окраски в течение 20 минут (37°C, 5% CO_2) образцы трижды промывали смесью питательной среды Игла в модификации Дульбекко и среды Хама (DMEM/F12) в пропорции 1:1, а затем визуализировали с помощью флуоресцентной визуализирующей системы Evos M5000 (Thermo Scientific, США) при длине волны 405 нм (для Hoechst 33258), 488 нм (для кальцеина-АМ) и 594 нм (для пропидия йодида).

Обработка материала и выделение клеток

Для получения первичных культур ММСК производили забор биоптатов альвеолярной слизистой оболочки рта в ретромолярной области у 5 добровольцев, здоровых мужчин 18–25 лет, с соблюдением правил асептики и антисептики под местным обезболиванием (1,7 мл 4%-ного раствора артикаина с адреналином 1:200 000) получали биоптаты слизистой оболочки ретромолярной области в ходе плановой операции по удалению ретинированных третьих моляров нижней челюсти, покрытых невоспаленным слизистым «капюшоном», при помощи скальпеля, размером 0,5×0,5 см, после чего проводилось непосредственно удаление зуба и закрытие раны простыми узловыми швами.

После получения биоптаты помещали в пробирки объемом 15 мл в смесь питательных сред DMEM/F12 с добавкой глутамина (0,3 мг/мл) и гентамицина (40 мг/мл), и транспортировали для дальнейшей работы. В лаборатории биоптаты трижды промывали раствором DMEM/F12 с антибиотиками

(гентамицин и пенициллин/стрептомицин) и антимикотиком триазольного ряда, переносили в чашку Петри, механически проводили дезагрегацию и переносили в новые чашки Петри, где покрывали минимальным количеством ростовой среды 0,25%-ного раствора трипсина и раствором Версена (1:1) согласно стандартному протоколу получения мезенхимальных стромальных клеток [10]. Через сутки неприкрепившиеся фрагменты ткани переносили на новые чашки, а к прикрепившимся добавляли по 1,5 мл среды и культивировали до третьего пассажа.

Культивирование клеток

Клетки культивировали на адгезивных чашках Петри в стандартных условиях при 37°C и 5% CO₂ в ростовой среде DMEM/F12 с глутамином, с добавлением 10% эмбриональной телячей сыворотки, 1% антибиотика-антимикотика, 1% инсулин-трансферрин-сelenита, гепарина и 0,1% фактора роста фибробластов («ПанЭко», Россия). Смену среды и визуальный контроль состояния культур проводили при помощи инвертированного микроскопа с фазовым контрастом Axio Vert A1 (Carl Zeiss, ФРГ) раз в 2–3 суток. При достижении 70–80% конфлюентности культуры пассировали. Для этого чашки промывали в трех сменах раствора Версена, и в течение 3 минут обрабатывали 0,25% раствором трипсина при 37°C, переносили полученную супензию на новые чашки Петри с двукратным увеличением посевной площади и заливали полной ростовой средой. На следующие сутки после пассирования в чашках меняли полную ростовую среду.

Характеристика мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток

Фоторегистрацию фенотипа ММСК проводили рутинным способом в процессе культивирования и после пассирования с использованием светового микроскопа с фазовым контрастом.

Для подтверждения соответствия иммунофенотипа ММСК принятым критериям был исследован иммунофенотип первичных культур клеток на 3-м пассаже с помощью проточного цитофлуориметра на наличие специфических поверхностных маркеров МСК (CD90, CD73, CD105, CD44, CD29) и отсутствия гемопоэтических

и лимфоцитарно-лейкоцитарных маркеров (CD45, CD34, CD14, CD19). Суспензии живых клеток, полученные обработкой раствором Версена и трипсином, в количестве не менее 1 млн клеток на образец окрашивали антителами к CD90, CD73, CD105, CD29, CD44, CD19, CD34, CD45, CD14 конъюгированные с флуорочромом фикоэритрином в соотношении 1:100 в течение 15 минут в темноте. В качестве изотипического контроля использовали антитела к иммуноглобулинам мыши IgG1-PE (Mylenyi Biotec, ФРГ), также в качестве контроля использовали неокрашенную супензию клеток.

После окраски антителами образцы отмывали в фосфатно-солевом буферном растворе и загружали в проточный цитофлуориметр. Измерения проводили с использованием лазера с длиной волны 488 нм. Клеточные популяции признавали принадлежащими к популяции ММСК, если экспрессия положительных маркеров составляла ≥95%, а негативных ≤2%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первичные культуры ММСК альвеолярной слизистой оболочки ретромолярной области имели стандартную морфологию (рис. 1A) — веретенообразную удлиненную форму. Клетки стабильно пролиферировали, формировали монослой, в процессе культивирования и при пассировании сохраняли свои морфологические особенности (рис. 1B).

Иммунофенотип клеток соответствовал принятым критериям ММСК, более 90% клеток популяции несли положительные маркеры (CD73, CD90, CD105, CD44, CD29), негативные маркеры присутствовали менее чем у 1% клеток (CD14, CD19, CD34, CD45).

Цитотоксичность в цельной крови

В каждом эксперименте сравнивали два образца цельной крови: контрольный образец (добавка фосфатно-солевого буфера) и образец, инкубированный с остеопластическим материалом — КМ или ГАМ. После инкубации отбирали аликовты крови для измерения ХЛ. В качестве индуктора активации нейтрофилов использовали ФМА. В экспериментах наблюдали усиление ответа нейтрофилов на ФМА по мере увеличения времени инкубации

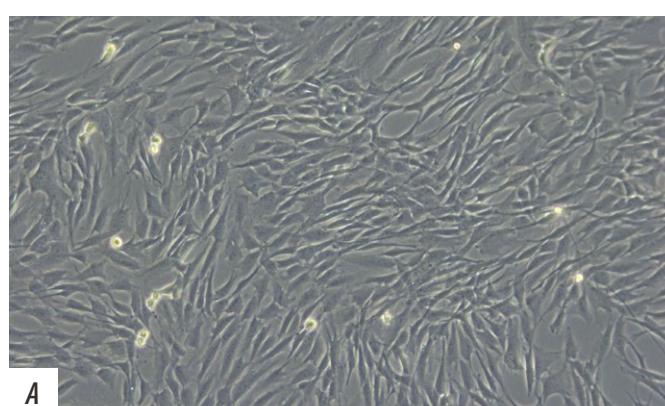


Рис. 1. Фенотип первичной культуры ММСК десны: А — 1-й пассаж; В — 3-й пассаж. Световая фазово-контрастная микроскопия, ув. 300

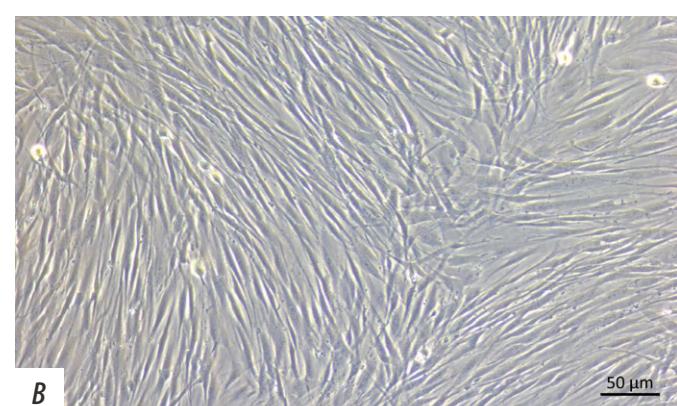


Fig. 1. The phenotype of the primary culture of MMSC gum: A — 1st passage; B — 3rd passage. Light phase contrast microscopy, mag. 300x

крови и материалов, однако временные зависимости для двух материалов были разные (рис. 2).

Индуцированное ГАМ увеличение ответа клеток на ФМА достигает максимума через 40 мин инкубации, что говорит о быстрой активации клеток. КМ, напротив,

не активирует нейтрофилы в крови по крайней мере до 40 минут инкубации, но дальнейший контакт материала с кровью усиливает ответ клеток на ФМА в полтора раза, аналогично тому, как это наблюдалось в случае ГАМ (см. таблицу).

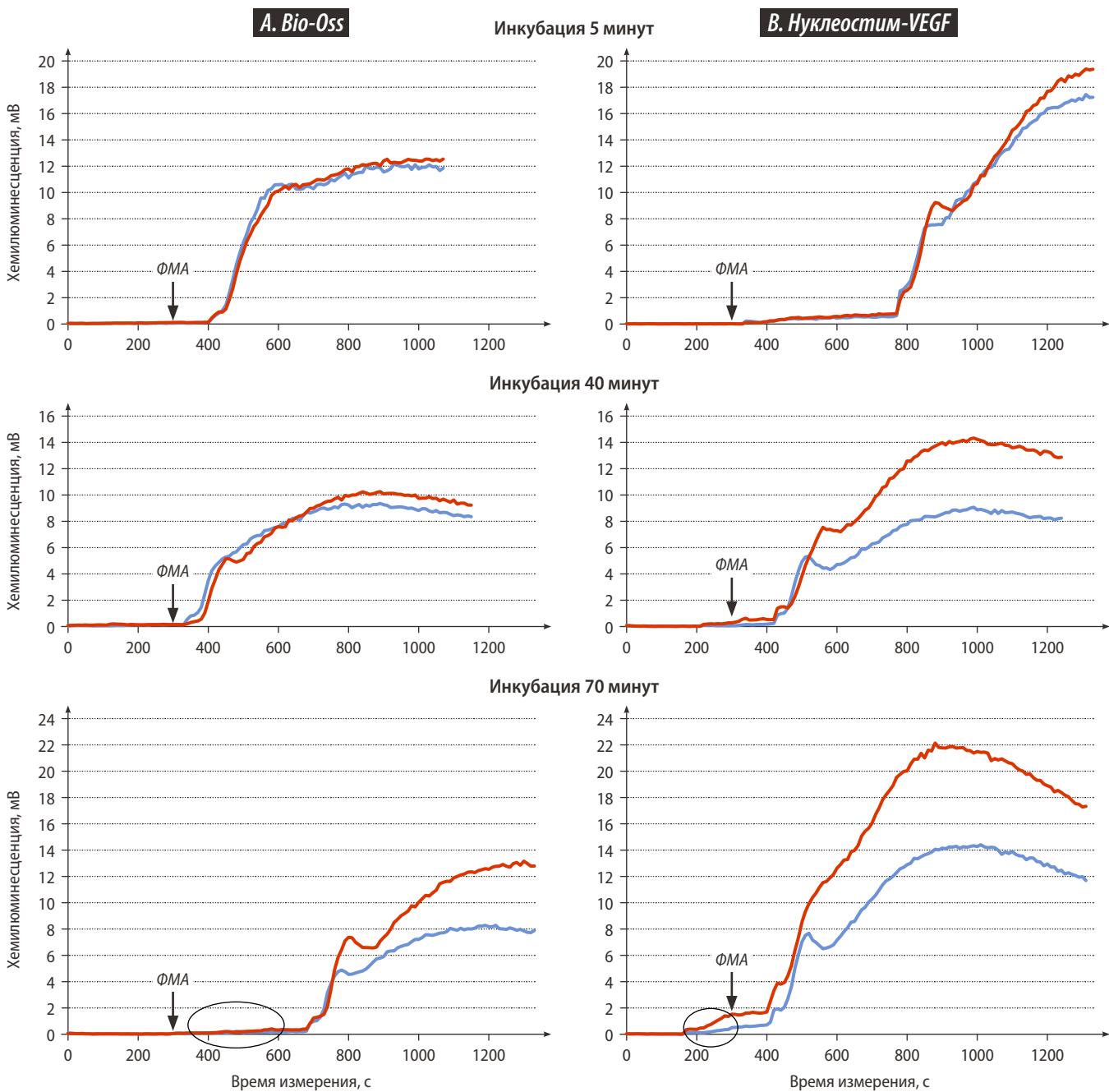


Рис. 2. Кинетика люминол-зависимой хемилюминесценции нейтрофилов крови, среднее значение при измерении трех независимых проб, взятых из одного образца (погрешность менее 15%): А — ксеногенный материал (Bio-Oss); В — ген-активированный остеопластический материал «Нуклеостим-VEGF». Инкубация с фосфатно-солевым буферным раствором (контроль, синяя кривая) или с остеопластическим материалом (красная кривая) при 36,7°C. Время инкубации 5, 40 и 70 минут. Кровь добавляли в момент времени 0 в кювету хемилюминометра с 485 мкл среды Кребса—Рингера (с NaHCO_3 и CaCl_2) и 200 мкмоль люминола. Стрелки указывают на добавление 100 нмоль форбол-12-миристат-13-ацетата (ФМА). Измерения проводили при 37°C до достижения максимума хемилюминесценции для всех образцов. Для времени инкубации 70 минут обведена собственная хемолюминесценция крови (до добавления ФМА)

Fig. 3. Kinetics of luminol-dependent chemiluminescence of blood neutrophils, the average value when measuring three independent samples taken from one sample (error less than 15%): A — xenogenic material (Bio-Oss); B — gene-activated osteoplastic material “Nucleostim-VEGF”. Incubation with phosphate-salt buffer solution (control, blue curve) or with osteoplastic material (red curve) at 36.7°C. Incubation time is 5, 40 and 70 minutes. Blood was added at time 0 to a chemiluminometer cell with 485 μl of Krebs—Ringer medium (with NaHCO_3 and CaCl_2) and 200 μmol of luminol. The arrows indicate the addition of 100 nmol of formbol-12-myristate-13-acetate (PMA). The measurements were carried out at 37°C until the maximum chemiluminescence was reached for all samples. For an incubation time of 70 minutes, the blood's own chemoluminescence is circled (before the addition of PMA)

Амплитуда кривой хемилюминесценции образцов остеопластических материалов, доля амплитуды хемилюминесценции контрольной пробы, к которой добавили натрий-фосфатный буфер (в %)

The amplitude of the chemiluminescence curve of samples of osteoplastic materials, the proportion of the amplitude of the chemiluminescence of the control sample, to which a sodium-phosphate buffer was added (in per-cent)

Материал	Время инкубации, минуты		
	5	40	70
Ксеногенный (Bio-Oss)	104±8	115±22	132±38
Ген-активированный «Нуклеостим-VEGF»	108±7	149±35*	152±47*

Примечание. * — статистически достоверно значимое отличие от Bio-Oss ($p<0,05$, $n=3$, критерий Вилкоксона).

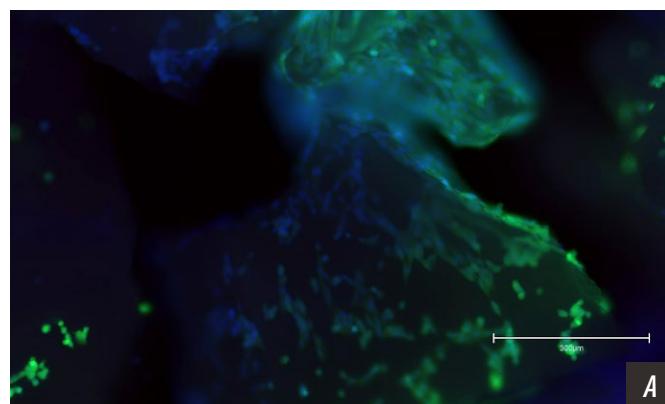
Биосовместимость и адгезия ММСК

При культивировании ММСК на поверхности гранул изучаемых остеопластических материалов клетки успешно адгезировали к поверхности частиц и оставались жизнеспособными как на 1-е, так и на 3-и сутки. При анализе образцов с помощью Live/Dead assay в эти сроки мертвых клеток обнаружено не было. ММСК

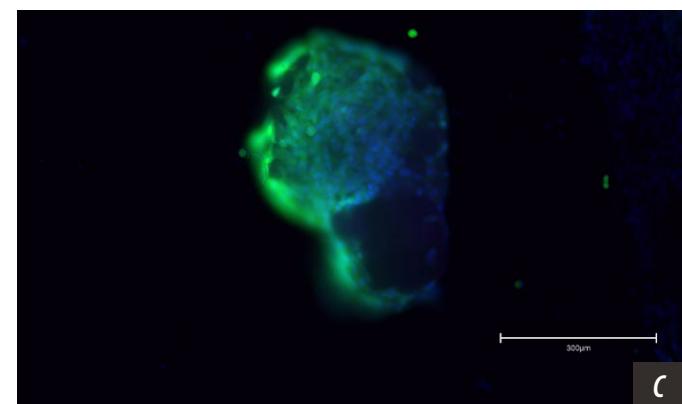
обнаруживали веретеновидной формы четко на поверхности гранул. Активная и равномерная адгезия ММСК происходила к гранулам ГАМ. На 1-е сутки площадь поверхности его гранул была покрыта монослоем ММСК (рис. 3А), тогда как на гранулах КМ клетки покрывали меньше $\frac{1}{2}$ площади поверхности гранул (рис. 3В). Спустя 3-е суток после посадки плотность ММСК на поверхности гранул КМ увеличилась до монослоя (рис. 3С). На поверхности ГАМ клетки по-прежнему покрывали более $\frac{3}{4}$ поверхности гранул и оставались жизнеспособными (рис. 3Д).

В 2016 г. В.В. Хоминец и соавт. изучали *in vivo* остеоиндуцицию, скорости reparативного остеогенеза и биодеградации ГАМ. На ранних сроках наблюдения гранулы материала были окружены новообразованной костью, а на 60-е сутки было зафиксировано полное заселение пространств между трабекулами костного репаратора и гранулами ГАМ [14].

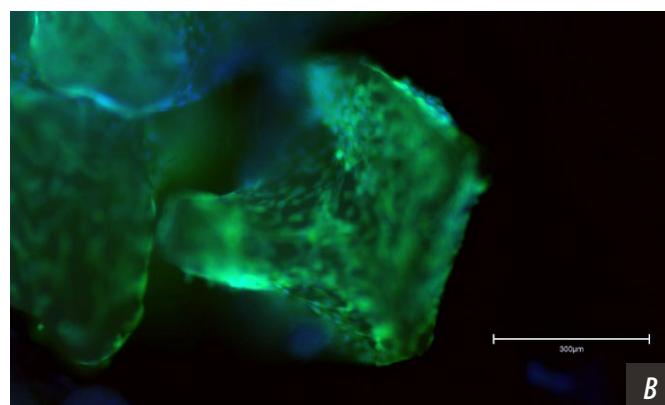
Исследование *in vivo* Г.А. Воложина и соавт. (2021) показало, что ГАМ обеспечивает ускорение и увеличивает эффективность reparативного остеогенеза. Однако, несмотря на удовлетворительные результаты в случае восполнения критических костных дефектов теменных костей кроликов, авторы указывают на необходимость



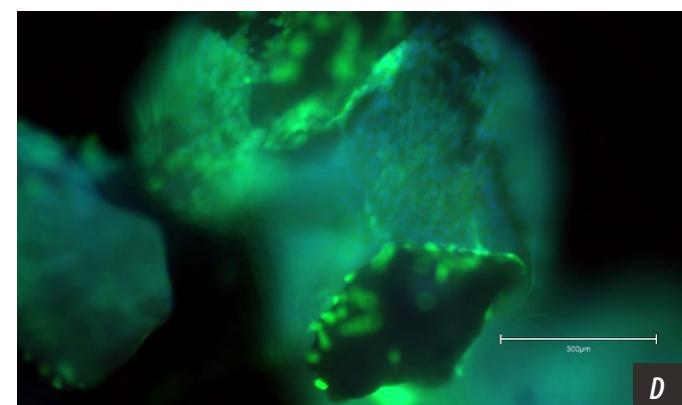
A



C



B



D

Рис. 3. Адгезия и жизнеспособность ММСК на поверхности гранул изучаемых остеопластических материалов: А — ксеногенный материал (Bio-Oss) на 1-е сутки культивирования; В — Bio-Oss на 3-и сутки; С — ген-активированный остеопластический материал «Нуклеостим-VEGF» на 1-е сутки; Д — «Нуклеостим-VEGF» на 3-и сутки. Веретеновидная форма клеток свидетельствует об их отличной адгезии к обоим материалам. Окраска на живые—мертвые клетки: зеленый — живые клетки (окраска кальцеином-АМ), красный — мертвые (окраска пропидия иодидом), синий — ядра (окраска бис-бензимидом)

Fig. 3. Adhesion and viability of MMSCs on the surface of granules of the studied osteoplastic materials: A — xenogenic material (Bio-Oss) on the 1st day of cultivation; B — Bio-Oss on the 3rd day; C — gene-activated osteoplastic material Nucleostim-VEGF on the 1st day; D — Nucleostim-VEGF on the 3rd day. The spindle-shaped shape of the cells indicates their excellent adhesion to both materials. Staining for living-dead cells: green — living cells (calcein-AM staining), red — dead (propidium iodide staining), blue — nuclei (bis-benzimide staining)

изучения механизма действия материала и длительности экспрессии терапевтического белка [2].

При культивировании ММСК на поверхности материалов и на 1-е и на 3-и сутки клетки имели веретено-видную морфологическую форму, что свидетельствовало об удовлетворительной адгезии к обоим материалам, а также об отсутствии цитотоксичности ГАМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью люминол-зависимой хемилюминесценции оба материала усиливают радикал-генерирующую активность нейтрофилов, однако эффекты отличаются во времени. Активация ген-активированным материалом быстрая и достигает максимума через 40 мин инкубации материала с кровью, тогда как ксеногенный

материал медленно активирует клетки, усиление ответа нейтрофилов на индуктор активации наблюдали не ранее, чем через 40 мин инкубации материала с кровью. Этого времени достаточно для имплантации материала, так что можно ожидать, что ксеногенный материал не будет влиять на нейтрофилы крови в процессе операции. Активная и равномерная адгезия ММСК происходила к гранулам ген-активированного материала, что может свидетельствовать о его безопасности биосовместимости и способности поддерживать жизнеспособность ММСК. Полученные данные могут быть полезными при разработке новых материалов для тканевой инженерии и регенеративной медицины.

Поступила/Received: 06.09.2024

Принята в печать/Accepted: 01.03.2025

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ушаков А.И., Юрьев Е.М. Дентальная имплантация и выбор костно-пластических материалов в зависимости от типа костной ткани челюстей. — *Российская стоматология*. — 2016; 2: 12—17. [eLibrary ID: 26287578](#)
2. Воложин Г.А., Базикян Э.А., Деев Р.В., Бозо И.Я., Пресняков Е.В. Оценка регенерации костной ткани пациентов после имплантации биоинженерного остеозамещающего материала на основе синтетического октакальцийфосфата, активированного плазмидной ДНК с геном сосудистого эндотелиального фактора роста. — *Эндодонтия Today*. — 2021; 4: 343—349. [eLibrary ID: 47578346](#)
3. Амхадова М.А., Атабиев Р.М., Амхадов И.С., Цукаев К.А. Клиническо-экспериментальное обоснование применения отечественных резорбируемых мембран при направленной регенерации костной ткани. — *Медицинский алфавит*. — 2018; 34 (371): 41—45. [eLibrary ID: 37010235](#)
4. Тарба И.И. Замещение костных дефектов посредством персонализированной тканеинженерной конструкции *in vivo*. — *Пародонтология*. — 2023; 1: 49—54. [eLibrary ID: 50451534](#)
5. Рыжова И.П., Погосян Н.М., Чуев В.В., Плугатыр А.А., Новожилова М.С., Авдеев Е.Н., Иванов С.Ю. Результаты клинических исследований метода сохранения костной ткани перед имплантацией. — *Клиническая стоматология*. — 2021; 2: 37—42. [eLibrary ID: 46322599](#)
6. Олесова В.Н., Хафизов Р.Г., Шматов К.В., Иванов А.С., Мартынов Д.В. Динамика остеоинтеграции конструкционных материалов дентальных имплантатов, по данным электронномикроскопической оценки и элементного анализа состава костной ткани. — *Российский стоматологический журнал*. — 2018; 4: 172—175. [eLibrary ID: 36798317](#)
7. Ortiz-Puigpelat O., Simões A., Caballé-Serrano J., Hernández-Alfaro F. Blood absorption capacity of different xenograft bone substitutes. An *in-vitro* study. — *J Clin Exp Dent*. — 2019; 11 (11): e1018—e1024. [PMID: 31700576](#)
8. Бозо И.Я., Деев Р.В., Дробышев А.Ю., Комлев В.С., Рожков С.И., Еремин И.И., Далгатов И.Г., Воложин Г.А., Грачев В.И., Федотов А.Ю., Исаев А.А. Эффективность ген-активированного остеопластического материала на основе октакальциевого фосфата и плазмидной ДНК с геном VEGF в восполнении «критических» костных дефектов. — *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. — 2015; 1: 35—42. [eLibrary ID: 23272696](#)

REFERENCES:

1. Ushakov A.I., Yur'ev E.M. Dental implantation and the choice of the osteoplastic materials taking into consideration the type of the bone tissue of human jaws. *Russian Stomatology*. 2016; 2: 12—17 (In Russian). [eLibrary ID: 26287578](#)
2. Volozhin G.A., Bazikian E.A., Deev R.V., Bozo I.E., Presnyakov E.V. Assessment of regeneration of the bone tissue of patients after implantation of the bioengineering osteoreplacing material on the basis of the synthetic octacalcium phosphate activated with plasmid DNA with vascular endothelial growth factor gene. *Endodontics Today*. 2021; 4: 343—349 (In Russian). [eLibrary ID: 47578346](#)
3. Amkhadova M.A., Atabiev R.M., Amkhadov I.S., Tsukaev K.A. Clinical and experimental substantiation of the application of domestic resorbable membranes in guided bone tissue regeneration. *Medical alphabet*. 2018; 34 (371): 41—45 (In Russian). [eLibrary ID: 37010235](#)
4. Tarba I.I. Customized *in-vivo* tissue engineering for bone grafting. *Parodontologiya*. 2023; 1: 49—54 (In Russian). [eLibrary ID: 50451534](#)
5. Ryzhova I.P., Pogosyan N.M., Chuev V.V., Plugatyr A.A., Novozhilova M.S., Adveev E.N., Ivanov S.Yu. Clinical trial results method of preserving bone tissue before implantation. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2021; 2: 37—42 (In Russian). [eLibrary ID: 46322599](#)
6. Olesova V.N., Khafizov R.G., Shmatov K.V., Ivanov A.S., Martynov D.V. Dynamics of osteointegration of construction materials of dental implants on electron-microscopic estimation data and elemental analysis of the composition of bone tissue. *Russian Journal of Dentistry*. 2018; 4: 172—175 (In Russian). [eLibrary ID: 36798317](#)
7. Ortiz-Puigpelat O., Simões A., Caballé-Serrano J., Hernández-Alfaro F. Blood absorption capacity of different xenograft bone substitutes. An *in-vitro* study. *J Clin Exp Dent*. 2019; 11 (11): e1018—e1024. [PMID: 31700576](#)
8. Bozo I.Ya., Deev R.V., Drobyshev A.Yu., Komlev V.S., Rozhkov S.I., Eryomin I.I., Dalgalatov I.G., Volozhin G.A., Grachyov V.I., Fedotov A.Yu., Isaev A.A. Efficacy of gen-activated osteoplastic material based on octacalcium phosphate and plasmid DNA containing VEGF gene for critical-sized bone defects substitution. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2015; 1: 35—42 (In Russian). [eLibrary ID: 23272696](#)

9. Деев Р.В., Дробышев А.Ю., Бозо И.Я., Галецкий Д.В., Королев В.О., Еремин И.И., Филоненко Е.С., Киселев С.Л., Исаев А.А. Создание и оценка биологического действия ген-активированного остеопластического материала, несущего ген VEGF человека. — Клеточная трансплантомология и тканевая инженерия. — 2013; 3: 78—85. [eLibrary ID: 21033822](#)
10. Deev R.V., Drobyshev A.Y., Bozo I.Y., Isaev A.A. Ordinary and activated bone grafts: Applied classification and the main features. — *Biomed Res Int.* — 2015; 2015: 365050. [PMID: 26649300](#)
11. Деев Р.В., Дробышев А.Ю., Бозо И.Я. Ординарные и активированные остеопластические материалы. — *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* — 2015; 1: 51—69. [eLibrary ID: 23272699](#)
12. Volozhin G.A. Comparative study of geneactivated bone substitute and xenogenic bone matrix in alveolar ridge augmentation. — Clinical trial NCT04511689, 2020. <https://clinicaltrials.gov/study/NCT04511689>
13. Bozo I.Y., Deev R.V., Drobyshev A.Y., Isaev A.A., Eremin I.I. World's first clinical case of gene-activated bone substitute application. — *Case Rep Dent.* — 2016; 2016: 8648949. [PMID: 27891264](#)
14. Хоминец В.В., Деев Р.В., Кудяшев А.Л., Михайлов С.В., Шакун Д.А., Комаров А.В., Бозо И.Я., Щукин А.В., Фоос И.В. Применение ген-активированного остеопластического материала при лечении несращения бедренной кости: клинический случай. — *Травматология и ортопедия России.* — 2021; 1: 66—74. [eLibrary ID: 45594338](#)
9. Deev R.V., Drobyshev A.Y., Bozo I.Y., Galetsky D.V., Korolev O.V., Eremin I.I., Philonenko E.S., Kiselev S.L., Isaev A.A. Construction and biological effect evaluation of gene-activated osteoplastic material with human VEGF gene. *Cellular Transplantation and Tissue Engineering.* 2013; 3: 78—85 (In Russian). [eLibrary ID: 21033822](#)
10. Deev R.V., Drobyshev A.Y., Bozo I.Y., Isaev A.A. Ordinary and activated bone grafts: Applied classification and the main features. *Biomed Res Int.* 2015; 2015: 365050. [PMID: 26649300](#)
11. Deev R.V., Drobyshev A.Yu., Bozo I.Ya. Ordinary and activated osteoplastic materials. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2015; 1: 51—69 (In Russian). [eLibrary ID: 23272699](#)
12. Volozhin G.A. Comparative study of geneactivated bone substitute and xenogenic bone matrix in alveolar ridge augmentation. Clinical trial NCT04511689, 2020. <https://clinicaltrials.gov/study/NCT04511689>
13. Bozo I.Y., Deev R.V., Drobyshev A.Y., Isaev A.A., Eremin I.I. World's first clinical case of gene-activated bone substitute application. *Case Rep Dent.* 2016; 2016: 8648949. [PMID: 27891264](#)
14. Khominets V.V., Deev R.V., Kudyashev A.L., Mikhailov S.V., Shakun D.A., Komarov A.V., Bozo I.Y., Schukin A.V., Foos I.V. Treatment of femoral non-union with the gene-activated osteoplastic material: A case report. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2021; 1: 66—74 (In Russian). [eLibrary ID: 45594338](#)

Ж.Е. Городков^{1,2},

аспирант кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии; челюстно-лицевой хирург

А.И. Пылков¹,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии

П.И. Головский³,

ассистент кафедры терапевтической и хирургической стоматологии

К.С. Колобовников²,

рентгенолог

¹ КемГМУ, 650056, Кемерово, Россия

² Кузбасская областная клиническая больница, 650099, Кемерово, Россия

³ Медицинский университет «Астана», 010000, Астана, Казахстан

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Городков Ж.Е., Пылков А.И., Головский П.И., Колобовников К.С. Влияние накостного остеосинтеза на течение нейропатии нижнего альвеолярного нерва при переломе нижней челюсти. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 152—156.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_152

Влияние накостного остеосинтеза на течение нейропатии нижнего альвеолярного нерва при переломе нижней челюсти

Реферат. Цель исследования — изучить влияние повреждения канала нижней челюсти (КНЧ) фиксирующим винтом во время накостного остеосинтеза титановыми пластинами на восстановление функции нижнего альвеолярного нерва. **Материалы и методы.** Выполнено проспективное когортное исследование с участием 142 пациентов отделения челюстно-лицевой хирургии с переломами нижней челюсти после накостного остеосинтеза титановыми пластинами за 2019—2023 гг. Проведен анализ нейросенсорных нарушений нижнего альвеолярного нерва (НАН) по данным опросника DN4 и показателей электровозбудимости кожи. Данные о восстановлении функции НАН после остеосинтеза нижней челюсти были проанализированы с использованием метода Каплана—Майера и регрессионного анализа пропорциональных рисков по методу Кокса. **Результаты.** Медиана времени восстановления функции НАН составила 3 месяца для группы без повреждения КНЧ и 12 месяцев для группы с повреждением КНЧ. Вероятность восстановления функции НАН в 3,6 раза выше (95% ДИ 2,2—5,8) у пациентов без повреждения КНЧ по сравнению с группой пациентов, где отмечалось повреждение КНЧ ($p<0,001$). **Заключение.** Повреждение КНЧ винтом во время остеосинтеза оказывает существенное влияние на время, необходимое для восстановления функции НАН. Накостный остеосинтез при переломах нижней челюсти является дополнительным фактором повреждения НАН и нуждается в совершенствовании точности позиционирования накостных фиксирующих элементов с целью снижения риска послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: нейропатия нижнего альвеолярного нерва, переломы нижней челюсти, остеосинтез нижней челюсти, осложнения переломов нижней челюсти, опросник DN4, электровозбудимость кожи

The influence of periosteal osteosynthesis on the course of inferior alveolar nerve neuropathy in mandibular fractures

Abstract. The aim of study — to investigate the impact of inferior alveolar canal (IAC) injury caused by a fixation screw during titanium plate osteosynthesis on the recovery of inferior alveolar nerve (IAN) function. **Materials and methods.** A prospective cohort study was conducted involving 142 patients from the maxillofacial surgery department with mandibular fractures treated with titanium plate osteosynthesis between 2019 and 2023. Neurosensory disturbances of the IAN were assessed using the DN4 questionnaire and skin electroexcitability parameters. The recovery of IAN function following mandibular osteosynthesis was analyzed using the Kaplan—Meier method and Cox proportional hazards regression analysis. **Results.** The median recovery time of IAN function was 3 months in the group without IAC injury and 12 months in the group with IAC injury. The probability of IAN function recovery was 3.6 times higher (95% CI: 2.2—5.8) in patients without IAC injury compared to those with IAC injury ($p<0.001$). **Conclusions.** Mandibular canal injury by screws during osteosynthesis significantly affects the time required for the recovery of inferior alveolar nerve function. Osteosynthesis for mandibular fractures is an additional risk factor for inferior alveolar nerve damage and requires improved precision in positioning the fixation elements to reduce the risk of postoperative complications.

Key words: inferior alveolar nerve neuropathy, mandibular fractures, mandibular osteosynthesis, mandibular fracture complications, DN4 questionnaire, skin electrical excitability

FOR CITATION:

Gorodkov Z.E., Pylkov A.I., Golavskii P.I., Kolobovnikov K.S. The influence of periosteal osteosynthesis on the course of inferior alveolar nerve neuropathy in mandibular fractures. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 152—156 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_152

ВВЕДЕНИЕ

По данным доступной научной литературы, травма занимает одно из лидирующих мест в области заболеваемости, инвалидности и смертности населения. При этом повреждения костей лицевого отдела черепа могут достигать 5% от общего числа всех переломов [1]. Переломы нижней челюсти от повреждений лицевого отдела черепа составляют 42,9–78,8% [2, 3]. Наибольшее количество переломов нижней челюсти приходится на самую активную в социальном отношении возрастную группу населения: от 20 до 40 лет, — что создает серьезные социально-экономические проблемы [4, 5]. Переломы в области канала нижней челюсти (КНЧ) требуют особого внимания, поскольку смещение костных фрагментов может повредить нижний альвеолярный нерв (НАН). Это, в свою очередь, приводит к развитию нейропатии и различным нарушениям чувствительности (анестезии, гипестезии, парестезии, гиперестезии и др.) в зоне иннервации НАН. Такое осложнение может затруднить прием пищи и речь, вызвать социально-психологические проблемы, т.е. снизить качество жизни пациентов.

Основным хирургическим методом лечения переломов нижней челюсти является накостный остеосинтез с использованием титановых мини-пластин. Данный метод применяется при несостоительности или невозможности проведения ортопедических методов лечения, а также при интерпозиции мягких тканей в щель перелома. Несмотря на то что данный метод широко распространен в мире, ряд авторов указывает на увеличение степени повреждения НАН после остеосинтеза нижней челюсти [6–8]. Это может быть обусловлено дополнительной травмой НАН во время репозиции костных фрагментов, послеоперационным отеком тканей, а также попаданием сверла и фиксирующих элементов в КНЧ [9]. Даже при соблюдении протокола остеосинтеза последнее обстоятельство может быть расценено как ятогенное осложнение, а также оно может увеличить степень повреждения НАН и привести к необратимым изменениям в нем [10].

Учитывая отсутствие в доступной мировой и отечественной литературе данных о восстановлении функции НАН, ассоциированной с наличием фиксирующего винта в КНЧ, после проведенного накостного остеосинтеза появилась необходимость в проведении данного исследования.

Цель исследования — изучить влияние повреждения канала нижней челюсти фиксирующим винтом во время накостного остеосинтеза титановыми пластинами на восстановление функции НАН.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках проспективного когортного исследования было проведено обследование 142 пациентов из отделения челюстно-лицевой хирургии, реконструктивной и пластической хирургии Кузбасской областной клинической больницы, которые проходили лечение с 2019 по 2023 г. с диагнозом «переломы нижней челюсти»

(S02.6). Этическое одобрение № 331 для проведения исследования было получено от комитета КемГМУ. Все участники подписали информированное согласие, в котором были подробно изложены цели и методы исследования.

Критерии включения в исследование:

- переломы в проекции КНЧ со смещением костных фрагментов до 5 мм с показаниями для остеосинтеза согласно клиническим рекомендациям [7];
- время от травмы до остеосинтеза не более 3 суток для исключения длительного сдавливания нижнего альвеолярного нерва костными фрагментами;
- нейросенсорные нарушения в подбородочной области и нижней губы после травмы;
- правильное стояние костных фрагментов нижней челюсти после остеосинтеза;
- остеосинтез выполнен в соответствии с принципами AO/ASIF и с размещением накостных пластин по линиям Champy.

Критерии исключения:

- инфекции в послеоперационной области за весь период наблюдения;
- ранее перенесенные переломы нижней челюсти в области КНЧ;
- психические расстройства;
- сопутствующие заболевания, влияющие на восстановление костной и нервной ткани;
- сенсорные нарушения в зоне иннервации тройничного нерва в анамнезе;
- несоблюдение рекомендаций на этапах стационарного и амбулаторного наблюдения;
- отягощенный аллергологический анамнез.

В день поступления пациентам выполняли физикальное, комплексное клинико-лабораторное и рентгенологическое обследование. Проводилась попытка репозиции и иммобилизация костных фрагментов шинами Тигерштедта, ортодонтическими винтами или теменно-подбородочной пращей (в зависимости от целостности зубного ряда, характера и локализация перелома). При несостоительности ортопедических методов пациенту проводилось оперативное лечение в объеме остеосинтеза с применением накостных титановых пластин.

За 30 минут до операции назначали антибиотико-профилактику (2 г цефазолина и 0,5 г метронидазола внутривенно) и анальгетики.

Оперативное лечение заключалось в открытой репозиции костных фрагментов и фиксации титановыми пластинами. Выбор доступа к месту перелома, количество и расположение накостных фиксаторов зависели от характера перелома и соответствовали основным принципам остеосинтеза по AO/ASIF и «идеальным» линиям остеосинтеза Champy [11]. Рентгенологический контроль проводился на следующий день с помощью МСКТ (шаг сканирования 0,6 мм). Укладка стандартная: лежа на спине, неподвижное положение головы и челюсти. По результатам исследования определялось положение фиксирующих винтов относительно КНЧ. Наличие винта в области КНЧ с прерыванием контура последнего расценивалось как его повреждение.

Все пациенты были проконсультированы неврологом для лечения нейропатии НАН.

За время стационарного лечения назначались витамины В₆ и В₁₂, а на амбулаторном этапе рекомендовали пероральный прием препарата «Мильгамма композитум». Физиотерапия включала курс электрического поля ультравысокой частоты, который начинали после третьих суток после операции.

По итогам рентгенологического исследования были образованы 2 группы:

- I — 56 пациентов, 51 мужчина и 5 женщин в возрасте от 18 до 46 лет ($M \pm SD = 30,2 \pm 7,6$ года), у которых один или несколько фиксирующих элементов по данным МСКТ визуализировались в КНЧ;
- II — 86 пациентов, 74 мужчины и 12 женщин в возрасте от 18 до 59 лет ($M \pm SD = 34,7 \pm 10,5$ года) без повреждения КНЧ фиксирующими элементами — контрольная группа.

Диагностика нейропатии НАН проводилась с помощью опросника DN4 (Douleur Neuropathique en 4 Questions) и измерения электровозбудимости кожи (ЭВК) нижней губы. Опросник DN4 включал четыре вопроса, оценивающих сенсорные признаки по данным жалоб и обследования пациента. Сумма более 4 баллов была оценена как невропатическая боль [12]. Данное обследование проводилось перед оперативным вмешательством, в послеоперационном периоде на 7-е сутки и через 3, 6 и 12 месяцев. Выбор ЭВК как диагностического метода нейропатии обусловлен реакцией ноцицепторов на электрический раздражитель. Он активирует полимодальные ноцицепторы, mechanoreцепторы и терморецепторы, вызывая комплексное воздействие на нервные окончания и активацию болевых и тактильных рецепторов [13].

Определение ЭВК в месте иннервации НАН выполнялось аппаратом «Аверон» (Россия) по следующей методике: проводилось построение условных квадрантов на лице пациента при помощи четырех линий:

- 1) вертикаль от угла рта до края нижней челюсти;
- 2) средняя линия лица;
- 3) горизонталь, которая соединяет середину расстояний первых двух;
- 4) вертикаль, которая пересекает середину расстояния третей линии и параллельной первым двум.

Первый электрод аппарата «Аверон» располагался в проекции четвертой линии. Второй электрод прикладывали к зонам на лице в соответствующих квадрантах. Определяли минимальный уровень тока, при котором пациент начинал ощущать покалывание или пощипывание, о чем он сообщал врачу. Электрический ток подавался в импульсном режиме с постепенно увеличивающейся силой от 0 до 100 мА. Измерения проводились как на здоровой стороне лица, так и в симметричных квадрантах поврежденной области. Если хотя бы в одном из квадрантов поврежденной стороны фиксировалось значение, превышающее 35 мА, это расценивалось как признак нейропатии НАН. Измерения электровозбудимости кожи проводились перед операцией, а также на 7-й день и через 3, 6 и 12 месяцев после вмешательства [14].

В данном исследовании восстановление функции НАН у пациента определялось на основе двух критерий. Во-первых, если результат опроса по DN4 составлял меньше 4 баллов. Во-вторых, если измерение ЭВК на стороне повреждения в каждой из исследуемых точек было меньше 35 мА. Таким образом, при соблюдении обоих условий, считали, что функция НАН восстановлена. При несоблюдении обоих условий или одного из них, диагностировали нейропатию НАН.

При исследовании функции НАН перед оперативным вмешательством у всех пациентов с переломами нижней челюсти было зафиксировано состояние нейропатии, подтвержденное как результатами ЭВК, так и по опроснику DN4.

Статистический анализ был проведен с использованием языка программирования R в программной среде RStudio (пакет survival 3.6.4).

Данные о восстановлении функции НАН после остеосинтеза нижней челюсти были проанализированы с использованием метода Каплана—Майера для оценки кумулятивной вероятности восстановления функции НАН. Время до восстановления или цензурирования было рассчитано с момента проведения операции до момента восстановления функции НАН или последнего наблюдения за пациентом.

Для сравнения кривых выживаемости между группами пациентов с повреждением и без повреждения КНЧ фиксирующим винтом использовался лог-ранг-тест.

Для оценки влияния возраста пациентов и повреждения КНЧ на вероятность восстановления функции НАН был проведен регрессионный анализ пропорциональных рисков по методу Кокса. В модель были включены возраст и фактор повреждения КНЧ как независимые переменные. Для оценки значимости предикторов в модели использовали тест Вальда.

Результаты анализа представлены в виде e^{β} с соответствующими 95% доверительными интервалами (95% ДИ). В процессе предварительного анализа данных было принято решение об исключении переменной «пол» из регрессионной модели. Это решение было основано на малом количестве женщин в исследуемых когортах ($n=17$). При проверке нулевых гипотез критическое значение уровня статистической значимости принималось равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения оценок Каплана—Майера для вероятности восстановления функции НАН у пациентов после проведенного остеосинтеза нижней челюсти в течение 1 года после лечения (рис. 1) оказались равны 57,7% (95%ДИ 38,9—70,7%) для группы с повреждением КНЧ фиксирующими винтами ($n=56$) и 94,3% (95%ДИ 84,3—97,9%) для группы без повреждения КНЧ ($n=86$).

Лог-ранговый критерий выявил статистически значимое различие по вероятности восстановления функции НАН в зависимости от повреждения КНЧ фиксирующим винтом с течением времени ($p<0,001$).

Медианный срок восстановления функции НАН составил 3 месяца для группы без повреждения КНЧ фиксирующим винтом, и 12 месяцев для группы с повреждением КНЧ. Таким образом, повреждение КНЧ винтом во время остеосинтеза оказывает существенное влияние на время, необходимое для восстановления функции НАН (табл. 1).

Дальнейшее исследование, проведенное с помощью регрессионного анализа пропорциональных рисков Кокса, выявило, что возраст не является значимым предиктором вероятности восстановления функции НАН ($p=0,372$; $W=0,796$). Вероятность восстановления функции НАН в 3,6 раза выше (95% ДИ 2,2–5,8) у пациентов без повреждения КНЧ (II группа) по сравнению с I группой ($p<0,001$; $W=27,473$; табл. 2). Высокое значение теста Вальда для повреждения КНЧ свидетельствует о его значительном влиянии на вероятность восстановления функции нерва.

Полученные результаты не противоречат данным зарубежных исследований. В работе А.В. Tay и соавт. (2015) проведено исследование 80 пациентов с перело-

Таблица 1. Вероятность восстановления функции нижнего альвеолярного нерва у пациентов после остеосинтеза нижней челюсти в случае повреждения канала нижней челюсти и при благоприятном течении операции

Срок после операции	I группа (после повреждения КНЧ, $n=56$)				II группа (без повреждения, $n=86$)				Все пациенты			
	1 нед.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	1 нед.	3 мес.	6 мес.	12 мес.	1 нед.	3 мес.	6 мес.	12 мес.
Вероятность восстановления функции нижнего альвеолярного нерва, %	0	5,5	26,7	57,7	1,2	54,1	88,5	94,3	0,7	35,0	64,1	79,8
95% ДИ вероятности восстановления функции нижнего альвеолярного нерва	0	0–11,3	13,7–37,7	38,9–70,7	0–3,4	42,2–63,6	78,9–93,8	84,3–97,9	0–2,1	26,6–42,4	54,9–71,3	70,4–86,2
Количество пациентов с восстановлением функции нижнего альвеолярного нерва	0	3	11	11	1	45	27	3	1	48	38	14
Количество цензурированных	1	3	12	15	1	3	3	3	2	6	15	18
Количество подверженных риску	55	55	49	26	84	84	36	6	139	139	85	32

мами нижней челюсти с явлениями нейропатии НАН. Авторы обнаружили, что частота возникновения нейропатии НАН после проведения операции выше, чем до нее — 56,2% до операции и 72,9% после. В исследовании не проанализировано влияние расположения фиксирующих винтов на развитие нейропатии, а также не проводился анализ послеоперационного восстановления функции нерва [15].

Изучение вопроса о влиянии расположения титановых винтов относительно КНЧ на протекании

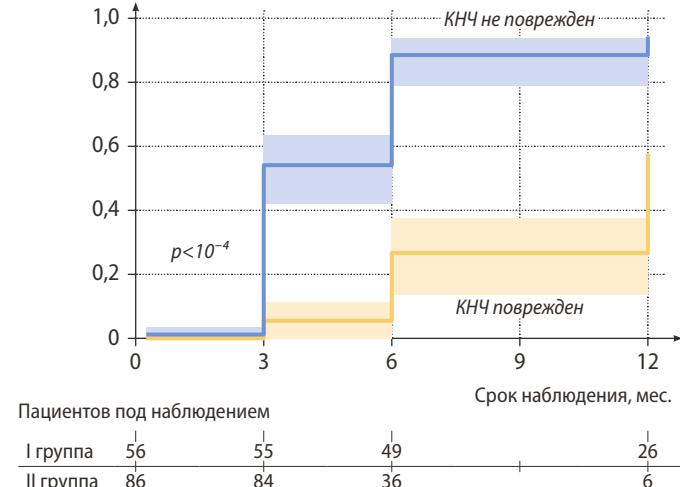


График кумулятивной частоты нормализации функции нижнего альвеолярного нерва в зависимости от повреждения канала нижней челюсти. Сравнение кривых проводилось с помощью лог-ранг теста
Cumulative frequency chart of normalization of inferior alveolar nerve function depending on mandibular canal injury. The comparison of the curves was performed using the log-rank test

Table 1. The probability of recovery of the inferior alveolar nerve function in patients after mandibular osteosynthesis, in cases of damage to the mandibular canal and with a favorable surgical outcome.

нейропатии НАН было рассмотрено S.P. Sinha и соавт. (2015). Объектом исследования являлись 118 пациентов с III классом скелетной аномалией прикуса, которым проводилась остеотомия по Obwegeser—Dal Pont. В данном исследовании авторы отмечают более высокую частоту повреждения КНЧ фиксирующим винтом при бикортикальной фиксации костных фрагментов. У 40 из 68 (59%) пациентов с бикортикальной фиксацией наблюдалось повреждение КНЧ, в то время как у 3 из 50 (6%) пациентов с монокортикальной фиксацией

Таблица 2. Результаты регрессионного анализа для оценки влияния возраста и повреждения канала нижней челюсти на вероятность восстановления функции нижнего альвеолярного нерва

Переменная	Коэффициент (β)	Стандартная ошибка	Статистика Вальда	p	Отношение рисков (e^β)	95% ДИ
Возраст	0,009	0,011	0,796	0,372	1,009	0,989–1,031
Повреждение канала нижней челюсти	1,283	0,245	27,473	<0,001	3,608	2,233–5,831

Table 2. Results of regression analysis to assess the influence of age and mandibular canal injury on the probability of recovery of inferior alveolar nerve function

такое повреждение не обнаружено. В исследовании не проведен анализ регрессии нейропатии НАН в постоперационном периоде [16].

В указанных работах выявление посттравматической нейропатии НАН проводилась на основании субъективных ощущений пациента, без подтверждения объективными методами диагностики, а также не отследжена динамика нейропатии в зависимости от времени послеоперационного вмешательства и методов неврологической реабилитации.

ВЫВОДЫ

1. Повреждение канала нижней челюсти винтом во время остеосинтеза оказывает существенное влияние на время, необходимое для восстановления функции нижнего

альвеолярного нерва. Медиана времени восстановления функции нижнего альвеолярного нерва составила 3 месяца для группы без повреждения канала нижней челюсти и 12 месяцев для группы с повреждением.

- 2. Вероятность восстановления функции нижнего альвеолярного нерва в 3,6 раза выше (95% ДИ 2,2—5,8) у пациентов без повреждения канала нижней челюсти по сравнению с группой пациентов, где отмечалось повреждение ($p<0,001$).**
- 3. Остеосинтез нижней челюсти при переломах является дополнительным фактором повреждения нижнего альвеолярного нерва и нуждается в совершенствовании точности позиционирования фиксирующих элементов.**

Поступила/Received: 15.10.2024

Принята в печать/Accepted: 07.03.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Smith H., Peek-Asa C., Nesheim D., Nish A., Normandin P., Sahr S. Etiology, diagnosis, and characteristics of facial fracture at a mid-western level I trauma center. — *J Trauma Nurs.* — 2012; 19 (1): 57—65. [PMID: 22415509](#)
- Головский П.И., Пылков А.И., Городков Ж.Е., Штернис Т.А., Малков Н.В. Клинико-статистический анализ травматических повреждений челюстно-лицевой области в Кузбассе. — *Клиническая стоматология*. — 2021; 4: 114—121.
- [Golavskiy P.I., Pylkov A.I., Gorodkov Zh.E., Shternis T.A., Mal'kov N.V. Clinical and statistical analysis of maxillofacial trauma in Kuzbass. — *Clinical Dentistry (Russia)*. — 2021; 4: 114—121 (In Russian)]. [eLibrary ID: 47475771](#)
- Boffano P., et al. European Maxillofacial Trauma (EURMAT) project: a multicentre and prospective study. — *J Craniomaxillofac Surg.* — 2015; 43 (1): 62—70. [PMID: 25457465](#)
- Ellis E. 3rd, Moos K.F., el-Attar A. Ten years of mandibular fractures: an analysis of 2,137 cases. — *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* — 1985; 59 (2): 120—9. [PMID: 3856795](#)
- Jariod Ferrer Ú.M., Blanco Sanfrutos S., Gavin Clavero M.A., Simon Sanz M.V., Uson Bouthelier T., Nadal Cristobal B. Epidemiological study of the socioeconomic impact of mandible fractures in a Spanish tertiary hospital: Review of the literature. — *J Maxillofac Oral Surg.* — 2019; 18 (2): 217—223. [PMID: 30996541](#)
- Iizuka T., Lindqvist C. Sensory disturbances associated with rigid internal fixation of mandibular fractures. — *J Oral Maxillofac Surg.* — 1991; 49 (12): 1264—8. [PMID: 1955918](#)
- Halpern L.R., Kaban L.B., Dodson T.B. Perioperative neurosensory changes associated with treatment of mandibular fractures. — *J Oral Maxillofac Surg.* — 2004; 62 (5): 576—81. [PMID: 15122563](#)
- Schultze-Mosgau S., Erbe M., Rudolph D., Ott R., Neukam F.W. Prospective study on post-traumatic and postoperative sensory disturbances of the inferior alveolar nerve and infraorbital nerve in mandibular and midfacial fractures. — *J Craniomaxillofac Surg.* — 1999; 27 (2): 86—93. [PMID: 10342144](#)
- Панкратов А.С. Анализ послеоперационных осложнений при использовании современных технологий накостного остеосинтеза нижней челюсти (к 130-летию разработки Hausmann первых накостных пластин для фиксации фрагментов нижней челюсти). — *Российский стоматологический журнал*. — 2016; 5: 237—244.
- [Pankratov A.S. The analysis of postoperative complications with the use of modern technologies of osteosynthesis of the lower plate of four-jaw position (to the 130th anniversary of the development Hausmann first plate for fixation of fragments of the lower jaw). — *Russian Journal of Dentistry*. — 2016; 5: 237—244 (In Russian)]. [eLibrary ID: 27379978](#)
- Song Q., Li S., Patil P.M. Inferior alveolar and mental nerve injuries associated with open reduction and internal fixation of mandibular fractures: a Seven Year retrospective study. — *J Craniomaxillofac Surg.* — 2014; 42 (7): 1378—81. [PMID: 24787242](#)
- Champy M., Loddé J.P., Schmitt R., Jaeger J.H., Muster D. Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach. — *J Maxillofac Surg.* — 1978; 6 (1): 14—21. [PMID: 274501](#)
- Bouhassira D., et al. Comparison of pain syndromes associated with nervous or somatic lesions and development of a new neuropathic pain diagnostic questionnaire (DN4). — *Pain*. — 2005; 114 (1—2): 29—36. [PMID: 15733628](#)
- Mouraux A., Marot E., Legrain V. Short trains of intra-epidermal electrical stimulation to elicit reliable behavioral and electrophysiological responses to the selective activation of nociceptors in humans. — *Neurosci Lett*. — 2014; 561: 69—73. [PMID: 24361132](#)
- Копецкий И.С., Еремин Д.А., Полунина Н.В., Полунин В.С., Буслаева Г.Н., Хетагурова А.К. Разработка мероприятий по реабилитации пациентов с повреждением нижнего альвеолярного нерва. — *Вестник Российской государственной медицинской академии*. — 2018; 1: 84—89.
- [Kopetsky I., Eremin D., Polunina N., Polunin V., Buslaeva G., Khetagurova A. Rehabilitation of patients with inferior alveolar nerve injuries. — *Bulletin of Russian State Medical University*. — 2018; 1: 84—89 (In Russian)]. [eLibrary ID: 35121846](#)
- Tay A.B., Lai J.B., Lye K.W., Wong W.Y., Nadkarni N.V., Li W., Bustista D. Inferior alveolar nerve injury in trauma-induced mandible fractures. — *J Oral Maxillofac Surg.* — 2015; 73 (7): 1328—40. [PMID: 25914133](#)
- Sinha S.P., Duong T.D.H., Duy T.T., Ko E.W., Chen Y.R., Huang C.S. Penetration of inferior alveolar nerve canal increased by bicortical fixation after bilateral sagittal split osteotomy in mandibular prognathism. — *Int J Oral Maxillofac Surg.* — 2022; 51 (2): 200—205. [PMID: 33985866](#)

А.А. Гришин¹,

к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии

Ш.Т. Камилов¹,

врач — челюстно-лицевой хирург

С.Ю. Иванов^{1,2},

член-корр. РАН, д.м.н., профессор, зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии; зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

¹ Первый МГМУ им. И.М. Сеченова,
119991, Москва, Россия

² РУДН, 117198, Москва, Россия

Склеротерапия при венозных мальформациях челюстно-лицевой области

Реферат. Цель — изучение эффективности применения пенной формы 3%-ного тетрадецилсульфата натрия при лечении пациентов с венозными мальформациями челюстно-лицевой области. **Материалы и методы.** В исследование было включено 30 пациентов с венозными мальформациями челюстно-лицевой области. Пациенты были разделены на 3 группы: I — с диаметром мальформаций до 2 см; II группа — с диаметром мальформаций от 2 до 6 см; III — с диаметром мальформаций 6 см и более. Для проведения склеротерапии использовали пенную форму 3%-ного тетрадецилсульфата натрия. **Результаты.** По данным исследования, большие мальформации уменьшались в размерах в среднем на $49,7 \pm 17,8\%$, средние мальформации сократились в среднем на $68,1 \pm 19,2\%$, тогда как небольшие мальформации уменьшались на $69,6 \pm 18,2\%$. **Заключение.** Склерозирование венозных мальформаций челюстно-лицевой области пенной формой 3%-ного тетрадецилсульфата натрия является эффективным, легкодоступным и безопасным методом лечения.

Ключевые слова: сосудистые мальформации, склерозирование, пенная форма, тетрадецилсульфат натрия, челюстно-лицевая хирургия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гришин А.А., Камилов Ш.Т., Иванов С.Ю. Склеротерапия при венозных мальформациях челюстно-лицевой области. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 157—160.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_157

A.A. Grishin¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Maxillofacial surgery Department

Sh.T. Kamilov¹,

maxillofacial surgeon

S.Yu. Ivanov^{1,2},

Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, full professor of the Maxillofacial surgery Department; full professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

¹ Sechenov University,
119991, Moscow, Russia

² RUDN University,
117198, Moscow, Russia

Sclerotherapy for venous malformations of the maxillofacial region

Abstract. Aim — to study the effectiveness of using the foam form of 3% sodium tetradecyl sulfate in the treatment of patients with venous malformations of the maxillofacial region. **Materials and methods.** The study included 30 patients with venous malformations of the maxillofacial region. Patients were divided into three groups: Group 1 — patients with small malformations up to 2 cm in diameter; Group 2 — patients with medium malformations from 2 cm to 6 cm in diameter; Group 3 — patients with large malformations from 6 cm in diameter. Foam form of 3% sodium tetradecyl sulfate was used for sclerotherapy. **Results.** According to the study, large malformations decreased in size by an average of $49.7 \pm 17.8\%$, medium malformations decreased by an average of $68.1 \pm 19.2\%$, while small malformations decreased by $69.6 \pm 18.2\%$. **Conclusion.** Sclerotherapy of venous malformations of the maxillofacial region with foam form of 3% sodium tetradecyl sulfate is an effective, easily accessible and safe method of treatment.

Key words: vascular malformations, sclerotherapy, foam form, sodium tetradecyl sulfate, maxillofacial surgery

FOR CITATION:

Grishin A.A., Kamilov Sh.T., Ivanov S.Yu. Sclerotherapy for venous malformations of the maxillofacial region. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 157—160 (In Russian).

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_157

ВВЕДЕНИЕ

Венозные мальформации представляют собой аномально расширенные венозные сосуды разного диаметра с истонченной стенкой [1, 2]. Наиболее часто они встречаются в области головы и шеи [3]. Считается, что причиной данной патологии является генетическая

мутация, приводящая к нарушению распределения гладкомышечных клеток в венозной стенке сосуда [4]. В связи с этим они имеют тенденцию к увеличению в размерах при наклоне головы пациента (так называемый симптом наполнения) и к уменьшению в объеме при механическом воздействии (пальпации) — симптом опорожнения [5, 6].

Устранение венозных мальформаций на лице способствует улучшению внешнего вида пациентов, их лучшей социализации, чувству уверенности в себе. Перспективным и минимально инвазивным методом лечения данной категории пациентов является склеротерапия. Она представляет собой обнадеживающую альтернативу и эффективный метод лечения [7, 8]. В настоящее время вместо традиционно применявшегося 40%-ного раствора этанола в качестве склерозирующих средств используют новые лекарственные препараты, в первую очередь тетрадецилсульфат натрия в виде микропены. Данный препарат хорошо зарекомендовал себя в общей флебологии. Он обладает выраженным склерозирующим действием, вызывает тромбоз и фиброз в аномальных венозных сосудах, обладает улучшенной дисперсией и длительным контактом с эндотелием сосудов, характеризуется минимальным системным всасыванием и низкой вероятностью развития побочных эффектов [9]. В связи с вышеизложенным представляет интерес использование данного препарата при лечении пациентов с венозными мальформациями челюстно-лицевой области (ЧЛО).

Цель исследования — изучение эффективности применения пенной формы 3%-ного тетрадецилсульфата натрия при лечении пациентов с венозными мальформациями челюстно-лицевой области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено лечение 30 пациентов с венозными мальформациями ЧЛО от 18 до 80 лет. В зависимости от размера венозной мальформации пациенты были разделены на три группы:

- I — 10 пациентов с мальформациями небольших размеров, диаметром до 2 см;
- II — 11 пациентов с мальформациями среднего размера, диаметром от 2 до 6 см;
- III — 9 пациентов с мальформациями большого размера, диаметром более 6 см.

Оценивали динамику состояния венозных мальформаций до начала лечения и на 21-е сутки после введения препарата. Симптом наполнения исследовали путем наклона головы пациента в сидячем положении на уровень таза на 30 секунд с его последующим возвращением в исходное вертикальное положение с визуальной оценкой изменения размеров мальформации (рис. 1). Исследование симптома опорожнения проводили путем пальцевого надавливания на область венозной мальформации. В случае опорожнения мальформации и ее уменьшения

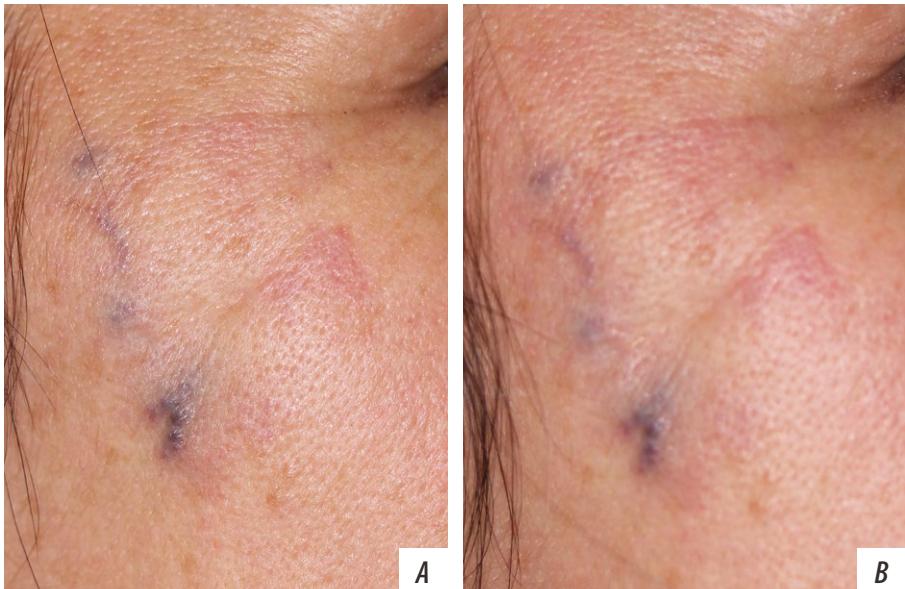


Рис. 1. Венозная мальформация щечной и околоушно-жевательной областей, симптом наполнения: А — до наклона головы; В — сразу после наклона головы

Fig. 1. Venous malformation of the buccal and parotid-masticatory regions, filling symptom: A — before tilting the head; B — immediately after tilting the head

в объеме с последующим восстановлением формы симптом опорожнения считали положительным.

Для оценки изменения размеров венозной мальформации проводили ультразвуковое исследование (УЗИ; рис. 2). Так как венозные мальформации не имеют плотных границ и четкой формы, для удобства расчетов в качестве фигуры, наиболее приближенной к большинству венозных мальформаций, брали эллипс. Для вычисления размера мальформации на основе результатов УЗИ использовали формулу $S = \pi \cdot a \cdot b$, где a и b — длина малой и большой полуосей (радиусы) эллипса.

При проведении склерозирования в просвет венозной мальформации вводили микропену 3%-ного тетрадецилсульфата натрия, приготовленную по методике Л. Тессари (2000 г.). Соотношение склерозанта к воздуху составило 1:4. Проводили пункцию мальформации через неизмененные ткани (рис. 3А), выполняя

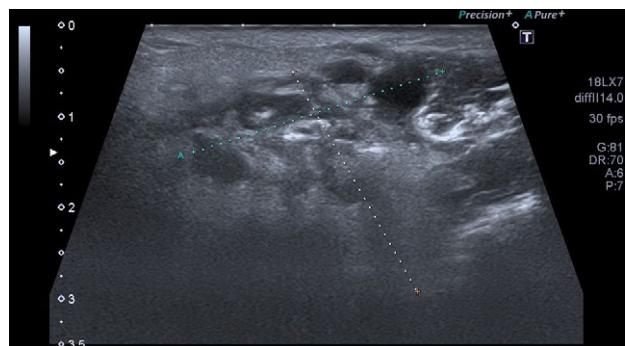


Рис. 2. Ультразвуковое исследование венозной мальформации околоушно-жевательной области: гипоэхогенная зона — венозная мальформация

Fig. 2. Ultrasound examination of venous malformation of the parotid-masticatory region: hypoechoic zone — venous malformation



Рис. 3. Этапы склерозирования: А — пункция мальформации; В — положительная аспирационная проба; С — введение микропены в полость мальформации

Fig. 3. Stages of sclerotherapy: A — puncture of the malformation; B — positive aspiration test; C — introduction of microfoam into the cavity of the malformation.

аспирационную пробу. При положительной аспирационной пробе (рис. 3В) мальформацию заполняли склерозантом в виде микропены под визуальным и тактильным контролем (рис. 3С).

При статистической обработке результатов для межгруппового сравнения применялся независимый выборочный *t*-критерий Стьюдента при уровне значимости 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На 21-е сутки после лечения по результатам УЗИ минимальное сокращение венозных мальформаций в размерах (на 20%) было зафиксировано в III группе, тогда как максимальное уменьшение на 86% было выявлено в I группе. В среднем после проведения одного сеанса склерозирования мальформации уменьшались в размерах на 60% (см. таблицу).

Уменьшение размеров венозных мальформаций на 21-е сутки после склерозирования, %

Reduction in the size of venous malformations on the 21st day after sclerotherapy (in per-cent)

Группа	<i>n</i>	Среднее	Ст. ошибка	95% ДИ	Мин.	Макс.
I	10	49,7±17,8	5,9	36,0—63,5	20	76
II	11	68,1±19,2	6,0	54,3—81,8	31	83
III	9	69,6±18,2	5,7	56,6—82,6	23	86

При клиническом обследовании пациентов на 21-е сутки после склерозирования отмечена выраженная положительная динамика: уменьшение мальформаций в размерах, изменение окраски подлежащих кожных покровов и слизистых оболочек, исчезновение симптомов наполнения и опорожнения (рис. 4, 5). Системных осложнений и аллергических реакций не зарегистрировано. Антибактериальную терапию



Рис 4. Венозная мальформация верхней губы: А — до лечения; В — 21-е сутки после склерозирования

Fig. 4. Venous malformation of the upper lip: A — before treatment; B — on the 21st day after sclerotherapy

в послеоперационном периоде не проводили, при наличии послеоперационного болевого синдрома пациентам назначали нестероидные противовоспалительные препараты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Клиническое исследование продемонстрировало эффективность склерозирования с использованием пенной формы 3%-ного тетрадецилсульфата натрия при лечении пациентов с венозными мальформациями ЧЛО, что было подтверждено данными объективного обследования (УЗИ). Положительные свойства данной методики: малоинвазивность, доступность, простота выполнения, отсутствие выраженных эстетических и функциональных осложнений.

Пенная форма тетрадецилсульфата натрия может быть рекомендована для пациентов с венозными мальформациями ЧЛО в качестве основного метода либо как

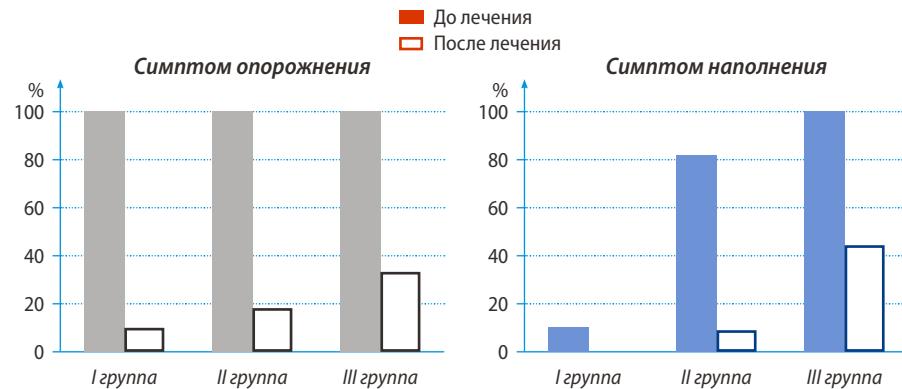


Рис. 5. Частота наличия симптомов опорожнения и наполнения венозных мальформаций до лечения и на 21-е сутки после склерозирования (%)

Fig. 5. Frequency of symptoms of emptying and filling of venous malformations before treatment and on the 21st day after sclerotherapy (%)

первый подготовительный этап перед хирургическим вмешательством при больших размерах патологического очага.

Поступила/Received: 04.02.2025

Принята в печать/Accepted: 04.03.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Фетисов И.С., Грачев Н.С., Фатахутдинов А.Х., Полубояров А.Т., Климентенок Т.А., Полев Г.А. Венозная мальформация в практике оториноларинголога. — *Московская медицина*. — 2019; 6 (34): 100. [Fetisov I.S., Grachev N.S., Fatkhutdinov A.H. Venous malformation in the practice of an otolaryngologist. — *Moscow Medicine*. — 2019; 6 (34): 100 (In Russian)]. [eLibrary ID: 41832504](#)
- Wiegand S., Dietz A. [Vascular malformations of the head and neck]. — *Laryngorhinootologie*. — 2021; 100 (1): 65—76 (In German). [PMID: 33401323](#)
- Andrews L., Shope C., Lee L.W., Hochman M. Vascular Anomalies: Nomenclature and Diagnosis. — *Dermatol Clin.* — 2022; 40 (4): 339—343. [PMID: 36243421](#)
- Arasakumar D.R.B., Pang C., Evans N., Papadopoulou A., Khalifa M., Tsui J., Hamilton G., Brookes J., Lim C.S. Efficacy and safety of foam sclerotherapy with sodium tetradeцил sulfate as preferred sclerosant of venous malformations based on experience from a single specialist center. — *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* — 2023; 11 (2): 379—388. [PMID: 36328136](#)
- Gallant S.C., Chewning R.H., Orbach D.B., Trenor C.C. 3rd, Cunningham M.J. Contemporary Management of Vascular Anomalies of the Head and Neck-Part 1: Vascular Malformations: A Review. — *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg.* — 2021; 147 (2): 197—206. [PMID: 33237296](#)
- Acord M., Srinivasan A. Management of Venous Malformations. — *Semin Intervent Radiol.* — 2021; 38 (2): 215—225. [PMID: 34108809](#)
- Дружинина Н.А., Сапелкин С.В. Венозные ангиодисплазии — современное состояние проблемы. — *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. — 2021; 2: 110—115. [Druzhinina N.A., Sapelkin S.V. Venous angiomas — the current state of the problem. — *Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center*. — 2021; 2: 110—115 (In Russian)]. [eLibrary ID: 46374983](#)
- Oomen K.P.Q., Wreesmann V.B. Current classification of vascular anomalies of the head and neck. — *J Oral Pathol Med.* — 2022; 51 (10): 830—836. [PMID: 36066308](#)
- Patel N.D., Chong A.T., Kolla A.M., Mabud T.S., Kulkarni K., Masrouha K., Taslakian B., Bertino F.J. Venous Malformations. — *Semin Intervent Radiol.* — 2022; 39 (5): 498—507. [PMID: 36561936](#)

Б.А. Новоселов¹,
челюстно-лицевой хирург, онколог,
микрохирург

А.Д. Свириденко²,
к.м.н., ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии

¹ Городская Мариинская больница,
191014, Санкт-Петербург, Россия

² Первый МГМУ им. И.М. Сеченова,
119991, Москва, Россия

³ СЗГМУ им. И.И. Мечникова,

191015, Санкт-Петербург, Россия

⁴ КубГМУ, 350063, Краснодар, Россия

⁵ РУДН, 117198, Москва, Россия

В.В. Михайлов³,
к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой
хирургии, челюстно-лицевой хирург,
пластика и хирургии

Д.Ю. Милюкова²,
к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой
хирургии

Е.В. Сердобинцев⁴,
врач-рентгенолог, ассистент кафедры
лучевой диагностики, лектор Института
дентальной рентгенологии

С.Ю. Иванов^{2,5},
член-корр. РАН, д.м.н., профессор, зав.
кафедрой челюстно-лицевой хирургии;
зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии
и хирургической стоматологии

Случай реабилитации онкостоматологического пациента при применении малоберцового реваскуляризированного аутотрансплантата и дентальных имплантатов с использованием компьютерных технологий в планировании

Аннотация. Представлен клинический случай реконструкции нижней челюсти у пациента с амелиобластомой. Выполнена резекция пораженного участка челюсти с одномоментной реконструкцией дефекта малоберцовым реваскуляризированным аутотрансплантатом. Использованы цифровые технологии предоперационного планирования, которые позволили оптимизировать процесс лечения и повысить точность установки дентальных имплантатов.

Ключевые слова: предоперационное компьютерное планирование, малоберцовый реваскуляризованный аутотрансплантат,

хирургический шаблон, индивидуальная реконструктивная пластина, навигационная хирургия, дентальная имплантация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Новоселов Б.А., Свириденко А.Д., Михайлов В.В., Милюкова Д.Ю., Сердобинцев Е.В., Иванов С.Ю. Случай реабилитации онкостоматологического пациента при применении малоберцового реваскуляризированного аутотрансплантата и дентальных имплантатов с использованием компьютерных технологий в планировании. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 161—165. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_161

Б.А. Novoselov¹,
maxillofacial surgeon, oncologist,
microsurgeon

А.Д. Sviridenko²,
PhD in Medical Sciences, assistant
of the Maxillofacial surgery Department

В.В. Mikhailov³,
PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Maxillofacial surgery Department,
maxillofacial and plastic surgeon

Д.Ю. Milyukova²,
PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Maxillofacial surgery Department

Е.В. Serdobintsev⁴,
radiologist, assistant of the Radiology
Department, lecturer at the Institute of dental
radiology

С.Ю. Ivanov^{2,5},
Russian Academy of Science corresponding
member, Doctor of Science in Medicine,
full professor of the Maxillofacial surgery
Department; full professor of the Maxillofacial
surgery and surgical dentistry Department

¹ Municipal Mariinsky Hospital,
191014, Saint-Petersburg, Russia

² Sechenov University,
119991, Moscow, Russia

³ Mechnikov North-West
State Medical University,
191015, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Kuban State Medical University,
350063, Krasnodar, Russia

⁵ RUDN University, 117198, Moscow, Russia

The case of rehabilitation of the oncostomatological patient when using a differential revascularized autotransplantation and dental implants using computer technology in planning

Annotation. A clinical case of reconstruction of the lower jaw in a patient with ameloblastoma is presented. A resection of the affected area of the jaw was carried out with a simultaneous reconstruction of the defect with a short -term revascularized autotransplant. Digital preoperative planning technologies were used, which made it possible to optimize the treatment process and increase the accuracy of the installation of dental implants.

Key words: preoperative computer planning, an unhumetary revascularized autotransplant, surgical template, individual reconstructive plate, navigation surgery, dental implantation

FOR CITATION:

Novoselov B.A., Sviridenko A.D., Mikhailov V.V., Milyukova D.Yu., Serdobintsev E.V., Ivanov S.Yu. The case of rehabilitation of the oncostomatological patient when using a differential revascularized autotransplantation and dental implants using computer technology in planning. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 161—165 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_161

ВВЕДЕНИЕ

Применение навигационных хирургических шаблонов постепенно становится стандартом в практике dentalной имплантации благодаря их высокой точности и простоте использования. Кроме того, увеличение частоты использования стоматологической навигационной системы связано с увеличением ее точности и производительности [1]. Однако лечение пациентов с новообразованиями челюстей представляет собой особую сложность. Такие пациенты часто сталкиваются с большими дефектами костной ткани, что значительно осложняет их полноценную стоматологическую реабилитацию. Ключевые проблемы — восстановление эстетики лица, функции жевания и речи, а также необходимость выполнения сложных реконструктивных операций с высоким риском многоэтапного лечения и непредсказуемых результатов.

Компьютерные технологии планирования позволяют оптимизировать каждый этап хирургического вмешательства, начиная с предоперационного компьютерного моделирования и заканчивая изготовлением индивидуальных реконструктивных пластин и хирургических шаблонов. Это не только сокращает время лечения, но и повышает точность выполнения вмешательств, минимизируя риски осложнений [2]. На сегодняшний день достигнуты значительные успехи в применении цифровых технологий в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии, что подтверждается многочисленными исследованиями.

Нами представлен клинический случай, когда использование цифрового прототипирования на каждом этапе хирургического лечения (предоперационное компьютерное планирование, изготовление индивидуальной реконструктивной пластины и хирургических шаблонов) позволило достоверно спрогнозировать качественное лечение пациента.

ДИАГНОЗ И ПЛАН ЛЕЧЕНИЯ

Пациент А., 35 лет, обратился в Мариинскую больницу с рецидивирующими гнойно-воспалительным процессом в нижней челюсти, который в течение 10 лет проявлялся болями, отеком щеки, гнойными выделениями из правой области нижней челюсти. По данным КЛКТ при обращении было обнаружено кистозное полостное образование, занимающее практически всю правую половину нижней челюсти, распространяющееся до основания мышцелкового отростка, с ремоделированием и частичным разрушением кортикальных пластинок. В нижней трети образования, в области угла нижней челюсти визуализировался ретинированный зуб 4.8 (рис. 1).

Данные КЛКТ были импортированы в программы для виртуального моделирования 3Diagnosys и Plastycad (Италия). Идеальные размеры и расположение имплантата были запланированы в цифровом виде с использованием программы Materialize Mimics (Бельгия) на основе анатомии кости и требований к протезированию. Индивидуальная пластина для реконструкции виртуальной титановой сетки и хирургический шаблон были разработаны в программном обеспечении и экспортированы для производства. Хирургический шаблон был напечатан на 3D-принтере из биосовместимой смолы Stratasys Med610 (США) по технологии DLP на принтере Objet Eden 260 (Израиль). Титановая пластина изготовлена по технологии селективной лазерной плавки. Челюстно-лицевыми хирургами выполнена пересадка реваскуляризированного трансплантата для замещения послеоперационного дефекта нижней челюсти и отсроченная установка дентальных имплантатов с использованием цифрового планирования, прототипирования и хирургических шаблонов. Послеоперационную КЛКТ анализировали на наличие ошибок между виртуальным планом и достигнутым положением имплантата с использованием программного обеспечения Materialize Mimics (Бельгия). Были рассчитаны средние отклонения и сопоставлены с пороговыми значениями точности.

ЛЕЧЕНИЕ

Из-за выраженных объемов поражения нижней челюсти и невозможности восстановления костной ткани традиционными методами было принято решение о резекции пораженного участка нижней челюсти с одномоментной реконструкцией операционного дефекта нижней челюсти свободным реваскуляризованным малоберцовым аутотрансплантатом [3].

Для гарантированного положительного исхода оперативного вмешательства хирургами вместе с биоинженером было выполнено предоперационное компьютерное планирование, в результате были изготовлены шаблоны для резекции нижней челюсти и для

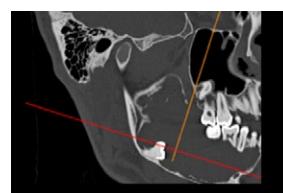


Рис. 1 Амелиобластома нижней челюсти

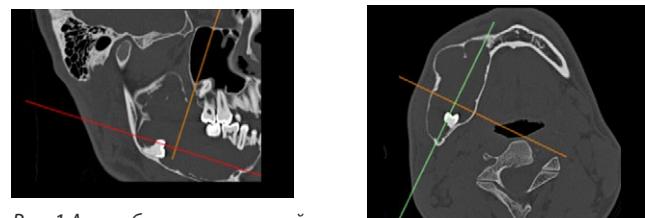


Рис. 2. Компьютерное моделирование операции
Fig. 2. Computer-assisted modeling of the operation

моделирования малоберцового аутотрансплантата, а также индивидуальная реконструктивная пластина (рис. 2).



Рис. 3. Разметка операционного поля донорской области
Fig. 3. Marking of the operating field of the donor region



Рис. 4. Смоделированный малоберцовый аутотрансплантат согласно компьютерному планированию
Fig. 4. The fibular autotransplant according to computer planning

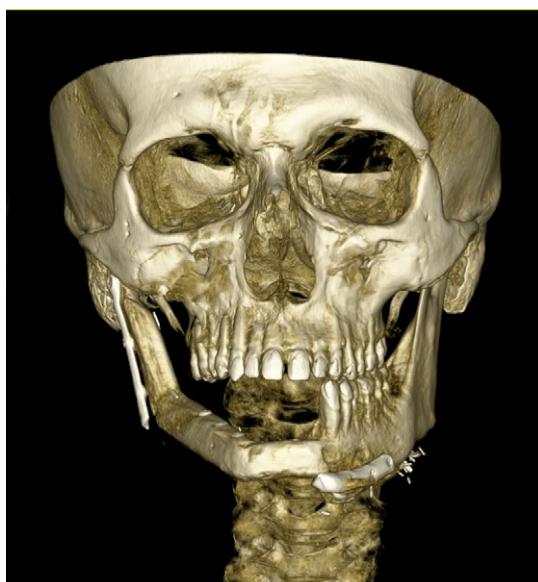


Рис. 5. Результат операции
Fig. 5. The result of the operation

Цифровое моделирование позволило в пределах здоровых тканей достоверно определить плоскости резекции нижней челюсти. Исходя из этого были спланированы протяженность и геометрия дефекта нижней челюсти, а следовательно, удалось предсказать не только размеры аутотрансплантата, но и оптимальное место его забора из малоберцовой кости, а также предположить вариант позиционирования аутотрансплантата в правильной анатомической зоне относительно альвеолярной дуги верхней челюсти, учитывая в том числе расположение будущих дентальных имплантатов [4].

Оперативное вмешательство проведено согласно предоперационному планированию (рис. 3, 4). По данным гистологического исследования операционного макропрепарата диагностирована диффузная амелиобластома — доброкачественное новообразование костей и суставных хрящей нижней челюсти (D16.5).

Через 6 месяцев пациенту выполнены контрольная КЛКТ (рис. 5), а также внутриторовое сканирование полости рта аппаратом «3Shape TRIOS 3 Standart» для подготовки к этапу планирования операции дентальной имплантации. В результате с учетом будущей ортопедической конструкции был смоделирован зубной ряд и спозиционированы имплантаты и изготовлен навигационный шаблон с частичной опорой на сохранившиеся зубы слева и кость аутотрансплантата. Также шаблон был усилен поперечными дугами для повышения его стабильности (рис. 6, 7).

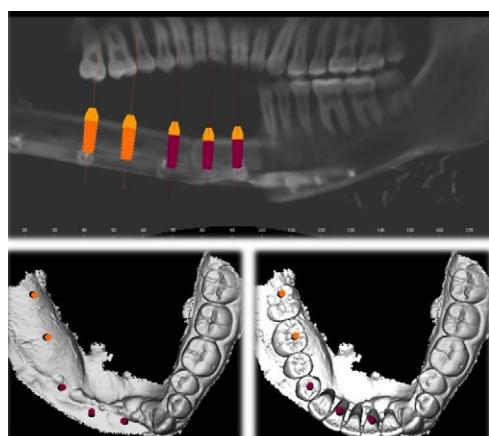


Рис. 6. Протокол планирования дентальной имплантации
Fig. 6. Dental implant planning protocol

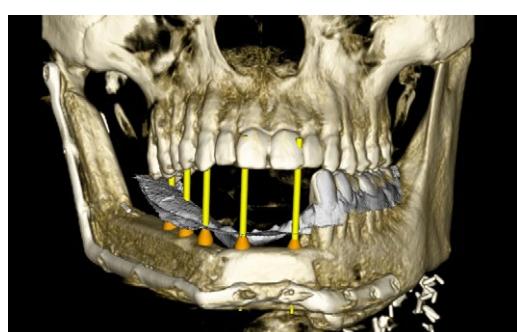


Рис. 7. Позиционирование имплантатов с учетом антагонистов
Fig. 7. Positioning of implants taking into account antagonists

На втором этапе лечения через 6 месяцев выполнен частичный демонтаж реконструктивной пластины и установлены 5 дентальных имплантатов IRIS (НПК «Ликостом», Россия) по навигационному хирургическому шаблону. В результате проведенной операции получено удовлетворительное положение дентальных имплантатов во всех трех осях, согласно плану лечения (рис. 8)

Третьим этапом, через 2 месяца после установки дентальных имплантатов, выполнена работа с мягкими тканями (вестибулопластика) в нижнебоковом справа и переднем преддверии полости рта с целью создания прикрепленной десны и восстановления глубины преддверия рта — одновременно выполнена постановка формирователей десневой манжеты. Постановка формирователей десны выполнена одновременно с мягкотканой пластикой для формирования прикрепленной десны и восстановления глубины преддверия полости рта по методу Cathy—Gamble. Также использовали свободные соединительнотканые аутотрансплантаты (рис. 9).

Протезирование с опорой на имплантаты выполнено через 9 месяцев от начала лечения (рис. 10).

ИСХОД ЛЕЧЕНИЯ И ЕГО ОБСУЖДЕНИЕ

Цифровые технологии позволили точно спланировать объем операции и расположение аутотрансплантата, что существенно снизило риск послеоперационных осложнений. Установленные имплантаты соответствовали запланированным позициям, что подтверждено контрольной КЛКТ, проведенной через 3 и 6 месяцев после операции.

Функциональные результаты оказались удовлетворительными: пациент отметил восстановление жевательной функции, отсутствие дискомфорта при приеме пищи и хорошую адаптацию к протезу. Эстетические показатели также были высокими — контур нижней челюсти восстановлен, мягкие ткани адаптировались без видимых рубцов и деформаций [5].

Через 9 месяцев после установки имплантатов проведено окончательное протезирование, в ходе которого пациенту были изготовлены индивидуальные циркониевые коронки, обеспечившие естественный внешний вид и долговечность конструкции. В ходе наблюдения в течение 12 месяцев после протезирования не отмечено воспалительных осложнений или отторжения имплантатов.

Таким образом, применение комплексного подхода с цифровым планированием, навигационной хирургией и использованием современных биосовместимых материалов позволило достичь положительных функциональных и эстетических результатов, минимизировать риски и сократить сроки реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный клинический случай наглядно демонстрирует необходимость широкого внедрения цифровых методов

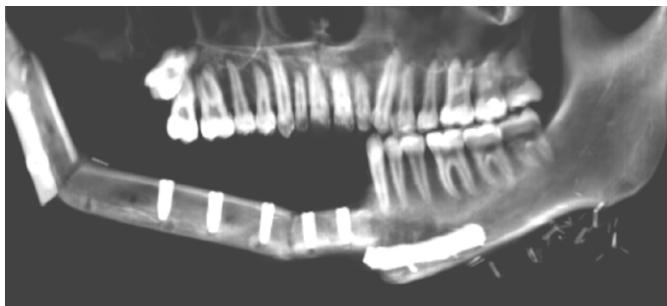


Рис. 8. Панорамная реконструкция КЛКТ после дентальной имплантации

Fig. 8. Panoramic reconstruction of CT after dental implantation



Рис. 9. Третий этап лечения

Fig. 9. The third stage of treatment



Рис. 10. Окончательный вид пациента после протезирования

Fig. 10. The final appearance of the patient after prosthetics

предоперационного планирования, полноценного использования диагностических методик и обязательного применения навигационных хирургических шаблонов для гарантированного успеха лечения на каждом его этапе. Особенno это актуально для пациентов с новообразованиями челюстей, которые, в отсутствие таких технологий, обречены на многоэтапное и длительное лечение с труднопредсказуемыми результатами. Современные технологии позволяет не только улучшить исходы лечения, но и значительно повысить качество жизни пациентов в долгосрочной перспективе.

Поступила/Received: 13.08.2024

Принята в печать/Accepted: 25.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Sun T.M., Lan T.H., Pan C.Y., Lee H.E. Dental implant navigation system guide the surgery future. — *Kaohsiung J Med Sci.* — 2018; 34 (1): 56—64. [PMID: 29310817](#)
2. Chatzichalepli C., Foskolos P.G., Hernández-Alfaro F., Quílez J.B. Digital dentistry in oral surgery. — In: Stevens M.R., Ghasemi S., Tabrizi R. (eds.) Innovative perspectives in oral and maxillofacial surgery. — Cham, Switzerland: Springer, 2021. — Pp. 277—281. [DOI: 10.1007/978-3-030-75750-2_30](#)
3. Boyd J.B., Jones N.F. Operative microsurgery. — Philadelphia, PA: Elsevier, 2009. — 432 p.
4. De Santis G., Cordeiro P.G., Chiarini L. Atlas of mandibular and maxillary reconstruction with the fibula flap: A step-by-step approach. — Cham, Switzerland: Springer, 2019. — 356 p.
5. Терещук С.В., Иванов С.Ю., Сухарев В.А., Васильев Е.А. Устранение дефектов верхней и нижней челюсти при помощи трансплантата из наружного края лопатки. — *Голова и шея.* — 2021; 3: 25—33. [Tereshchuk S.V., Ivanov S.Y., Sukharev V.A., Vasiliev E.A. Reconstruction of maxillary and mandibular defects using a lateral scapular border flap. — *Head and Neck.* — 2021; 3: 25—33 (In Russian)]. [eLibrary ID: 46614584](#)

КОНГРЕСС **PROSTO** СТОМАТОЛОГИЯ

19.04
Москва



Ладягин Михаил

Поддесневые дефекты

стоматолог-терапевт



Журенко Данила

Имплантация. Начало

стоматолог-хирург



Гончаров Кирилл

Вся правда про обтурацию

стоматолог-терапевт-эндодонтист



Елисеев Сергей

VERTIPREP

стоматолог-терапевт-ортопед

регистрация +7 (911) 256 61 80

С.С. Елдашев¹,
аспирант кафедры ортопедической
стоматологии

Т.В. Царева²,
к.м.н., доцент кафедры микробиологии,
вирусологии, иммунологии

Д.О. Быков²,
к.м.н., доцент кафедры технологий
протезирования в стоматологии

М.В. Быкова¹,
к.м.н., профессор кафедры ортопедической
стоматологии

В.А. Парунов¹,
д.м.н., профессор кафедры ортопедической
стоматологии

¹ РУДН, 117198, Москва, Россия

² Российский университет медицины,
127006, Москва, Россия

Изучение микробной адгезии к поверхности зубных протезов из отечественных стоматологических сплавов на основе палладия

Аннотация. Цель исследования — изучение и сравнение первичной и остаточной адгезии микроорганизмов к поверхности зубных протезов из российских сплавов на основе палладия «Палладент» и «Палладент-УНИ». Были использованы образцы сплавов с керамическим покрытием и без покрытия. В результате исследования получены данные, что образцы из сплава «Палладент-УНИ» с керамическим покрытием продемонстрировали лучший статистически достоверный результат, чем образцы из сплава «Палладент». Установлено, что зона соединения сплавов и керамического покрытия создает дополнительные условия для фиксации микроорганизмов и повышает уровень адгезии некоторых штаммов в 1,25—1,5 раза. Полученные результаты показали низкие индексы первичной адгезии агрессивной микробиоты к исследуемым сплавам.

Ключевые слова: сплавы палладия, адгезия микроорганизмов, драгоценные сплавы, Палладент, Палладент-УНИ

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Елдашев С.С., Царева Т.В., Быков Д.О., Быкова М.В., Парунов В.А. Изучение микробной адгезии к поверхности зубных протезов из отечественных стоматологических сплавов на основе палладия. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 166—170. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_166

Investigation of the microbial adhesion to the surface of dentures made of domestic dental alloys based on palladium

Annotation. The aim of the study was to investigate and compare the primary and residual adhesion of microorganisms to the surface of dental prostheses made of Russian palladium-based alloys “Palladent” and “Palladent-UNI”. Samples of ceramic-coated and uncoated alloys were used. As a result of the study, the data were obtained that the ceramic-coated “Palladent-UNI” alloy samples showed a better statistically reliable result than the “Palladent” alloy samples. It was found that the zone of alloys and ceramic coating connection creates additional conditions for microorganisms fixation and increases the level of adhesion of some strains by 1.25—1.5 times. The obtained results showed low indices of primary adhesion of aggressive microbiota to the studied alloys.

Key words: palladium alloys, microorganism adhesion, precious alloys, Palladent, Palladent-UNI

FOR CITATION:

Eldashev S.S., Tsareva T.V., Bykov D.O., Bykova M.V., Parunov V.A. Investigation of the microbial adhesion to the surface of dentures made of domestic dental alloys based on palladium. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 166—170 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_166

С.С. Елдашев¹,
postgraduate at the Prosthodontics
Department

Т.В. Царева²,
PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Microbiology, virology, immunology
Department

Д.О. Быков²,
PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Prosthodontics technology Department

М.В. Быкова¹,
PhD in Medical Sciences, professor
of the Prosthodontics department

В.А. Парунов¹,
Doctor of Science in Medicine, full professor
of the Prosthodontics Department

¹ РУДН, 117198, Москва, Россия

² Российский университет медицины,
127006, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с государственной программой реализации стратегии развития стоматологического материаловедения в области сплавов благородных металлов,

группой отечественных авторов был разработан сплав для металлокерамических зубных протезов на основе палладия «Палладент-УНИ» (НПК «Суперметалл», Москва; патент № 2481095, действ. с 04.04.2012). Сплав «Палладент-УНИ» (50—52% палладия, 21—24% золота,

20–22% меди и 3–4% олова) был создан на замену сплаву «Палладент», который перестал соответствовать требованиям отечественных и международных стандартов [1, 2]. В 2021 г. сплав стоматологический на основе палладия «Палладент-УНИ» получил регистрационное удостоверение Росздравнадзора (№ РЗН 2021/14810) и был разрешен к применению в клинической практике.

В рамках широкого доклинического исследования образцов из нового палладиевого сплава были изучены физико-механические, токсикологические, технологические и коррозионные свойства. Полученные результаты позволили уточнить клинические показания к его применению и перейти к его внедрению в стоматологическую практику для изготовления несъемных зубных протезов [3]. Результаты стоматологического обследования пациентов, полученные в процессе клинических наблюдений, позволили продемонстрировать высокое качество протезирования, достаточную физико-механическую и противокоррозионную устойчивость данных конструкционных материалов, а также благоприятное влияние протезов из них на гигиену рта [4].

Для изучения биологической безопасности и колонизационной резистентности зубных протезов нами было запланировано сравнительное изучение адгезии микроорганизмов к поверхности зубных протезов из сплавов на основе палладия. Известно, что при выборе материала для зубных протезов очень важно учитывать степень адгезивной способности резидентной микрофлоры полости рта контактировать поверхность, так как этот процесс является пусковым механизмом последующей колонизации и формирования микробной биопленки со всеми вытекающими последствиями инфекционного порядка [5–8]. При этом количественный и качественный состав микрофлоры на поверхности протезов может существенно варьировать в зависимости от состава данного материала, вида и степени его обработки, а также от наличия облицовочных керамических или композитных покрытий [9, 10].

Цель исследования — изучение и сравнение первичной и остаточной адгезии штаммов микроорганизмов к поверхности зубных протезов, изготовленных из российских сплавов на основе палладия «Палладент» и «Палладент-УНИ».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки первичной адгезии исследовали образцы сплавов «Палладент» и «Палладент-УНИ» размером 5×2×1 мм. Их обрабатывали ультрафиолетом бактерицидной лампы в течение 30 минут, а затем хранили в стерильных чашках Петри (рис. 1). Для исследования остаточной адгезии мы изготовили специальные образцы, содержащие фрагмент керамики IPS InLine (Ivoclar Vivadent, Лихтенштейн), моделирующий зону стыка. Керамическое покрытие образцов сплавов «Палладент» и «Палладент-УНИ» провели методом последовательных обжигов, аналогично традиционному нанесению керамической массы при изготовлении металлокерамических коронок в зуботехнической лаборатории в соответствии с инструкцией производителя керамики.

Для изучения первичной адгезии образцы помещали во взвесь суточных культур следующих тест-штаммов:

- 1) грамположительные представители нормобиоты — *Actinomyces viscosus*, *Streptococcus mutans*, *S. sanguis*;
- 2) грамотрицательные представители агрессивных и пародонтопатогенных видов — *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Fusobacterium nucleatum*;
- 3) дрожжевые грибы *Candida albicans*.

Учитывая, что для используемых тест-штаммов необходимы стандартные условия проведения экспериментов по адгезии, готовили взвеси 10⁸ КОЕ/мл бактерий и 10⁶ КОЕ/мл грибов (мутность 0,5 ед. по Мак-Фарланду). 100 мкл взвеси наносили на поверхность образца с помощью микродозатора. Экспозиция в анаэробной среде — 40 минут при 37°C (для анаэробных и микроаэрофильных бактерий *Actinomyces viscosus*, *Streptococcus mutans*, *Fusobacterium nucleatum*), для аэробных бактерий (*Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*) в обычных условиях при температуре 37°C, для грибов (*Candida albicans*) — при температуре 22–24°C на хромогенной среде Himedia Labs (Индия).

Далее все процедуры осуществляли строго по существующей методике оценки первичной адгезии. Образцы сплавов трижды отмывали в 10 мл стерильного физраствора для удаления всех неприлипших клеток. Затем образцы помещали в специальные емкости, содержащие 1 мл стерильного физраствора, и подвергали обработке в ультразвуковой ванне при 60 кГц в течение 10 мин. Таким образом, жизнеспособные клетки микроорганизмов, вступивших в процесс первичной адгезии с поверхностью исследуемого образца, переводили во взвешенное состояние. Далее из микробной взвеси объемом 100 мкл проводили посев на 5%-ный кровяной гемин-агар Columbia и распределяли микробные клетки по поверхности питательной среды стерильной платиновой петлей для получения изолированных колоний. Посевы помещали в анаэробистат и инкубировали при 37°C в анаэробных условиях (для анаэробных и микроаэрофильных бактерий) или в обычных условиях при 37°C (для аэробных бактерий) и при температуре 22–24°C для дрожжевых грибов рода *Candida*.

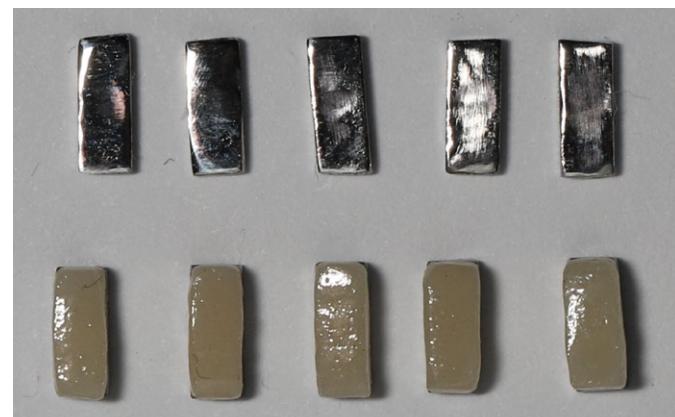


Рис. 1. Образцы сплавов «Палладент-УНИ» (верхний ряд), «Палладент-УНИ» с керамикой (нижний ряд)
Fig. 1. Samples of alloys "Palladent-UNI" (upper row), "Palladent-UNI" with ceramics (lower row)

Рост изолированных колоний из отдельных жизнеспособных клеток оценивали с использованием исследовательского стереомикроскопа, что позволило определить их количество. Затем рассчитывали индекс адгезии I_a по В.Н. Цареву и соавт. [10]:

$$I_a = \lg A / \lg N,$$

где A — число прилипших бактерий, N — количество бактерий в исходной взвеси, нанесимой на стандартный образец.

Для оценки степени прикрепления микроорганизмов в зоне соединения между сплавом и керамикой вычисляли индекс остаточной адгезии. При этом образец не погружали во взвесь микроорганизмов, а наносили взвесь заданной концентрации на поверхность стандартного образца исследуемого материала с керамическим фрагментом 50% от площади образца с помощью микропипетки. Промывания также завершали путем обработки образца ультразвуком (10 мин) в 10 мл стерильного изотонического раствора. После ультразвуковой обработки образцы с оставшимися на их поверхности жизнеспособными микроорганизмами накладывали на поверхность питательной среды той стороной, на которую была нанесена взвесь микроорганизмов и слегка прижимали пинцетом для получения отпечатка. Процедуру повторяли 5 раз для получения отпечатков жизнеспособных клеток, оставшихся в зоне стыка.

В нашей модификации дальнейшего механического распределения микробных клеток по поверхности питательной среды с помощью бактериальной петли не проводили. Результаты учитывали также с помощью стереомикроскопа.

Полученный результат, как и в случае выполнения предыдущей методики, выражали через десятичный логарифм числа колониеобразующих единиц, но рассчитывали КОЕ на один отпечаток образца [11]. Индекс остаточной адгезии I_{ao} рассчитывали по формуле:

$$I_{ao} = \lg A / \lg N,$$

где A — число прилипших бактерий, N — количество бактерий в 100 мкл взвеси.

Таблица 1. Индекс адгезии тест-штаммов грамположительной нормобиоты

Table 1. Adhesion indices of of gram-positive normobiota test strains

Микроорганизм	Поверхность металла			Стык с керамическим покрытием		
	«Палладент-УНИ»	«Палладент»	p	«Палладент-УНИ»	«Палладент»	p
<i>A. viscosus</i>	0,11±0,04	0,13±0,03	>0,05	0,23±0,03	0,26±0,03	<0,025
<i>S. sanguis</i>	0,18±0,04	0,22±0,03	>0,05	0,29±0,03	0,37±0,04	<0,025
<i>S. mutans</i>	0,21±0,03	0,25±0,04	>0,05	0,32±0,04	0,48±0,04	<0,025

Таблица 2. Индексы адгезии тест-штаммов агрессивной микробиоты

Table 2. Adhesion indices of aggressive microbiota test strains

Микроорганизм	Поверхность металла			Стык с керамическим покрытием		
	«Палладент-УНИ»	«Палладент»	p	«Палладент-УНИ»	«Палладент»	p
<i>E. faecalis</i>	0,10±0,03	0,08±0,02	>0,05	0,21±0,03	0,12±0,03	<0,025
<i>S. aureus</i>	0,09±0,02	0,08±0,03	>0,05	0,17±0,04	0,13±0,03	<0,025
<i>F. nucleatum</i>	0	0	—	0	0	—
<i>C. albicans</i>	0,20±0,02	0,20±0,02	>0,05	0,41±0,04	0,32±0,04	<0,025

При статистической обработке результатов применяли методы вариационной статистики для малой выборки. Достоверность различий вычисляли с помощью критерия Манна—Уитни при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выявлены некоторые различия в показателях адгезии представителей грамположительной нормобиоты. Так, индексы адгезии *S. mutans* и *S. sanguis* (0,18 и 0,21) к сплаву «Палладент-УНИ» были достоверно выше по сравнению с индексом адгезии *A. viscosus* (0,11). К сплаву «Палладент» — 0,22 и 0,25 для стрептококков и 0,13 — для актиномицетов соответственно. Тем не менее достоверной разницы между показателями адгезии на образцах сравниваемых сплавов не выявлено (табл. 1).

При исследовании комбинации с керамикой отмечалось некоторое увеличение уровня первичной адгезии (в среднем не более чем на 25–30%). Значения индексов адгезии в этих случаях находились в пределах от 0,13 до 0,28 для образцов сплавов и статистически достоверно выше — от 0,33 до 0,48 для образцов сплавов с керамическим покрытием.

Так для *S. mutans* и *S. sanguis* значения индексов адгезии при использовании сплава «Палладент» с керамикой составили 0,37 и 0,48 соответственно, что было примерно в 2,5 раза выше, чем для сплава «Палладент» без керамики, и на 15–20% выше, чем для сплава «Палладент-УНИ» с керамикой. В то же время для тест-штамма актиномицетов достоверных различий между сплавами «Палладент-УНИ» и «Палладент», как с керамическими включениями, так и без таковых, не выявлено ($p>0,05$).

Следовательно, при нанесении керамического покрытия на образцы индексы адгезии стрептококков достоверно увеличивались, причем более значимо при сочетании сплава «Палладент» с керамическим покрытием.

Для представителей агрессивной и пародонтопатогенной микрофлоры выявленные тенденции в динамике показателей адгезии были аналогичными, однако уровни адгезии большинства представителей данной

группы видов были статистически достоверно ниже по сравнению с представителями нормобиоты (табл. 2).

Так, адгезия *E. faecalis* и *S. aureus* была крайне низкой (0,10–0,08) причем как при использовании сплава «Палладент-УНИ», так и «Палладент». Адгезия пародонтопатогенного вида анаэробной группы *F. nucleatum* не выявлена вообще. Напротив, индекс адгезии штамма дрожжевых грибов *C. albicans* был статистически достоверно выше и составлял 0,20 для обоих сплавов. Следовательно, различий в адгезии данных тест-штаммов между сплавами без включения керамики не выявлено ($p>0,05$).

При нанесении керамического покрытия на образцы сплавов индексы адгезии достоверно увеличивались в 1,5–2 раза ($p<0,025$). Отличия между комбинацией сплавов с керамикой были статистически достоверны — максимальный уровень адгезии получен для *E. faecalis* (0,21) и *C. albicans* (0,41) при использовании сплава «Палладент». Статистически более низкий уровень адгезии отмечен для сплава «Палладент-УНИ» с включением керамики — 0,12–0,13 — для кокков (рис. 2) и 0,32 — для грибов *Candida* (рис. 3). Адгезия пародонтопатогенного вида анаэробной группы — *F. nucleatum* к сплавам с включением керамики (как и без таковой) не выявлена. Следовательно, сплав «Палладент-УНИ» с включением керамики продемонстрировал несколько лучший статистически достоверный результат, чем сплав «Палладент».

Принципиальное значение имеет вопрос о том, за счет чего осуществляется увеличение микробной обсемененности образцов при комбинации сплавов и керамики при создании ортопедических конструкций в полости рта у пациентов. Это может быть связано со свойствами самой керамики либо с особенностями структуры материалов в области стыка (соединения между керамикой и сплавом). Для изучения адгезии в этом случае использовали специально предложенную В.Н. Царевым (2013) модификацию методики — оценку остаточной адгезии. При этом установлено увеличение индекса остаточной адгезии I_{oa} по сравнению с I_a не более чем на 20% (в диапазоне значений I_{oa} от 0,10 до 0,25 для тест-штаммов бактерий и от 0,20 до 0,46 для грибов). При этом достоверных различий между комбинациями материалов в исследуемых образцах не выявлено ($p>0,05$). Как показали проведенные исследования по изучению остаточной адгезии, прирост индекса адгезии в случае включения керамического участка объясняется скоплением микробных клеток в области стыка (соединения) между сплавом и керамикой.

Таким образом, зона соединения между сплавом и керамическим фрагментом создает дополнительные условия для фиксации микроорганизмов и повышает уровень адгезии некоторых штаммов в 1,25–1,5 раза. Вместе с тем подобная комбинация, как и исходный сплав, отличается весьма низким уровнем адгезии микроорганизмов по сравнению с другими описанными материалами (композиты, полимеры, особенно пластмассы), что позволяет обосновать перспективы применения данного сплава в практической стоматологии и поставить вопрос о значении оценки клинической эффективности его использования по сравнению с другими материалами с современных микробиологических позиций [11, 12].

В целом полученные результаты показывают, что исследуемые сплавы характеризуются низкими индексами первичной адгезии агрессивной микробиоты, а это принципиально отличает наши результаты от данных других исследователей, полученных, например, с полимерами и композитами [6, 7, 10, 12].

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного исследования установлены преимущественно низкие уровни индексов адгезии к исследуемым образцам сплавов палладия, причем достоверной разницы между показателями адгезии на образцах сравниваемых сплавов не выявлено.
2. Сплав «Палладент-УНИ» с керамическим покрытием показал статистически достоверно несколько лучшие результаты при оценке адгезии как агрессивных бактерий, так и грибов *Candida*. Для анаэробных бактерий *Fusobacterium nucleatum* отмечено практически полное отсутствие адгезии к образцам исследуемых сплавов.
3. Особое внимание при оценке адгезии микроорганизмов необходимо уделять зоне стыка керамики и металлического сплава, так как в этом локусе создаются технические предпосылки для прикрепления и последующей колонизации микроорганизмов.

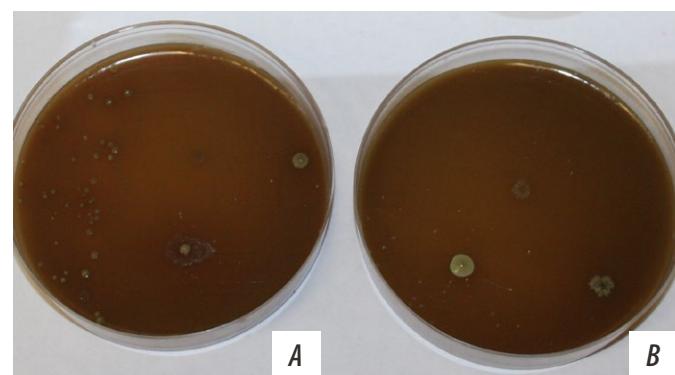


Рис. 2. Исследования адгезии тест-штамма *S. sanguis* при посеве на 5%-ный кровяной гемин-агар, соответствующие индексу адгезии сплава «Палладент-УНИ» с керамикой — 0,37 (A) и индексу адгезии сплава «Палладент-УНИ» без керамики — 0,29 (B)

Fig. 2. Studies of the adhesion of the *S. sanguis* test strain when seeded with 5% blood gemin agar, corresponding to the adhesion index of the Palladent UNI alloy with ceramics — 0.37 (A) and the adhesion index of the Palladent UNI alloy without ceramics — 0.29 (B)

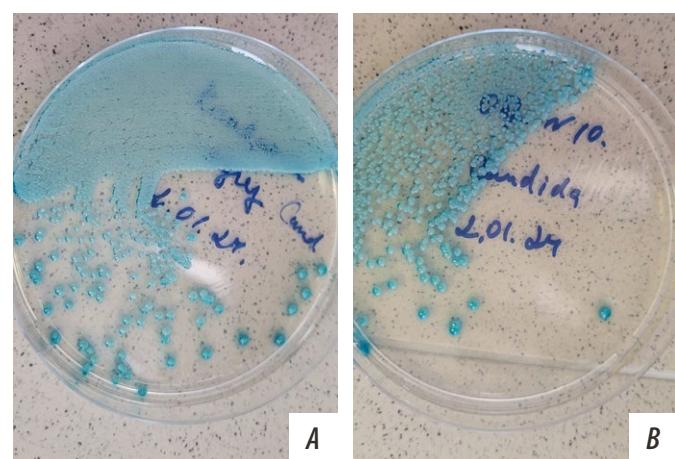


Рис. 3. Исследования адгезии тест-штамма *C. albicans* при посеве на хромогенный агар, соответствующие индексу адгезии сплава «Палладент-УНИ» с керамикой — 0,41 (A) и индексу адгезии сплава «Палладент-УНИ» без керамики — 0,32 (B)

Fig. 3. Studies of the adhesion of the *C. albicans* test strain when seeded with chromogenic agar, corresponding to the adhesion index of the Palladent UNI alloy with ceramics — 0.41 (A) and the adhesion index of the Palladent UNI alloy without ceramics — 0.32 (B)

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 10.10.2024

Принята в печать: 09.02.2025

ЛИТЕРАТУРА

1. Парунов В.А. Стратегия развития отечественного стоматологического материаловедения в области сплавов благородных металлов. Часть 3. Сплавы на основе палладия для металлокерамических зубных протезов клинические исследования. — *Российский стоматологический журнал*. — 2016; 5: 245—247. [eLibrary ID: 27379979](#)
2. Парунов В.А., Карева М.А., Тыкочинский Д.С., Лебеденко И.Ю. Разработка нового металлокерамического сплава на основе палладия в рамках практической реализации концепции развития отечественного стоматологического материаловедения. — *Российский стоматологический журнал*. — 2017; 3: 126—128. [eLibrary ID: 29460142](#)
3. Парунов В.А., Козлов О.В., Козлов В.А. Исследование физико-механических свойств нового сплава на основе палладия для несъемных зубных протезов «Палладент УНИ». — *Российский стоматологический журнал*. — 2014; 2: 11—13. [eLibrary ID: 21581418](#)
4. Козлов В.А., Парунов В.А., Козлов О.В., Степанова Г.С. Изучение влияния формовочных масс на литейные свойства палладиевого сплава «Палладент-УНИ». — *Российский стоматологический журнал*. — 2014; 6: 15—20. [eLibrary ID: 22801188](#)
5. Tu Y., et al. Interaction between microorganisms and dental material surfaces: general concepts and research progress. — *J Oral Microbiol*. — 2023; 15 (1): 2196897. [PMID: 37035450](#)
6. Arutyunov S., Kirakosyan L., Dubova L., Kharakh Y., Malginov N., Akhmedov G., Tsarev V. Microbial adhesion to dental polymers for conventional, computer-aided subtractive and additive manufacturing: A comparative in vitro study. — *J Funct Biomater*. — 2022; 13 (2): 42. [PMID: 35466224](#)
7. Арутюнов А.С., Царева Т.В., Киракосян Л.Г., Левченко И.М. Особенности и значение адгезии бактерий и грибов полости рта как этапа формирования микробной биопленки на стоматологических полимерных материалах. — *Стоматология*. — 2020; 2: 79—84. [eLibrary ID: 42851810](#)
8. Coulthwaite L., Verran J. Potential pathogenic aspects of denture plaque. — *Br J Biomed Sci*. — 2007; 64 (4): 180—9. [PMID: 18236742](#)
9. Vulović S., et al. Evaluation of early bacterial adhesion on CAD/CAM dental materials: an in situ study. — *Odontology*. — 2025; 113 (1): 101—110. [PMID: 38705962](#)
10. Царев В.Н., Степанов А.Г., Ипполитов Е.В., Подпорин М.С., Царева Т.В. Контроль первичной адгезии микроорганизмов и формирования биопленок на стоматологических материалах, используемых для трансдентальной имплантации при зубосохраняющих операциях. — *Клиническая лабораторная диагностика*. — 2018; 9: 568—573. [eLibrary ID: 36510269](#)
11. Царев В.Н. Микробиология, вирусология, иммунология полости рта. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. — С. 333—375.
12. Цимбалистов А.В., Соболева А.В., Царев В.Н., Золотницкий И.В., Дубова Л.В., Мальгинов Н.Н., Добровольский П.В., Чуев В.П., Арутюнов С.Д. Клиническая эффективность съемных зубных протезов из светоотверждаемого базисного материала Нолатек. — *Клиническая стоматология*. — 2020; 2 (94): 121—125. [eLibrary ID: 43125616](#)
- Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.
- Received:** 10.11.2024 **Accepted:** 09.02.2025
- REFERENCES:**
1. Parunov V.A. Strategy of development of the domestic dental material sciences in the field of alloys of noble metals. Part 3. The palladium-based alloys for metalceramic dental prostheses. — *Russian Journal of Dentistry*. — 2016; 5: 245—247 (In Russian). [eLibrary ID: 27379979](#)
 2. Parunov V.A., Kareva M.A., Tykochinskiy S.D., Lebedenko I. Yu. The development of a new metal alloy based on palladium within the framework of practical implementation of the concept of development of the domestic dental materials science. — *Russian Journal of Dentistry*. — 2017; 3: 126—128 (In Russian). [eLibrary ID: 29460142](#)
 3. Parunov V.A., Kozlov O.V., Kozlov V.A. Study of physico-mechanical properties of a new alloy based on palladium for nonremovable dentures "Palladint UNI". — *Russian Journal of Dentistry*. — 2014; 2: 11—13 (In Russian). [eLibrary ID: 21581418](#)
 4. Kozlov V.A., Parunov V.A., Kozlov O.V., Stepanova G.S. Study of the effects of molding masses on the casting properties of palladium alloy "PALLADIUM-UNY". — *Russian Journal of Dentistry*. — 2014; 6: 15—20 (In Russian). [eLibrary ID: 22801188](#)
 5. Tu Y., Ren H., He Y., Ying J., Chen Y. Interaction between microorganisms and dental material surfaces: general concepts and research progress. — *J Oral Microbiol*. — 2023; 15 (1): 2196897. [PMID: 37035450](#)
 6. Arutyunov S., Kirakosyan L., Dubova L., Kharakh Y., Malginov N., Akhmedov G., Tsarev V. Microbial adhesion to dental polymers for conventional, computer-aided subtractive and additive manufacturing: A comparative in vitro study. — *J Funct Biomater*. — 2022; 13 (2): 42. [PMID: 35466224](#)
 7. Arutyunov A.S., Tsareva T.V., Kirakosyan L.G., Levchenko I.M. Features and significance of adhesion of bacteria and fungi of the oral cavity as the initial stage of the formation of a microbial biofilm on dental polymer materials. — *Stomatology*. — 2020; 2: 79—84 (In Russian). [eLibrary ID: 42851810](#)
 8. Coulthwaite L., Verran J. Potential pathogenic aspects of denture plaque. — *Br J Biomed Sci*. — 2007; 64 (4): 180—9. [PMID: 18236742](#)
 9. Vulović S., Todorović A., Toljić B., Nikolić-Jakoba N., Tovilović T.V., Milić-Lemić A. Evaluation of early bacterial adhesion on CAD/CAM dental materials: an in situ study. — *Odontology*. — 2025; 113 (1): 101—110. [PMID: 38705962](#)
 10. Tsarev V.N., Stepanov A.G., Ippolitov E.V., Podporin M.S., Tsareva T.V. Control of primary adhesion of microorganisms and formation of biofilms on stomatological materials used for transdental implantation in dental stabilizing operations. — *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. — 2018; 9: 568—573 (In Russian). [eLibrary ID: 36510269](#)
 11. Tsarev V.N. Microbiology, virology, immunology of oral cavity. — Moscow: GEOTAR-Media, 2019. — Pp. 333—375 (In Russian).
 12. Tsimbalistov A.V., Soboleva A.V., Tsarev V.N., Zolotnitsky I.V., Dubova L.V., Malginov N.N., Dobrovolsky P.V., Chuev V.P., Arutyunov S.D. Clinical efficacy of removable dentures made of Nolatec photopolymeric base substance. — *Clinical Dentistry (Russia)*. — 2020; 2 (94): 121—125 (In Russian). [eLibrary ID: 43125616](#)

O.В. Евдокимова,к.м.н., доцент, зав. кафедрой
микробиологииЕ.П. Котелевец,к.м.н., доцент кафедры микробиологии
А.И. Новак,д.б.н., доцент, профессор кафедры
микробиологииВ.В. Бирюков,

к.м.н., доцент кафедры микробиологии

РязГМУ, 390026, Рязань, Россия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Евдокимова О.В., Котелевец Е.П., Новак А.И., Бирюков В.В. Роль факторов вирулентности *Porphyromonas gingivalis* и *Tannerella forsythia* в патогенезе заболеваний пародонта: обзор литературы. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 171—178.

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_171

Роль факторов вирулентности *Porphyromonas gingivalis* и *Tannerella forsythia* в патогенезе заболеваний пародонта: обзор литературы

Аннотация. В настоящее время культуральные и молекулярно-генетические методы исследования позволяют получить важные данные о фенотипе вирулентных штаммов для оценки их этиологической значимости в развитии патологического процесса. Факторы вирулентности микроорганизмов обеспечивают специфическое взаимодействие возбудителя с клетками пародонта, помогают уклониться или защититься от иммунных реакций макроорганизма, оказывают прямое повреждающее действие на структурную целостность и функции клеток хозяина. Изучение упомянутых биологических свойств *Porphyromonas gingivalis* и *Tannerella forsythia* позволяет прогнозировать вероятность развития заболеваний, оценивать риски возникновения осложнений при манифестиации воспалительного процесса в ткани пародонта. Вместе с этим высокая вариабельность вирулентных свойств, зависимость их синтеза *in vivo* от других фенотипических свойств возбудителя и присутствия других микроорганизмов делают определение этиологической значимости различных факторов вирулентности пародонтопатогенов непростой медицинской задачей. Вирулентные свойства *Porphyromonas gingivalis* и *Tannerella forsythia* характеризуются не только видовой специфичностью, но и широким спектром секрецируемых продуктов метаболизма, повреждающее действие которых избирательно направлено на ткани пародонта. В настоящем обзоре предпринята попытка группировать вирулентные свойства порфиromонад и форзиций по их способности к участию в патогенезе патологического процесса в ткани пародонта от колонизации до нарушения гомеостаза с характеристикой многофункциональности факторов вирулентности. Выделение наиболее важных и ключевых вирулентных свойств пародонтопатогенов может быть использовано для создания новых подходов в разработке алгоритмов этиотропной и патогенетической терапии заболеваний пародонта.

Ключевые слова: вирулентность, пародонтопатогенные бактерии, капсула, фимбрииллы, пориновые белки, секрецируемые белки, гликопротеины, трипсиноподобные протеиназы, гингипаины, липополисахарид, гликозиды

O.V. Evdokimova,PhD in Medical Sciences, associate professor
and head of the Microbiology DepartmentE.P. Kotelevets,PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Microbiology DepartmentA.I. Novak,Doctor of Science in Biology, professor
of the Microbiology DepartmentV.V. Biryukov,PhD in Medical Sciences, associate professor
of the Microbiology DepartmentRyazan State Medical University,
390026, Ryazan, Russia

The role of virulence factors of *Porphyromonas gingivalis* and *Tannerella forsythia* in pathogenesis of periodontal diseases: A review

Annotation. Currently, cultural and molecular genetic research methods make it possible to obtain important data on the phenotype of virulent strains to assess their etiological significance in the development of the pathological process. Virulence factors of microorganisms provide specific interaction of the pathogen with periodontal cells, help evade or protect themselves from the immune reactions of the macroorganism and have a direct damaging effect on the structural integrity and functions of host cells. The study of these biological properties of *Porphyromonas gingivalis* and *Tannerella forsythia* makes it possible to predict the likelihood of developing diseases and assess the risks of complications during the manifestation of the inflammatory process in periodontal tissue. At the same time, the high variability of virulence properties, the dependence of their synthesis *in vivo* on other phenotypic properties of the pathogen and the presence of other microorganisms make determining the etiological significance of various virulence factors of periodontopathogens not a simple medical task. The virulent properties of *Porphyromonas gingivalis* and *Tannerella forsythia* are characterized not only by species specificity, but also by a wide range of secreted metabolic products, the damaging effect of which is directed selectively to periodontal tissue. This review makes an attempt to group the virulent properties of *Porphyromonas* and *Forsythia* according to their ability to participate in the pathogenesis of the pathological process in periodontal tissue from colonization to disruption of homeostasis, characterizing the multifunctionality

of virulence factors. Identification of the most important and key virulent properties of periodontal pathogens can be used to create new approaches in the development of algorithms for etiologic and pathogenetic therapy of periodontal diseases.

Key words: virulence, periodontopathogenic bacteria, capsule, fimbriilins, porin proteins, secreted proteins, glycoproteins, trypsin-like proteinases, gingipains, lipopolysaccharide, glycosides

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания пародонта относятся к гетерогенной группе патологий, в основном к хроническим воспалительным процессам, клинически варьирующим от легкой и обратимой формы патологической реакции десны, диагностируемой как гингивит, до прогрессирующего воспаления с потерей периодонтальной связки, альвеолярной кости и, в конечном итоге, к подвижности и выпадению зубов. Патологии пародонта являются ведущими среди стоматологических заболеваний, приводящих к снижению качества жизни человека. По данным ряда авторов, распространность признаков поражения пародонта у младших школьников составила 3,3%, у детей 12 лет — 22,1% [1]. Результаты эпидемиологического обследования показывают, что с возрастом отмечается достоверный рост заболеваемости и среди взрослого населения распространенность патологии составляет $85,4 \pm 1,8\%$ [2]. Риски развития пародонтита достоверно выше не только в возрастных группах, но и в группах курильщиков по сравнению с некурящими независимо от пола и у мужчин с неконтролируемым сахарным диабетом [3]. Воспаление тканей, окружающих зуб, может не иметь ярко выраженной симптоматики, болевых ощущений. В одних случаях заболевание может прогрессировать быстрее, в других — медленнее, когда риск потери функции пародонта минимален, в связи с чем пациент не всегда своевременно реагирует на развитие данного заболевания и обращение к специалисту откладывается на неопределенное время.

Патологические процессы ротовой полости характеризуются молекулярным разнообразием и сложной взаимосвязью функций бактерий биопленки, образующей зубной налет. В аспекте патогенеза воспалительной реакции важным биологическим свойством является вирулентность возбудителя. Вирулентность — это интегральный показатель, представленный совокупностью определенных локусов генома возбудителя и продуктов, кодируемыми этими генами, которые определяют особенность взаимодействия патогена с рецепторами клеток-мишеней, тяжесть протекания патологического процесса и его исходы. Вирулентность патогенных микроорганизмов зависит от способности к адгезии, инвазивности, капсуло- и токсинообразования, наличия механизмов защиты макроорганизма. Большинство факторов, которые раньше обсуждались с точки зрения вирулентности (протеазы, липополисахариды, инвазивная способность, фимбрии, капсула, лейкотоксин) среди микроорганизмов, связанных с пародонтитом, скорее

FOR CITATION:

Evdokimova O.V., Kotelevets E.P., Novak A.I., Biryukov V.V. The role of virulence factors of *Porphyromonas gingivalis* and *Tannerella forsythia* in pathogenesis of periodontal diseases: A review. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 171—178 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_171

следует называть факторами роста и выживания бактерий в глубоких воспаленных пародонтальных карманах, поскольку они не обязательно являются факторами патогенности и повреждения [4].

На ранних стадиях перехода от здоровой слизистой к гингивиту ряд транскриптов, связанных с вирулентностью, начинают динамично меняться — от активации генов, участвующих в протеолитических процессах, до увеличения уровня экспрессии генов, кодирующих синтез поверхностных структур, сборку и другие общие функции вирулентности, ведущие к колонизации или адаптации внутри хозяина [5].

В настоящее время существуют объективные причины, затрудняющие изучение роли факторов вирулентности пародонтопатогенов в развитии заболеваний пародонта с использованием стандартных культуральных методов исследования. Это связано с некоторыми особенностями видовой идентификации, вирулентных свойств, а также с видовой специфичностью факторов агрессии и направленностью их действия. Использование молекулярных подходов и методов секвенирования позволило выявить существование новых пародонтальных патогенов и только комплексные методы исследования позволяют понять возможные механизмы вирулентности новых возбудителей [6].

С точки зрения совершенствования алгоритмов патогенетической и этиотропной терапии заболеваний тканей пародонта, понимание сложных взаимосвязей, в которых участвуют микроорганизмы, изучение роли ключевых факторов вирулентности пародонтопатогенных микроорганизмов в патогенезе данной патологии является достаточно актуальным и перспективным научным направлением [7—9].

Цель обзора — систематизировать биологические эффекты вирулентных свойств *Porphyromonas gingivalis* и *Tannerella forsythia* с целью определения диагностически значимых в развитии патогенеза пародонтита и пародонтоза, и поддержки лекарственно-ориентированного подхода в лечении, моделирующего вирулентные свойства микробных сообществ в пародонтальном биотопе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Многочисленные исследования подтверждают, что в поддесневом пародонтальном кармане человека обитает более 700 видов бактерий, поэтому хроническое воспаление ткани пародонта имеет многофакторную этиологию. Метагеномное исследование клинических

образцов, взятых у пациентов с пародонтитом, показало наличие в них примерно 100–130 филотипов бактерий. Возникновение и тяжесть заболевания инициированы преимущественно специфическими видами бактерий, которые колонизируют слизистую полости рта в составе поддесневых биопленок [10, 11].

Наиболее часто выделяемые виды, *Porphyromonas gingivalis*, *Tannerella forsythia*, формируют так называемый красный комплекс и являются наиболее значимыми в развитии заболеваний тканей пародонта [12, 13]. Данные бактерии чрезвычайно часто присутствуют в зубных отложениях и являются основными этиологическими факторами развития заболеваний пародонта. Иммуногистохимический анализ с использованием моноклональных антител и результатов полимеразной цепной реакции выявил совместное присутствие *P. gingivalis* и *T. forsythia* в грануляционной ткани десны и поддесневого пространства и показал, что локализация и плотность обоих видов пародонтопатогенов взаимосвязана и является фактором, ответственным за клеточную и тканевую инвазивность [14]. Воспаление в ткани, окружающей зуб, развивается в результате прямого воздействия факторов вирулентности данных бактерий на клетки-мишени, изменяющего врожденные иммунные функции хозяина, что приводит к дисбиозу и хроническому воспалению в пародонте [15].

К факторам вирулентности пародонтопатогенных микроорганизмов относят структурные компоненты или метаболиты бактерий, способные инициировать разрушение ткани пародонта. Активность данных факторов вирулентности в макроорганизме приводит к быстрому и значительному разрушению тканей пародонта, резорбции костной ткани, индукции иммунной реакции хозяина за счет продукции цитокинов, а также к ингибированию защитных механизмов хозяина. Экспрессия факторов вирулентности часто регулируется в ответ на изменения во внешней среде обитания пародонтопатогенов. В экспериментальных условиях получены данные, подтверждающие повышение концентрации и конкурентоспособности пародонтопатогенов *P. gingivalis* и *T. forsythia*, в норме присутствующих в здоровом зубном микробиоме при замене питательных веществ поддесневой среды на компоненты, имитирующие пораженное поддесневое пространство [16]. Установка несъемных ортодонтических приспособлений усиливает

экспрессию генов вирулентности (*gtfB*, *gbpB*, *ldh*, *brpA*), связанных с образованием биопленки, выработкой кислоты и толерантностью к ней бактерий зубной биопленки [17].

Микробные факторы вирулентности охватывают широкий спектр молекул, продуцируемых патогенными микроорганизмами, повышая их способность уклоняться от защиты хозяина и вызывать заболевания. Взаимодействие между пародонтальной микробиотой и иммунными клетками хозяина, зачастую приводит не к индукции защитного иммунного ответа хозяина, а к иммунной дегрегуляции, которая является результатом модуляции внутриклеточного сигнального пути, на который влияет взаимодействие факторов вирулентности пародонтопатогенных бактерий и рецепторов иммунных клеток [18].

ФАКТОРЫ ВИРУЛЕНТНОСТИ — КОЛОНИЗАЦИИ, ИНВАЗИИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Важные для развития патологического процесса вирулентные свойства возбудителя условно можно разделить на группы, обеспечивающие специфическое взаимодействие с клетками макроорганизма и их колонизацию, способность уклоняться от защитных реакций иммунной системы организма и нарушающих целостность и функции клеток макроорганизма (см. таблицу). Роль микробного адгезина у *P. gingivalis* выполняет капсула, участвующая в колонизации твердых тканей зуба и слизистой оболочки полости рта [19]. По химическому составу углеводов выделяют 6 серотипов капсулных антигенов, разнообразие которых увеличивает выживаемость бактерий в фагоцитах и в конечном итоге провоцирует продолжительный воспалительный ответ. Вместе с этим инкапсулированные штаммы обладают менее эффективной инвазией в фибробласты десны по сравнению с некапсулированными штаммами [20], что может влиять на разрушение тканей пародонта и затруднять эрадикацию бактерий из очага поражения. Капсула *P. gingivalis* также участвует в коагрегации с другими пародонтопатогенами, например с *Fusobacterium nucleatum*, существенно усиливая вирулентность фузобактерий, отсутствующую у данного вида бактерий при моноинфекции [21]. Синтез капсуларного полисахарида биологический вид *P. gingivalis* регулирует согласованно

Факторы вирулентности *Porphyromonas gingivalis* и *Tannerella forsythia* Virulence factors of *Porphyromonas gingivalis* and *Tannerella forsythia*

Группа факторов вирулентности	<i>Porphyromonas gingivalis</i>	<i>Tannerella forsythia</i>
Факторы колонизации, инвазии и распространения	Капсула, фимбриллины FimA и Mfa1, пориновый белок OmpA, секрецируемые белок InlJ, трипсиноподобные протеиназы (prtH)	Секретируемые белки BSPA, гликопротеины поверхностного (S-) слоя
Иммунопротекторы	Гингипаины (сериновые протеиназы), липополисахарид (ЛПС), протеазы	Протеазы
Нарушение гомеостаза	Трипсиноподобные протеиназы (prtH), фимбриллин FimA, фимбриллин Mfa1	Трипсиноподобные протеиназы (prtH), секрецируемый белок BspA, гликозиды, ЛПС

с синтезом других поверхностных структур, моделируя взаимодействие бактерий с другими клетками и поверхностями. Отсутствие капсулного полисахарида резко изменяет гидрофильную поверхность бактерий на гидрофобную и, как следствие, приводит к усилению аутоагрегации клеток, предотвращая образование и прикрепление биопленки *in vitro* [22].

Внешняя мембрана бактериальной клетки порфиромонад содержит два типа фимбрий, обеспечивающих адгезию к широкому спектру молекул ротовой полости, включая белки внеклеточного матрикса, эпителиальные клетки и комменсальные бактерии ротовой полости рода *Streptococcus* [23]. Фимбриллин FimA в составе фимбрий участвует в начальной инвазии остеобластов *P. gingivalis*, но не является существенным для последующего ингибирования дифференцировки и минерализации остеобластов. Наряду с фибрillinом FimA в формировании биопленок, аутоагрегации, коагрегации с бактериями полости рта и адгезии бактерий к молекулам хозяина принимают участие фимбрии Mfa1 *P. gingivalis*, детальное изучение структуры которых и механизмы участия в вирулентности порфиромонад еще предстоит изучить [24].

Важным фактором агрегации *P. gingivalis* на поверхности клетки, приводящим к снижению плотности альвеолярной кости, является семейство пориновых белков внешней мембраны микробной клетки. Белок A (OmpA) является ключевым наружным мембранным белком, обнаруженным у грамотрицательных бактерий, который участвует в нескольких важных процессах вирулентности бактерий, определяющих взаимодействие с клетками. В частности, в условиях эксперимента показана роль белка OmpA2 *P. gingivalis* в адгезии и инвазии оральных эпителиальных клеток-хозяев и в формировании биопленок на их поверхности [25].

Являясь консервативными молекулами, в отличие от подобных белков у прокариотов других семейств, OmpALP защищают поверхность бактериальных клеток от бактерицидного воздействия компонентов сыворотки, распознавания и элиминации врожденным иммунитетом, обеспечивая порфиромонадам эффективную колонизацию жидкости десневых бороздок и поддесневой среды, в которых присутствует сыворотка [26].

В адгезии и инвазии также участвуют разнообразные белки суперсемейства секретируемых белков *Bacteroides* surface proteinA (BspA; современное название рода *Tannerella* spp.), отличающихся последовательностью аминокислот в зависимости от локализации клеток-продуцентов. Ассоциированный с клеточной поверхностью белок обладает не только иммуногенностью, но и опосредует связывание бактерий с компонентами внеклеточного матрикса, фибронектином и фибронектином — факторами свертывания крови, что может быть также важно для колонизации полости рта этими бактериями [27]. В экспериментальных исследованиях на мышах подтверждена роль секретируемого белка InlJ *P. gingivalis* в регуляции и накоплении биопленок. Мутантные клетки бактерий с дефицитом белка InlJ

демонстрировали снижение развития моновидовой биопленки, но усиление образования гетеротипической биопленки с участием других видов бактерий [28].

Взаимодействию с эпителиальными клетками десны и проникновению в них способствуют высокомолекулярные гликопротеины поверхностного (S-) слоя *T. forsythia*. Определение количества жизнеспособных клеток мутантов с делецией гена S-слоя для количественного анализа адгезии подтвердило, что прикрепление физиций к эпителиальным клеткам десны снижается значительно, когда любой из белков S-слоя удаляется, что также подтверждает важную роль белков S-слоя *T. forsythia* в вирулентности на ранней стадии инфекций полости рта, включая заболевания пародонта [29]. Гликаны S-слоя также выполняют функцию лигандов для лектиноподобных рецепторов у других видов коагgregационных бактерий ротовой полости, что способствует образованию биопленок, состоящих из разных видов бактерий [30].

ФАКТОРЫ ВИРУЛЕНТНОСТИ — ИММУНОПРОТЕКТОРЫ

Поверхностные структуры порфиромонад, являясь иммунореактивными антигенами, участвуют в большинстве специфических процессов распознавания бактерий иммуноцитами и клетками макрофагальной системы. К важным иммунопротекторам порфиромонад, расщепляющим антибактериальные пептиды нейтрофилов, таких как α -дефензины, факторы комплемента C3 и C4, рецепторы CD4- и CD8T-клеток, относят сериновые протеазы или гингипаины [31]. Гингипаины *P. gingivalis* активно манипулируют рецепторами клеток врожденного иммунитета, блокируя аутофагический клиренс бактерий и апоптических клеток. Препятствуя перекрестной связи рецептора анафилатоксина C5a и Toll-подобного рецептора эпителиальных клеток десны, сериновые протеазы блокируют удаление бактериальных клеток из очага инфекции. 85% внеклеточной протеолитической способности *P. gingivalis* приходится на гингипаины, обеспечивая ее способностью к разрушению тканей и модуляции экспрессии цитокинов и иммуноглобулинов [32, 33].

Одним из механизмов участия липополисахарида (ЛПС) *P. gingivalis* в воспалительном процессе является способность порфиромонад синтезировать гетерогенную популяцию молекул липида A, некоторые из них способны блокировать активность факторов врожденного иммунитета, направленных на уничтожение или удаление бактерий [34]. Способность липидного компонента ЛПС к изменению химического строения способствует постоянной персистенции *P. gingivalis* на слизистой, не контролируемой воспалительным процессом, так как ЛПС порфиромонад подавляется уровень экспрессии клеточных Toll-подобных рецепторов 2-го и 4-го типов [35], необходимых для реализации механизмов врожденного иммунитета в эффективной элиминации патогенов. ЛПС *P. gingivalis* вызывает «хемокиновый

паралич» — феномен, в результате которого у бактерий формируется устойчивость к «окислительному взрыву» в фаголизосомах, нейтрофилы начинают синтезировать не только провоспалительные цитокины, но и их ингибиторы, что способствует увеличению количества порфиromонад в десневом кармане [36].

Существенный вклад в вирулентность *T. forsythia*, ассоциированную с устойчивостью возбудителей к действию иммунной системы макроорганизма, вносят протеолитические ферменты. Протеазы *T. forsythia* обеспечивают высокую устойчивость микроорганизмов к гуморальным и клеточным механизмам врожденного и адаптивного иммунитета, участвуя в инактивации катионных антимикробных пептидов, расщеплении цитокинов, факторов комплемента и иммуноглобулинов [37]. Функции иммунных клеток также могут быть отключены или снижены за счет протеолитической модификации или разрушения специфических рецепторов на их поверхности. Механизм отключения и уничтожения фагоцитов крови с помощью цистеиновой протеазы *P. gingivalis* приводит к тому, что нейтрофилы приобретают признаки клеточной гибели и становятся объектами обширного, невоспалительного клиренса макрофагами [38].

ФАКТОРЫ ВИРУЛЕНТНОСТИ, НАРУШАЮЩИЕ ГОМЕОСТАЗ

Штаммы *P. gingivalis* produцируют разнообразный спектр факторов вирулентности, прямо и косвенно инициирующих воспалительную реакцию, повреждающую ткань пародонта. Основными ферментами, ассоциированными с нарушением гомеостаза, являются цистеиновые протеиназы, что связано с необходимостью пародонтопатогенных бактерий, в частности порфиromонад, выживать в глубоком пародонтальном кармане, где доступность моно- и дисахаридов низкая [39].

Существуют два различных семейства цистеиновых протеиназ с трипсиноподобной активностью, produцируемых пародонтопатогенными бактериями, катализическая активность которых разрушает белки внеклеточного матрикса и обеспечивает проникновение возбудителей в пространство между эпителиальными клетками и собственной пластинкой слизистой оболочки полости рта [40].

Внеклеточная протеолитическая активность форзиций в очаге инфекции на 85% обеспечивается трипсиноподобными протеазами (prtH) [41], являющимися ключевыми факторами вирулентности с прямым деструктивным действием на ткани при пародоните. Протеиназы участвуют в деградации белков хозяина, обеспечивая пародонтопатогенные бактерии незаменимыми аминокислотами и пептидами, способствуя их росту. PrtH, идентифицированные как фактор отслоения, способны вызывать отслоение прилипших клеток от субстрата, активировать процессы окисления в клеточных мембранах митохондрий, что приводит к продукции провоспалительных цитокинов отслоившимися

клетками [42]. Участие prtH *P. gingivalis* в распаде десневого эпителия и индукции маркера хронического воспаления IL-8 отделившимися клетками играет существенную роль в патогенезе пародонита [43].

Увеличение уровня экспрессии цистеиновой протеиназы *T. forsythia* сопровождается не только нарушением целостности тканей пародонта в течение 5-летнего периода наблюдения, но и способствует изменению симбиоза форзиций с клетками организма от комменсального до паразитического [44].

Еще одной разновидностью секретируемого протеолитического многофункционального фермента *T. forsythia*, необходимого для взаимодействия с различными клетками-хозяевами, в частности инвазии и деструкции эпителиальных клеток является секретируемый белок BSPA [45], роль которого в нарушении целостности эпителиальных клеток десны в настоящее время изучена недостаточно.

Кроме факторов вирулентности, мишенью действия которых являются клетки и их структурные компоненты, к группе факторов, нарушающих гомеостаз, относят ферменты, способные существенно увеличивать концентрацию токсических веществ в слюне, ротовой жидкости, десневой борозде и ткани пародонта. В присутствии *in vitro* большого количества глюкозы гликозиды, синтезируемые *T. forsythia* в фазу активного роста, приводят к накоплению высоких концентраций высокотоксичного метилглиоксала, что в пораженном пародонтальном кармане может значительно влиять на патогенез заболевания [46]. Данный электрофил с высокой реакционной активностью по отношению к аминокислотным остаткам, способен модифицировать воспалительные механизмы, контролирующие качество белков макроорганизма и помогающие клеткам справиться с клеточным стрессом, восстановить свои функции и, как результат, гомеостаз внутренней среды организма [47].

Важным фактором вирулентности порфиromонад, нарушающим целостность и функциональную активность клеток тканей пародонта, является ЛПС в составе внешней мембраны бактерий. Биологически активная область ЛПС *P. gingivalis* активирует синтез провоспалительных цитокинов макрофагами, ингибирует дифференцировку и минерализацию остеобластов в стволовых клетках периодонтальной связки, участвующих в регенерации тканей пародонта, нарушая процесс ремоделирования костей [48]. Вместе с этим другие исследования подтверждают зависимость реакции стволовых клеток в эксперименте с индуцированным заболеванием пародонта от вида бактерий. Стволовые клетки, инфицированные *T. forsythia*, несмотря на снижение активности врожденного иммунного ответа, сохраняют функциональность и потенциал архетипической дифференцировки [49].

Патогенный потенциал микроорганизмов пародонта является результатом сложных физических и химических сигналов, которые имеют функциональную специализацию и синтезируются микроорганизмами,

распознаваемыми в патогенезе как ключевые или вспомогательные. Объективными причинами в определении значимых в патогенезе заболеваний пародонта факторов вирулентности являются не только присутствие порфиromонад и форзиций в ткани здорового пародонта, но и зависимость синтеза и степени экспрессии адгезии и инвазии *T. forsythia* от присутствия *P. gingivalis* [50]. Более того, функциональные категории, связанные с моделью «полимикробной синергии и дисбиоза», в которой выделяют «дополнительные патогены», «ключевые патогены» и «патобионты», не являются неизменными свойствами конкретных видов или штаммов бактерий, а скорее относятся к характеристикам микробных сообществ, в которых одни и те же бактерии могут выступать в качестве гомеостатических комменсалов в одном контексте и в качестве дополнительных патогенов в другом [51].

В перспективе есть ожидания, что предотвратить или замедлить не только прогрессирование заболевания тканей пародонта у взрослых, но и лечить системные заболевания, связанные с пародонтитом, можно будет путем ингибирования активности ключевых факторов вирулентности, ответственных за большую часть бактериальной протеолитической активности [52, 53].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

T. forsythia и *P. gingivalis*, как и многие другие виды условно-патогенных микроорганизмов, продают различный спектр факторов вирулентности, как секрецииемых, так и ассоциированных с клеточными структурами бактерий. Важным аспектом в определении основных вирулентных свойств пародонтопатогенов является неоднозначное биологическое действие одного и того же фактора вирулентности в патогенезе развития воспалительной реакции. Например, наличие капсулы у порфиromонад, с одной стороны, увеличивает колонизационную активность возбудителя по отношению к слизистой оболочки пародонта, с другой стороны,

снижает способность инкапсулированных бактерий к инвазии в клетки-мишени и к поглощению фагоцитами.

Большинство современных терапевтических методов лечения инфекционных патологий пародонта направлены на уничтожение патогенов в пародонтальном кармане. Несмотря на неопровергимые доказательства участия многих факторов вирулентности *P. gingivalis* и *T. forsythia* в развитии патогенеза заболеваний пародонта, структура, механизмы действия и роль некоторых из них в болезнестворных свойствах пародонтопатогенов остаются малоизученными. Некоторые факторы вирулентности представлены ограниченным спектром синтезируемых продуктов метаболизма, например, протеазы *T. forsythia*, участвующие в защите возбудителя от иммунных реакций организма.

Проведенный анализ вирулентных свойств двух видов пародонтопатогенных бактерий показал, что сериновые протеиназы могут рассматриваться в качестве ключевых факторов вирулентности и терапевтических мишеней в разработке структурно-ориентированных лекарств. Данные белки синтезируются и *P. gingivalis* и *T. forsythia*, а сериновые протеиназы *P. gingivalis* участвуют в развитии всех стадий патогенеза заболеваний тканей пародонта, включающих колонизацию, инвазию, распространение возбудителя, а также модуляцию иммунного ответа организма и нарушение гомеостаза.

Изучение роли различных факторов вирулентности пародонтопатогенных бактерий, их влияния на межбактериальные взаимодействия и развитие заболеваний пародонта должно быть продолжено для разработки новых стратегий лечения пародонтита и пародонтоза.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 09.12.2024 **Принята в печать:** 21.02.2025

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 09.12.2024

Accepted: 21.02.2025

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

- Исмагилов О.Р., Шулаев А.В., Старцева Е.Ю., Ахметова Г.М., Березин К.А. Стоматологическая заболеваемость детей школьного возраста. — Проблемы стоматологии. — 2019; 4: 140—148. [Ismagilov O., Shulaev A., Statseva E., Ahmetova G., Berezin K. Dental morbidity of school children. — Actual Problems in Dentistry. — 2019; 4: 140—148 (In Russian)]. [eLibrary ID: 42364569](#)
- Тарасова Ю.Г., Дмитракова Н.Р. Эпидемиология заболеваний пародонта в различных населенных пунктах Удмуртской республики. — В: сб. тр. конф. «Актуальные вопросы стоматологии». — Казань: Казанский ГМУ, 2021. — С. 136—141. [Tarasova Yu.G., Dmitrakova N.R. Epidemiology of periodontal diseases in different settlements in the Udmurt Republic of Russian Federation. — In: proceedings of the “Topical issues in dentistry” conference. — Kazan: Kazan State Medical University, 2021. — Pp. 136—141 (In Russian)]. [eLibrary ID: 45687205](#)
- Eke P.I., Wei L., Thornton-Evans G.O., Borrell L.N., Borgnakke W.S., Dye B., Genco R.J. Risk indicators for periodontitis in US adults: NHANES 2009 to 2012. — *J Periodontol.* — 2016; 87 (10): 1174—85. [PMID: 27367420](#)
- Dahlen G., Basic A., Bylund J. Importance of virulence factors for the persistence of oral bacteria in the inflamed gingival crevice and in the pathogenesis of periodontal disease. — *J Clin Med.* — 2019; 8 (9): 1339. [PMID: 31470579](#)
- Nowicki E.M., Shroff R., Singleton J.A., Renaud D.E., Wallace D., Drury J., Zirnheld J., Colletti B., Ellington A.D., Lamont R.J., Scott D.A., Whiteley M. Microbiota and metatranscriptome changes accompanying the onset of gingivitis. — *mBio.* — 2018; 9 (2): e00575—18. [PMID: 29666288](#)

6. Hiranmayi K.V., Sirisha K., Ramoji Rao M.V., Sudhakar P. Novel pathogens in periodontal microbiology. — *J Pharm Bioallied Sci.* — 2017; 9 (3): 155—163. [PMID: 28979069](#)
7. Гимранова И.А., Хакимова Л.Р., Акмалова Г.М., Газизуллина Г.Р. Современные методы диагностики заболеваний пародонта: возможности и перспективы (обзор литературы). — *Клиническая лабораторная диагностика.* — 2023; 9: 570—577. [Gimranova I.A., Khakimova L.R., Akmalova G.M., Gazizulina G.R. Modern methods of diagnosis of periodontal diseases: opportunities and prospects (review of literature). — *Russian Clinical Laboratory Diagnostics.* — 2023; 9: 570—577 (In Russian)]. [eLibrary ID: 54394051](#)
8. Jia L., Han N., Du J., Guo L., Luo Z., Liu Y. Pathogenesis of important virulence factors of *Porphyromonas gingivalis* via toll-like receptors. — *Front Cell Infect Microbiol.* — 2019; 9: 262. [PMID: 31380305](#)
9. Царев В.Н., Николаева Е.Н., Ипполитов Е.В. Пародонтопатогенные бактерии — основной фактор возникновения и развития пародонтита. — *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии.* — 2017; 5: 101—112. [Tsarev V.N., Nikolaeva E.N., Ippolitov E.V. Periodontopathogenic bacteria of the main factors of emergence and development of periodontitis. — *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology.* — 2017; 5: 101—112 (In Russian)]. [eLibrary ID: 32628890](#)
10. Pérez-Chaparro P.J., Gonçalves C., Figueiredo L.C., Faveri M., Lobão E., Tamashiro N., Duarte P., Feres M. Newly identified pathogens associated with periodontitis: a systematic review. — *J Dent Res.* — 2014; 93 (9): 846—58. [PMID: 25074492](#)
11. Bao K., Belibasakis G.N., Thurnheer T., Aduse-Opoku J., Curtis M.A., Bostancı N. Role of *Porphyromonas gingivalis* gingipains in multi-species biofilm formation. — *BMC Microbiol.* — 2014; 14: 258. [PMID: 25270662](#)
12. Mohanty R., Asopa S.J., Joseph M.D., Singh B., Rajguru J.P., Saidath K., Sharma U. Red complex: Polymicrobial conglomerate in oral flora: A review. — *J Family Med Prim Care.* — 2019; 8 (11): 3480—3486. [PMID: 31803640](#)
13. Закиров Т.В., Ворошилина Е.С., Брусицына Е.В., Иощенко Е.С., Канторович А.Я., Савченко Г.Д. Диагностика основных пародонтопатогенных бактерий при гингивите у детей в период раннего смешного прикуса. — *Уральский медицинский журнал.* — 2019; 1 (169): 19—23. [Zakirov T.V., Voroshilina E.S., Brusnitsyna E.V., Ioshchenko E.S., Kantorovich A.Y., Savchenko G.D. Diagnostics of the main periodontopathogenic bacteria in gingivitis in children in the period of early mixed dentition. — *Ural Medical Journal.* — 2019; 1 (169): 19—23 (In Russian)]. [eLibrary ID: 39538811](#)
14. Rajakaruna G.A., Negi M., Uchida K., Sekine M., Furukawa A., Ito T., Kobayashi D., Suzuki Y., Akashi T., Umeda M., Meinzer W., Izumi Y., Eishi Y. Localization and density of *Porphyromonas gingivalis* and *Tannerella forsythia* in gingival and subgingival granulation tissues affected by chronic or aggressive periodontitis. — *Sci Rep.* — 2018; 8 (1): 9507. [PMID: 29934515](#)
15. Hajishengallis G. Periodontitis: from microbial immune subversion to systemic inflammation. — *Nat Rev Immunol.* — 2015; 15 (1): 30—44. [PMID: 25534621](#)
16. Naginty M., Do T., Meade J., Devine D.A., Marsh P.D. Enrichment of periodontal pathogens from the biofilms of healthy adults. — *Sci Rep.* — 2019; 9 (1): 5491. [PMID: 30940882](#)
17. Thanetchaloempong W., Koontongkaew S., Utispan K. Fixed orthodontic treatment increases cariogenicity and virulence gene expression in dental biofilm. — *J Clin Med.* — 2022; 11 (19): 5860. [PMID: 36233727](#)
18. Shahoumi L.A., Saleh M.H.A., Meghil M.M. Virulence factors of the periodontal pathogens: Tools to evade the host immune response and promote carcinogenesis. — *Microorganisms.* — 2023; 11 (1): 115. [PMID: 36677408](#)
19. Li C., Yu R., Ding Y. Association between *Porphyromonas gingivalis* and systemic diseases: Focus on T cells-mediated adaptive immunity. — *Front Cell Infect Microbiol.* — 2022; 12: 1026457. [PMID: 36467726](#)
20. Irshad M., van der Reijden W.A., Crielaard W., Laine M.L. In vitro invasion and survival of *Porphyromonas gingivalis* in gingival fibroblasts; role of the capsule. — *Arch Immunol Ther Exp (Warsz).* — 2012; 60 (6): 469—76. [PMID: 22949096](#)
21. Polak D., Ferdinand O., Houri-Haddad Y. *Porphyromonas gingivalis* capsule-mediated coaggregation as a virulence factor in mixed infection with *Fusobacterium nucleatum*. — *J Periodontol.* — 2017; 88 (5): 502—510. [PMID: 27885964](#)
22. Davey M.E., Duncan M.J. Enhanced biofilm formation and loss of capsule synthesis: deletion of a putative glycosyltransferase in *Porphyromonas gingivalis*. — *J Bacteriol.* — 2006; 188 (15): 5510—23. [PMID: 16855241](#)
23. Roky M., Trent J.O., Demuth D.R. Identification of functional domains of the minor fimbrial antigen involved in the interaction of *Porphyromonas gingivalis* with oral streptococci. — *Mol Oral Microbiol.* — 2020; 35 (2): 66—77. [PMID: 31994329](#)
24. Hasegawa Y., Nagano K. *Porphyromonas gingivalis* FimA and Mfa1 fimbriae: Current insights on localization, function, biogenesis, and genotype. — *Jpn Dent Sci Rev.* — 2021; 57: 190—200. [PMID: 34691295](#)
25. Naylor K.L., Widziolek M., Hunt S., Conolly M., Hicks M., Stafford P., Potempa J., Murdoch C., Douglas C.W., Stafford G.P. Role of OmpA2 surface regions of *Porphyromonas gingivalis* in host-pathogen interactions with oral epithelial cells. — *Microbiologyopen.* — 2017; 6 (1): e00401. [PMID: 27595778](#)
26. Inomata M., Horie T., Into T. OmpA-like proteins of *Porphyromonas gingivalis* contribute to serum resistance and prevent Toll-like receptor 4-mediated host cell activation. — *PLoS One.* — 2018; 13 (8): e0202791. [PMID: 30153274](#)
27. Sharma A. Virulence mechanisms of *Tannerella forsythia*. — *Periodontol 2000.* — 2010; 54 (1): 106—16. [PMID: 20712636](#)
28. Capestanay C.A., Kuboniwa M., Jung I.Y., Park Y., Tribble G.D., Lamont R.J. Role of the *Porphyromonas gingivalis* InlJ protein in homotypic and heterotypic biofilm development. — *Infect Immun.* — 2006; 74 (5): 3002—5. [PMID: 16622239](#)
29. Sakakibara J., Nagano K., Murakami Y., Higuchi N., Nakamura H., Shimozato K., Yoshimura F. Loss of adherence ability to human gingival epithelial cells in S-layer protein-deficient mutants of *Tannerella forsythensis*. — *Microbiology (Reading).* — 2007; 153 (Pt 3): 866—876. [PMID: 17322207](#)
30. Sharma A., Inagaki S., Sigurdson W., Kuramitsu H.K. Synergy between *Tannerella forsythia* and *Fusobacterium nucleatum* in biofilm formation. — *Oral Microbiol Immunol.* — 2005; 20 (1): 39—42. [PMID: 15612944](#)

31. Bostanci N., Belibasakis G.N. *Porphyromonas gingivalis*: an invasive and evasive opportunistic oral pathogen. — *FEMS Microbiol Lett.* — 2012; 333 (1): 1—9. [PMID: 22530835](#)
32. Castro S.A., Collighan R., Lambert P.A., Dias I.H., Chauhan P., Bland C.E., Milic I., Milward M.R., Cooper P.R., Devitt A. *Porphyromonas gingivalis* gingipains cause defective macrophage migration towards apoptotic cells and inhibit phagocytosis of primary apoptotic neutrophils. — *Cell Death Dis.* — 2017; 8 (3): e2644. [PMID: 28252646](#)
33. Zhang J., Xie M., Huang X., Chen G., Yin Y., Lu X., Feng G., Yu R., Chen L. The effects of *Porphyromonas gingivalis* on atherosclerosis-related cells. — *Front Immunol.* — 2021; 12: 766560. [PMID: 35003080](#)
34. Jain S., Darveau R.P. Contribution of *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharide to periodontitis. — *Periodontol 2000.* — 2010; 54 (1): 53—70. [PMID: 20712633](#)
35. Andrukhover O., Ertlschweiger S., Moritz A., Bantleon H.P., Rausch-Fan X. Different effects of *P. gingivalis* LPS and *E. coli* LPS on the expression of interleukin-6 in human gingival fibroblasts. — *Acta Odontol Scand.* — 2014; 72 (5): 337—45. [PMID: 24255960](#)
36. Sochalska M., Potempa J. Manipulation of neutrophils by *Porphyromonas gingivalis* in the development of periodontitis. — *Front Cell Infect Microbiol.* — 2017; 7: 197. [PMID: 28589098](#)
37. Schäffer C., Andrukhover O. The intriguing strategies of *Tannerella forsythia*'s host interaction. — *Front Oral Health.* — 2024; 5: 1434217. [PMID: 38872984](#)
38. Guzik K., Bzowska M., Smagur J., Krupa O., Sieprawska M., Travis J., Potempa J. A new insight into phagocytosis of apoptotic cells: proteolytic enzymes divert the recognition and clearance of polymorphonuclear leukocytes by macrophages. — *Cell Death Differ.* — 2007; 14 (1): 171—82. [PMID: 16628232](#)
39. de Diego I., Veillard F., Sztukowska M.N., Guevara T., Potempa B., Pomowski A., Huntington J.A., Potempa J., Gomis-Rüth F.X. Structure and mechanism of cysteine peptidase gingipain K (Kgp), a major virulence factor of *Porphyromonas gingivalis* in periodontitis. — *J Biol Chem.* — 2014; 289 (46): 32291—32302. [PMID: 25266723](#)
40. Potempa J., Pike R., Travis J. The multiple forms of trypsin-like activity present in various strains of *Porphyromonas gingivalis* are due to the presence of either Arg-gingipain or Lys-gingipain. — *Infect Immun.* — 1995; 63 (4): 1176—82. [PMID: 7890369](#)
41. Potempa J., Pike R., Travis J. Titration and mapping of the active site of cysteine proteinases from *Porphyromonas gingivalis* (gingipains) using peptidyl chloromethanes. — *Biol Chem.* — 1997; 378 (3—4): 223—30. [PMID: 9165075](#)
42. Tomi N., Fukuyo Y., Arakawa S., Nakajima T. Pro-inflammatory cytokine production from normal human fibroblasts is induced by *Tannerella forsythia* detaching factor. — *J Periodontal Res.* — 2008; 43 (2): 136—42. [PMID: 18302614](#)
43. Oido-Mori M., Rezzonico R., Wang P.L., Kowashi Y., Dayer J.M., Baehni P.C., Chizzolini C. *Porphyromonas gingivalis* gingipain-R enhances interleukin-8 but decreases gamma interferon-inducible protein 10 production by human gingival fibroblasts in response to T-cell contact. — *Infect Immun.* — 2001; 69 (7): 4493—501. [PMID: 11401991](#)
44. Hamlet S.M., Ganashan N., Cullinan M.P., Westerman B., Palmer J.E., Seymour G.J. A 5-year longitudinal study of *Tannerella forsythia* prtH genotype: association with loss of attachment. — *J Periodontol.* — 2008; 79 (1): 144—9. [PMID: 18166104](#)
45. Inagaki S., Onishi S., Kuramitsu H.K., Sharma A. *Porphyromonas gingivalis* vesicles enhance attachment, and the leucine-rich repeat BspA protein is required for invasion of epithelial cells by *Tannerella forsythia*. — *Infect Immun.* — 2006; 74 (9): 5023—8. [PMID: 16926393](#)
46. Maiden M.F., Pham C., Kashket S. Glucose toxicity effect and accumulation of methylglyoxal by the periodontal anaerobe *Bacteroides forsythus*. — *Anaerobe.* — 2004; 10 (1): 27—32. [PMID: 16701497](#)
47. Settem R.P., Honma K., Shankar M., Li M., LaMonte M., Xu D., Genco R.J., Browne R.W., Sharma A. *Tannerella forsythia*-produced methylglyoxal causes accumulation of advanced glycation end-products to trigger cytokine secretion in human monocytes. — *Mol Oral Microbiol.* — 2018; 33 (4): 292—299. [PMID: 29573211](#)
48. Kato H., Taguchi Y., Tominaga K., Umeda M., Tanaka A. *Porphyromonas gingivalis* LPS inhibits osteoblastic differentiation and promotes pro-inflammatory cytokine production in human periodontal ligament stem cells. — *Arch Oral Biol.* — 2014; 59 (2): 167—75. [PMID: 24370188](#)
49. Hieke C., Kriebel K., Engelmann R., Müller-Hilke B., Lang H., Kreikemeyer B. Human dental stem cells suppress PMN activity after infection with the periodontopathogens *Prevotella intermedia* and *Tannerella forsythia*. — *Sci Rep.* — 2016; 6: 39096. [PMID: 27974831](#)
50. Takemoto T., Kurihara H., Dahlen G. Characterization of *Bacteroides forsythus* isolates. — *J Clin Microbiol.* — 1997; 35 (6): 1378—81. [PMID: 9163447](#)
51. Hajishengallis G., Lamont R.J. Polymicrobial communities in periodontal disease: Their quasi-organismal nature and dialogue with the host. — *Periodontol 2000.* — 2021; 86 (1): 210—230. [PMID: 33690950](#)
52. Olsen I., Potempa J. Strategies for the inhibition of gingipains for the potential treatment of periodontitis and associated systemic diseases. — *J Oral Microbiol.* — 2014; 6: 6. [PMID: 25206939](#)
53. Jung Y.J., Jun H.K., Choi B.K. Gingipain-dependent augmentation by *Porphyromonas gingivalis* of phagocytosis of *Tannerella forsythia*. — *Mol Oral Microbiol.* — 2016; 31 (6): 457—471. [PMID: 26434368](#)

И.А. Гимранова¹,

к.м.н., доцент, зав. кафедрой
фундаментальной и прикладной
микробиологии

В.А. Гриценко²,

д.м.н., профессор, главный научный
сотрудник Института клеточного
и внутриклеточного симбиоза

И.М. Рабинович³,

д.м.н., профессор, зав. отделом
терапевтической стоматологии

Г.М. Акмалова¹,

д.м.н., профессор кафедры стоматологии
детского возраста

Д.Ю. Швец¹,

ассистент кафедры фундаментальной
и прикладной микробиологии

¹ БашГМУ, 450008, Уфа, Россия

² Оренбургский федеральный
исследовательский центр УрО РАН,
460000, Оренбург, Россия

³ ЦНИИСиЧЛХ, 119021, Москва, Россия

Роль оральной микробиоты в этиологии, патогенезе пародонтита и в системной патологии

Аннотация. В настоящем обзоре представлен анализ современных данных о роли оральной микробиоты в этиологии и патогенезе пародонтита как широко распространенного заболевания, негативно влияющего на качество жизни человека и связанного с развитием системной патологии. Охарактеризованы особенности структуры микробиоты ротовой полости у здоровых людей и у лиц с пародонтитом, конкретизированы этиологически значимые при пародонтите микроорганизмы, относящиеся к видам *Porphyromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum* и *Tannerella forsythia*, также *Treponema denticola*, *Filifactor alocis*, *Prevotella intermedia*, *Campylobacter rectus*, *Peptostreptococcus micros* и роду *Spirochetes*. Обоснована роль *Porphyromonas gingivalis* как приоритетного возбудителя пародонтита, способного нарушать баланс в микробной экосистеме ротовой полости и вызывать инфекционный процесс. Обсужден вклад дисбиотических сдвигов оральной микробиоты в развитие локальных и системных патологических процессов. Систематизирована информация о механизмах проникновения бактерий в биопленку, ткани полости рта и дальнейшее распространение инфекционного процесса в организме. Представленные данные важны для обоснования новых возможных стратегий в диагностике, профилактике и лечении пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта.

Ключевые слова: микробиом полости рта, пародонтит, *Porphyromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum*, *Tannerella forsythia*

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гимранова И.А., Гриценко В.А., Рабинович И.М., Акмалова Г.М., Швец Д.Ю. Роль оральной микробиоты в этиологии, патогенезе пародонтита и в системной патологии. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 179—185. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_179

I.A. Gimranova¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor,
head of the Fundamental and applied
microbiology Department

V.A. Gritsenko²,

Doctor of Science in Medicine, professor, chief
researcher of the Institute for Cellular and
Intracellular Symbiosis

I.M. Rabinovich³,

Doctor of Science in Medicine, full professor
of the Therapeutic dentistry Department

G.M. Akmalova¹,

Doctor of Science in Medicine, professor
of the Pediatric dentistry Department

D.Yu. Shvets¹,

assistant at the Fundamental and applied
microbiology Department

¹ Bashkir State Medical University,
450008, Ufa, Russia

² Orenburg Federal Research
Center of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
460000, Orenburg, Russia

³ Central Research Institute of Dentistry
and Maxillofacial Surgery,
119021, Moscow, Russia

The role of oral microbiota in the etiology, pathogenesis of periodontitis and systemic pathology

Annotation. This review presents an analysis of modern data on the role of oral microbiota in the etiology and pathogenesis of periodontitis as a widespread disease that negatively affects the quality of human life and is associated with the development of systemic pathology. The peculiarities of the oral cavity microbiota structure in healthy people and persons with periodontitis are characterised, the microorganisms etiologically significant in periodontitis are specified, species *Porphyromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum* and *Tannerella forsythia*, as well as *Treponema denticola*, *Prevotella intermedia*, *Campylobacter rectus*, *Peptostreptococcus micros* and the genus *Spirochetes*. The most significant role is attributed to *Porphyromonas gingivalis*, which is able to disrupt the balance of microbial communities and cause an infectious process. In addition, *Porphyromonas gingivalis* interacts with other microorganisms that colonise the periodontal pocket in the early stages of the disease, which contributes to the progression of periodontitis and irreversible changes in the supporting and retaining tissues of the tooth and alveolar bone, resulting in tooth loss. The aim of the study was to systematise the literature data on the study of the mechanisms of bacterial penetration into biofilm, oral tissues and further spread of the infectious process in the body to substantiate new possible strategies in the diagnosis, prevention and treatment of patients with periodontal diseases.

Key words: oral microbiome, periodontitis, *Porphyromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum*, *Tannerella forsythia*

FOR CITATION:

Gimranova I.A., Gritsenko V.A., Rabinovich I.M., Akmalova G.M., Shvets D.Yu. The role of oral microbiota in the etiology, pathogenesis of periodontitis and systemic pathology. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 179—185 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_179

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания пародонта представляют собой актуальную проблему общественного здравоохранения, затрагивающую около 20–50% людей во всем мире, причем их число, по прогнозам, будет увеличиваться [1]. К наиболее важным и распространенным факторам риска развития данной патологии относятся нарушения гигиены полости рта и здорового образа жизни человека, например диета с низким содержанием витаминов С, D и ряда микроэлементов, таких как кальций, фосфаты и витамин K [2], курение [3], а также различные системные заболевания (остеопороз, атеросклероз, сахарный диабет и др.), которые могут способствовать возникновению и развитию заболеваний пародонта [4].

Одним из наиболее серьезных воспалительных заболеваний пародонта является пародонтит. Он характеризуется хроническим течением, склонностью к генерализации и прогрессированию патологического процесса, который приводит к разрушению структурных компонентов опорного аппарата зубов, их подвижности и в конечном счете потере. Хроническим генерализованным пародонтитом обычно страдают взрослые, однако тяжелая форма данного заболевания иногда встречается и в юношеском возрасте [5].

Следует отметить, что в этиологии и патогенезе пародонтита ключевая роль принадлежит микроорганизмам, прежде всего бактериям [6], и их взаимодействию с гуморальными и клеточными эффекторами иммунитета макроорганизма [7], об этом свидетельствуют результаты многочисленных исследований, посвященных указанной проблеме [8, 9]. Было доказано взаимодействие защитных механизмов хозяина с биопленкой, содержащей микроорганизмы, обусловливающие длительное воспаление. Эти патофизиологические изменения сохраняются до тех пор, пока не купируется воспаление посредством терапевтических вмешательств, например под действием антибиотиков, лазерной терапии, регенерации тканей и т.п. [10]. Примечательно, что инфекционный процесс при пародонтите вызывает воспалительную реакцию иммунной системы не только местного, но и системного характера в виде обострения других хронических заболеваний [9]. Например, у пациентов с пародонтитом повышается риск развития ожирения, ревматоидного артрита, когнитивных нарушений, заболеваний почек и сердечно-сосудистой системы [11]. Ввиду этого было высказано предположение, что пародонтит способствует попаданию патогенных бактерий в системный кровоток через поврежденный эпителий, выстилающий пародонтальные карманы. Также интенсивная воспалительная реакция на пародонтопатогены может вызвать системное воспаление и повреждение других органов [12]. Наличие пародонтита также является предиктором смертности, связанной с ишемической болезнью сердца и диабетической нефропатией. Было замечено, что смертность вследствие сердечной и почечной недостаточности выше у пациентов с тяжелым пародонтитом, чем в контрольной группе без пародонтита или с легкой степенью пародонтита [13]. Взаимосвязь пародонтита с системными заболеваниями

посвящено много работ, привлекающих внимание специалистов к вопросу не только предупреждения прогрессирования данной патологии, но и возможного контроля общего состояния здоровья пациента.

МИКРОБИОМ РОТОВОЙ ПОЛОСТИ ЗДОРОВОГО ЧЕЛОВЕКА

На сегодняшний день известно, что микробиом ротовой полости индивидуален, относительно стабилен и в норме состоит из представителей типов *Actinomycetota* (*Actinobacteria*), *Bacteroidota*, *Bacillota* (*Firmicutes*), *Fusobacteriota*, *Pseudomonadota* (*Proteobacteria*) и *Spirochaetota* [14]. Доминирующими родами бактерий являются *Streptococcus*, *Prevotella*, *Haemophilus*, *Rothia*, *Veillonella*, *Neisseria* и *Fusobacterium* [14, 15]. Микробиом полости рта включает более 600 видов, причем показано, что разные структуры и ткани (зубы, десневые бороздки, язык, щеки, твердое и мягкое нёбо, миндалины) колонизированы различными микробными сообществами [16, 17]. Обнаружено, что только менее половины видов бактерий, присутствующих в полости рта, можно культивировать с помощью аэробных и анаэробных микробиологических методов. В свою очередь культурально-независимые методы, основанные на секвенировании гена 16S рРНК, позволяют идентифицировать некультивируемые или трудно культивируемые виды микроорганизмов [18]. F.E. De-Whirst и соавт. с помощью культивирования и секвенирования гена 16S рРНК выявили 1179 таксонов, из них 24% были идентифицированы, 8% — культивированы, но не названы, а 68% — представлены некультивируемыми филогенетическими типами [14].

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОСТОЯНИЕ ОРАЛЬНОГО МИКРОБИОМА

На состав орального микробиома могут оказывать влияние два типа факторов: эндогенные (наследственная предрасположенность и беременность) и экзогенные (питание, курение, употребление алкоголя, социально-экономический статус, а также использование антимикробных препаратов [19]. Методом полногеномного поиска ассоциаций были обнаружены десятки одноклостидных замен в генах, связанных с иммунным ответом (IL10, IL6, IL4, IL8, IL17A) и рецепторами к витамину D (VDR), полиморфные варианты которых способствуют колонизации патогенных микроорганизмов в полости рта [20]. Так, обнаруженные полиморфизмы в гене IL10 (A/G rs1800896 и C/T rs1800871) способствуют повышению экспрессии гена в полости рта в ответ на действие внешних раздражителей. Нарушение иммунного ответа при этом приводит к разрушению альвеолярной кости, а в дальнейшем ведет к повышению роста пародонтопатогенных бактерий и изменению микробного состава [21].

В период беременности количество микроорганизмов в полости рта заметно повышается. Кроме того, обнаружено увеличение относительного количества бактерий, способствующих развитию пародонтита, в том числе *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*,

Porphyromonas gingivalis, *Streptococcus* spp., *Staphylococcus* spp. и грибы рода *Candida* [22]. Выявлена связь между изменением состава орального микробиома, воспалением десен и неблагоприятными исходами беременности — выкидышами, преждевременными родами и низкой массой плода [23].

При употреблении углеводов в большом количестве преимущества получают сахаролитические бактерии (родов *Actinomyces*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* и *Veillonella*), которые вытесняют другие виды, использующие альтернативные источники энергии [24]. Обнаружено, что виды *Tannerella forsythia*, *Streptococcus sobrinus*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus gordonii* и *Eikenella corrodens* сбраживают сахара до лактозы, которая разрушает зубную эмаль, что способствует развитию кариса [25]. Помимо этого, в результате расщепления сахара pH слюны снижается, что приводит к росту *S. mutans*, *P. gingivalis* и представителей рода *Lactobacillus*. На сегодняшний день, исследований, направленных на изучение влияния диеты с большим содержанием жиров на состав орального микробиома, проведено, сравнительно мало.

Изменению микробного состава и, как следствие, развитию стоматологических заболеваний способствует курение. Обнаружено, что у курильщиков количество симбиотических микроорганизмов снижается, а количество патогенных, напротив, увеличивается. Так, выявлено преобладание *Streptococcus sanguinis*, *Streptococcus parasanguinis*, *P. gingivalis*, *Fusobacterium nucleatum* и *Fusobacterium naviforme* [26]. Применение антимикробных препаратов оказывает существенное влияние на состав микробиома ротовой полости. Было выявлено, что прием амоксициллина и амоксициллина-клавуланата приводит к снижению численности *Rikenellaceae*, а прием амоксициллина и феноксиметилпенициллина — к снижению *Paludibacter* [27].

МИКРОБИОТА ПОЛОСТИ РТА ПРИ ПАРОДОНТИТЕ

Микробиота полости рта в норме стабильна благодаря синергетическим и антагонистическим взаимодействиям между микроорганизмами. Прогрессирование заболеваний пародонта во многом зависит от вида бактерий, участвующих в патогенезе [28]. Такие микроорганизмы S.S. Socransky и соавт. (1998) сгруппировали на несколько подклассов, на основе их патогенности и способности к колонизации в поддесневой области [29]. Было предложено разделение на бактериальные комплексы, связанные с тяжестью пародонтита, где все бактерии были разделены на 5 групп: желтый, зеленый, фиолетовый, оранжевый и красный. Выдвинуто предположение, что первоначально непатогенные бактерии, принадлежащие к желтому, зеленому и фиолетовому комплексам, инициируют образование биопленок [30]. Кроме того, эти виды микроорганизмов придают адгезивные свойства бактериям из оранжевого комплекса, что может привести к созданию благоприятных условий для роста таких бактерий, как *P. gingivalis*, *T. denticola* и *T. forsythia*, которые относятся к красному комплексу и вызывают пародонтит различной степени тяжести. В пародонтальных карманах также находят *A. actinomycetemcomitans*,

который отнесен к фиолетовому комплексу и связан с возникновением агрессивных форм воспаления пародонта, например, локализованный ювенильный пародонтит или рефрактерный пародонтит (резистентный к лечению пародонтит), которые имеют тенденцию к быстрому прогрессированию [31]. Другие комплексы имеют низкое или умеренное влияние на развитие пародонтита [29]. Среди многих других бактерий, участвующих в развитии заболевания, встречаются *P. intermedia*, *Filifactor alocis*, *Campylobacter rectus*, *Peptostreptococcus micros* и виды класса *Spirochetes* [32].

В России придерживаются классификации пародонтопатогенных бактерий, где они разделены на два порядка. К пародонтопатогенам I порядка отнесены бактерии *P. gingivalis*, *A. actinomycetemcomitans* и *T. forsythia*, которые способствуют быстрому прогрессированию заболевания, так как они обладают внутриклеточной формой жизни и содержатся в эпителии десен и тканях пародонта, а их факторы вирулентности приводят к разрушению тканей [33, 34]. К пародонтопатогенам II порядка относят *T. denticola*, *F. nucleatum*, *Streptococcus intermedius* и *P. intermedia* которые играют менее важную роль в процессе развития заболеваний пародонта. Однако они способны образовывать ассоциации с *P. gingivalis* и *T. forsythia*, что может привести к распространению воспаления в поддесневой области. При обнаружении у пациента только *P. intermedia* можно говорить о начале воспалительного процесса, в то время как ассоциации с другими патогенами свидетельствуют о прогрессировании заболевания [35, 36].

ДИСБИОЗ ОРАЛЬНОЙ МИКРОБИОТЫ КАК ФАКТОР, СПОСОБСТВУЮЩИЙ РАЗВИТИЮ ПАРОДОНТИТА И СИСТЕМНОЙ ПАТОЛОГИИ

Патогенное влияние микробиоты может проявиться в связи с ее избыточным накоплением в зубном налете и образованием патогенной биопленки или изменением ее состава. Способность микроорганизмов формировать сложные специфические биопленки на мягких и твердых тканях полости рта играют важную роль во взаимодействии микробиоты полости рта и организма человека [37]. Структурный анализ наддесневых бактериальных биопленок показал сложное структурное строение, где филаменты *Corynebacterium* spp. образуют структурную основу всей биопленки, на которой задерживается слюна. На поверхности биопленки стрептококки поглощают сахара, кислород и производят лактат, ацетат и CO_2 , создавая условия для факультативно-анаэробных бактерий в глубоких слоях биопленки. Кроме того, *Streptococcus* spp. синтезируют H_2O_2 для защиты консорциума биопленок от инфекций [38]. На нитевидных сосочках дорсальной части языка присутствуют биопленки, имеющие четкую архитектуру и содержащие нитратредуцирующие бактерии, такие как *Neisseria* spp. и *Rothia* spp. [39]. *P. gingivalis* играет решающую роль в поддержании структуры инфекционной биопленки путем увеличения воспалительных реакций организма хозяина и подавления его иммунной системы [40]. Кроме того, считается, что различные вирусные и грибковые

агенты также принимают активное участие в процессе развития агрессивного пародонтита [41].

Зубной налет над десной вокруг зуба вызывает воспалительную реакцию, увеличивая секрецию жидкости десневой борозды. Возникает дисбиоз полости рта, так как меняется состав микробиоты с грамположительных на облигатные анаэробные грамотрицательные бактерии. В последующем хроническое воспаление, образование поддесневых зубных отложений способствуют возникновению пародонтита, а дисбиотическое состояние еще больше усугубляет воспалительную среду и способствует разрушению костной ткани [42], при этом микробиота использует продукты распада тканей в качестве питательных веществ. При пародонтите происходят изменения на уровне структуры микроорганизмов. Например, увеличивается экспрессия генов, участвующих в энергетическом обмене, синтезе липополисахаридов и подвижности бактерий [43]. Дисбиоз ротовой полости, индуцированный *P. gingivalis*, провоцирует заболевание пародонта. Известно, что начало колонизации *P. gingivalis* может нарушить гомеостатический баланс нормальной микробиоты полости рта, что может привести к воспалению. Но в то же время большое значение имеет комменсальная микробиота полости рта и система комплемента организма, необходимые для индуцированной *P. gingivalis* потери костных тканей [44]. В некоторых исследованиях, показано, что у пациентов с пародонтитом в зубном налете одинаково встречаются бактерии рода *Actinomyces*, но в наддесневом налете обнаружен более высокий уровень бактерий родов *Actinomyces*, *Streptococcus*, *Capnocytophaga* и *Neisseria* в сравнении с поддесневой областью того же зуба. У пациентов с активным пародонтитом часто обнаруживаются *P. gingivalis* и *T. forsythia* [45]. Данные пародонтопатогены показали повышенную экспрессию генов, связанных с протеазами, пептидазами, транспортом железа, с аэротолерантностью и т.д. Кроме того, повышенную экспрессию факторов вирулентности показывают *Streptococcus spp.*, *Pseudomonas fluorescens* и *Veillonella parvula*, относящиеся к нормальной микробиоте полости рта [46].

У пациентов с хроническим пародонтитом наблюдается повышенная активность патогенов красного комплекса, таких как *P. intermedia*, *F. alocis*, *Fretibacterium fastidiosum* и *Selenomonas sputigena*. Также при этом часто встречаются простейшие *Entamoeba gingivalis* [47]. Кроме того, показано, что дисбиоз полости рта при пародонтите зависит и от самого штамма *P. gingivalis*. Например, на мышах генетической линии C57BL/6 при обработке вирулентным штаммом W83 вызывался дисбиоз, который вызывал пародонтит, в то время как TDC-60 вызывал только умеренное воспаление [48]. У здоровых людей наблюдалась более высокая распространенность бактерий родов *Neisseria*, *Rothia*, *Actinomyces*, *Veillonella* и *Corynebacterium*, а при хроническом пародонтите бактерии родов *Treponema*, *Eubacterium*, *Tannerella* и *Campylobacter* [49]. При этом перенос дисбиотического микробиома полости рта от больного животного к здоровому вызывало дисбиоз у последних [50]. Также *P. gingivalis* может проникать в мозг, что ведет к активации каскада комплемента, увеличению продукции бета-амилоидов,

усилению экспрессии провоспалительных цитокинов и вызывает нейровоспаление и нейродегенерацию [51]. Эти исследования показывают, что дисбиоз полости рта может иметь системные последствия, которые способствуют развитию аутоиммунных и нейродегенеративных заболеваний [52]. Следовательно, поддержание хорошей гигиены полости рта и своевременное лечение заболеваний пародонта необходимы при терапии некоторых системных заболеваний.

Следует отметить, что данные виды бактерий присутствуют и у здоровых людей в интактном пародонте, так как существует равновесие между макро- и микроорганизмом [53]. Например, штаммы серотипа с *A. actinomycetemcomitans* были выявлены у людей с экстраоральной инфекцией и у людей со здоровым пародонтом. В свою очередь, штаммы серотипа b продуцируют повышенное, по сравнению с другими серотипами, количество лейкотоксина — основного фактора вирулентности, ассоциированного с заболеваниями пародонта [54]. Кроме того, частота выявляемых серотипов *A. actinomycetemcomitans* отличается в различных популяциях [35]. Патогенные свойства пародонтопатогенных бактерий проявляются прямым токсическим воздействием, вызывающим воспаление и разрушение тканей пародонта, или опосредованно, когда микроорганизмы запускают комплекс иммунопатогенетических механизмов в ответ на их агрессию, что позволяет рассматриваться патогенный потенциал в качестве критерия для диагностики возбудителей пародонтита [53].

На сегодняшний день одной из проблем пародонтологии также является антибиотикорезистентность пародонтопатогенов. Было продемонстрировано, что *P. gingivalis*, *F. nucleatum*, *Prevotella melaninogenica* и *A. actinomycetemcomitans*, выделенные у пациентов с хроническим пародонтитом, могут быть устойчивы к противомикробным препаратам, обычно используемым в противоинфекционной терапии пародонтита [55]. В обзоре Isola G. (2020) эффективность антибиотикотерапии ставится под сомнение в отношении широкого применения антибиотиков для лечения и профилактики заболеваний полости рта ввиду риска развития устойчивости микроорганизмов, а также негативного влияния на микробиом ротовой полости [56]. Таким образом, существует необходимость проведения дальнейших исследований для этиологически обоснованной разработки эффективных средств воздействия на микробиоту.

***P. gingivalis* КАК КЛЮЧЕВОЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ ПАРОДОНТИТА**

P. gingivalis относится к анаэробным грамотрицательным бактериям, способным секретировать факторы вирулентности и внеклеточные протеазы, которые разрушают комплекс тканей, удерживающих зуб в альвеоле, являясь основным этиологическим фактором возникновения и прогрессирования пародонтита. Следует отметить, что, по данным разных исследователей, *P. gingivalis* обнаруживается у 6—25% здоровых людей без признаков воспаления пародонта, причем для корректности исследования особенно важен подбор групп по возрасту [34, 37].

Факторы вирулентности *P. gingivalis* способствуют образованию биопленок, колонизации поверхностей, а также ассоциаций с другими бактериальными сообществами, что вызывает воспаление ближайших тканей [57]. Есть работы показывающие, что фимбрии *P. gingivalis* могут взаимодействовать с фибриногеном, гемоглобином и другими компонентами ротовой жидкости человека, что способствует их адгезии к тканям и клеткам в полости рта и усиливает их патогенность [12]. Например, прикрепление *P. gingivalis* к фибробластам человека увеличивалось до 10 раз в присутствии *F. nucleatum*, то есть создаются благоприятные условия для роста и патогенного воздействия *P. gingivalis* [58]. Совместное присутствие *F. nucleatum* и других штаммов *Porphyromonas spp.* также способствует агрегации этих штаммов и формированию бактериальных биопленок [59]. Патогенность и вирулентность *P. gingivalis* еще больше усиливаются за счет присутствия сильнодействующих протеаз, таких как гингипаины, представляющие собой трипсиноподобные цистеиновые протеиназы, которые играют важную роль в морфогенезе фимбрий. Гингипаины HRgpA и RgpB повышают проницаемость сосудов и активируют систему свертывания крови, их действие на очаг инфекции усиливает воспаление и способствует деструкции альвеолярной кости [60]. Фимбрии *P. gingivalis* играют важную роль в процессах адгезии и инвазии в эпителиальные клетки десны. Взаимодействие между фимбриями и интегринами $\beta 1$ эпителиальных клеток десны занимает центральное место в общем процессе инвазии и последующем клеточном ответе, который проявляется клетками после инфицирования *P. gingivalis*. Ингибирование проапоптотического фермента апоптоза эпителиальных клеток десны *P. gingivalis* является важной адаптацией для выживания бактерий, это предотвращает гибель клеток человека и способствует выживанию *P. gingivalis* внутри них [12]. *P. gingivalis* обладают способностью прикрепляться к специфическому субстрату, в качестве которого могут выступать поверхности зубов, уже прикрепившиеся к ним бактерии или их метаболиты, десна, белки внеклеточного матрикса. Однако *P. gingivalis* предпочитают поверхность формирующейся биопленки на поверхности зубной бляшки, прикрепляясь к таким ранним колонизаторам, как *S. sanguis*, *S. mitis*, *S. oralis*, *S. cristatus* и *Actinomyces naeslundii*. *P. gingivalis* способны прикрепляться также к промежуточным и поздним бактериям, колонизирующими зубную бляшку (соответственно фузобактериям, *T. denticola* и *T. forsythia*) [35].

Есть сведения, что *P. gingivalis* ассоциируется другими системными заболеваниями. Для этого у бактерий существуют механизмы перемещения из полости рта в кровоток для достижения других органов. Пассивный доступ в кровь доступен через кровоточащую десну, но, так как в отличие от других микроорганизмов полости рта, *P. gingivalis* часто можно обнаружить в других органах, вероятно, что у *P. gingivalis* существуют также и активные механизмы проникновения в кровоток через эпителиальные клетки, описано четыре предположительных способа транслокации или попадания в кровь

этих бактерий [61]. Первый механизм — при участии протеолитических ферментов, выделяемых *P. gingivalis*, которые разлагают молекулы адгезии между тканевыми клетками и внеклеточным матриксом, что ослабляет структурную целостность слизистой оболочки и позволяет патогену проникать в ткани. Второй — трансцитоз, когда бактерии активно проникают в клетки тканей и переходят в следующий слой или внеклеточное пространство, таким образом, достигая более глубоких слоев. Третий, когда фагоциты поглощают *P. gingivalis*, и они попадают в кровоток, где могут проникать в другие органы. И четвертый, *P. gingivalis* может прикрепляться к гифам, образующим *C. albicans*, которые могут проникать через слизистую оболочку и достигать более глубоких тканей [61]. Данный факт подчеркивает важность равновесия микробиоты полости рта, так как дисбиоз может оказать влияние на здоровье всего организма человека.

В восстановлении здорового микробиоценоза полости рта стандартные методы лечения имеют ограниченный эффект. В настоящее время разрабатываются и внедряются новые методы для улучшения и сбалансирования микробиоты полости рта. Например, нитраты содержащие средства гигиены ротовой полости могут способствовать размножению полезных бактерий, которые образуя биопленки, будут защищать ткани организма человека, использование ингибиторов гингипаина у пациентов с пародонтитом могут уменьшить распространение *P. gingivalis* в кровотоке и его последующее попадание в другие органы. Также применение в комплексной терапии пробиотических и аутопробиотических препаратов показывает свою эффективность в комплексном лечении хронического генерализованного пародонтита и способствует развитию микробиологического равновесия [62]. Кроме того, описывают применение генетически модифицированных бактерий, которые секретируют нужные белки и бактериофаги для специфического воздействия на бактерии сообществ микробиома [52].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пародонтит — многофакторное заболевание, при котором инфицирование может приводить к различным сценариям развития патологии от местного процесса в пародонте до системной коморбидной патологии, вследствие гематогенного распространения бактерий и их токсинов. Необходимо проведение дальнейших исследований для патогенетически обоснованной разработки инновационных лечебно-диагностических технологий и эффективных средств воздействия на микробиоту ротовой полости. Также целесообразно усовершенствовать методы исследований и диагностики заболеваний пародонта, изучать метаболом и транскриптом, которые позволят по-новому взглянуть на микробиом полости рта при пародонтите и связанных с ним системных заболеваниях.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Nazir M., et al. Global prevalence of periodontal disease and lack of its surveillance. — *ScientificWorldJournal*. — 2020; 2020: 2146160. [PMID: 32549797](#)
2. Chapple I.L., et al. Interaction of lifestyle, behaviour or systemic diseases with dental caries and periodontal diseases: consensus report of group 2 of the joint EFP/ORCA workshop on the boundaries between caries and periodontal diseases. — *J Clin Periodontol*. — 2017; 44 Suppl 18: S39–S51. [PMID: 28266114](#)
3. Popa G.V., et al. Histopathological and immunohistochemical study of periodontal changes in chronic smokers. — *Rom J Morphol Embryol*. — 2021; 62 (1): 209—217. [PMID: 34609423](#)
4. Jia X., Yang R., Li J., Zhao L., Zhou X., Xu X. Gut-bone axis: A non-negligible contributor to periodontitis. — *Front Cell Infect Microbiol*. — 2021; 11: 752708. [PMID: 34869062](#)
5. Kinane D.F., Stathopoulou P.G., Papapanou P.N. Periodontal diseases. — *Nat Rev Dis Primers*. — 2017; 3: 17038. [PMID: 28805207](#)
6. Abdulkareem A.A., et al. Current concepts in the pathogenesis of periodontitis: from symbiosis to dysbiosis. — *J Oral Microbiol*. — 2023; 15 (1): 2197779. [PMID: 37025387](#)
7. Sharifovich A.D., Alimjanovich R.J. The role of the immune system and oral fluid and blood antimicrobial peptides in patients with chronic generalized periodontitis. — *The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research*. — 2023; 5: 64—71. [DOI: 10.37547/TAJMSPR/Volume05Issue05-13](#)
8. Cekici A., Kantarci A., Hasturk H., Van Dyke T.E. Inflammatory and immune pathways in the pathogenesis of periodontal disease. — *Periodontol 2000*. — 2014; 64 (1): 57—80. [PMID: 24320956](#)
9. Hajishengallis G. Immunomicrobial pathogenesis of periodontitis: keystones, pathobionts, and host response. — *Trends Immunol*. — 2014; 35 (1): 3—11. [PMID: 24269668](#)
10. Anwar S.K., Hafez A.M., Roshdy Y.S. Clinical and microbiological efficacy of intra-pocket application of diode laser in grade C periodontitis: a randomized controlled clinical trial. — *BMC Oral Health*. — 2024; 24 (1): 270. [PMID: 38395824](#)
11. Пешкова Э.К., Цимбалистов А.В. Влияние пародонтологической инфекции на здоровье человека (обзор литературы). — *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация*. — 2019; 4: 497—506. [Peshkova E.K., Tsimbalistov A.V. Influence of periodontal infection on systemic health (review of literature). — *Belgorod State University Scientific bulletin: Medicine, Pharmacy*. — 2019; 4: 497—506 (In Russian)]. [eLibrary ID: 42626455](#)
12. Gasmi Benahmed A., et al. Porphyromonas Gingivalis in the Development of Periodontitis: Impact on Dysbiosis and Inflammation. — *Arch Razi Inst*. — 2022; 77 (5): 1539—1551. [PMID: 37123122](#)
13. Li J., et al. Association of periodontitis with cardiovascular and all-cause mortality in hypertensive individuals: insights from a NHANES cohort study. — *BMC Oral Health*. — 2024; 24 (1): 950. [PMID: 39152381](#)
14. Dewhirst F.E., et al. The human oral microbiome. — *J Bacteriol*. — 2010; 192 (19): 5002—17. [PMID: 20656903](#)
15. Peng X., et al. Oral microbiota in human systematic diseases. — *Int J Oral Sci*. — 2022; 14 (1): 14. [PMID: 35236828](#)
16. Aas J.A., et al. Defining the normal bacterial flora of the oral cavity. — *J Clin Microbiol*. — 2005; 43 (11): 5721—32. [PMID: 16272510](#)
17. Mager D.L., Ximenez-Fyvie L.A., Haffajee A.D., Socransky S.S. Distribution of selected bacterial species on intraoral surfaces. — *J Clin Periodontol*. — 2003; 30 (7): 644—54. [PMID: 12834503](#)
18. Paster B.J., et al. Bacterial diversity in human subgingival plaque. — *J Bacteriol*. — 2001; 183 (12): 3770—83. [PMID: 11371542](#)
19. Леонов Г.Е. и др. Особенности микробиома ротовой полости при различных соматических заболеваниях. — *Вопросы питания*. — 2023; 4 (548): 6—19. [Leonov G.E., et al. The oral microbiome in the context of systemic disease. — *Problems of Nutrition*. — 2023; 4 (548): 6—19 (In Russian)]. [eLibrary ID: 54396435](#)
20. Zoheir N., Kurushima Y., Lin G.H., Nibali L. Periodontal infectogenomics: a systematic review update of associations between host genetic variants and subgingival microbial detection. — *Clin Oral Investig*. — 2022; 26 (3): 2209—2221. [PMID: 35122548](#)
21. Xu J., Yu L., Ye S., Ye Z., Yang L., Xu X. Oral microbiota-host interaction: the chief culprit of alveolar bone resorption. — *Front Immunol*. — 2024; 15: 1254516. [PMID: 38455060](#)
22. Jang H., Patoine A., Wu T.T., Castillo D.A., Xiao J. Oral microflora and pregnancy: a systematic review and meta-analysis. — *Sci Rep*. — 2021; 11 (1): 16870. [PMID: 34413437](#)
23. Ercan E., et al. Evaluation of periodontal pathogens in amniotic fluid and the role of periodontal disease in pre-term birth and low birth weight. — *Acta Odontol Scand*. — 2013; 71 (3—4): 553—9. [PMID: 23638858](#)
24. Sedghi L., et al. The oral microbiome: Role of key organisms and complex networks in oral health and disease. — *Periodontol 2000*. — 2021; 87 (1): 107—131. [PMID: 34463991](#)
25. Inquimbert C., et al. The oral bacterial microbiome of interdental surfaces in adolescents according to carious risk. — *Microorganisms*. — 2019; 7 (9): 319. [PMID: 31491909](#)
26. Wu J., et al. Cigarette smoking and the oral microbiome in a large study of American adults. — *ISME J*. — 2016; 10 (10): 2435—46. [PMID: 27015003](#)
27. Raju S.C., et al. Antimicrobial drug use in the first decade of life influences saliva microbiota diversity and composition. — *Microbiome*. — 2020; 8 (1): 121. [PMID: 32825849](#)
28. Гимранова И.А., Хакимова Л.Р., Акмалова Г.М., Газизуллина Г.Р. Современные методы диагностики заболеваний пародонта: возможности и перспективы (обзор литературы). — *Клиническая лабораторная диагностика*. — 2023; 9: 570—577. [Gimranova I.A., et al. Modern methods of diagnosis of periodontal diseases: opportunities and prospects (review of literature). — *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. — 2023; 9: 570—577 (In Russian)]. [eLibrary ID: 54394051](#)
29. Socransky S.S., et al. Microbial complexes in subgingival plaque. — *J Clin Periodontol*. — 1998; 25 (2): 134—44. [PMID: 9495612](#)
30. Aruni A.W., et al. The biofilm community — Rebels with a cause. — *Curr Oral Health Rep*. — 2015; 2 (1): 48—56. [PMID: 26120510](#)
31. Nørskov-Lauritsen N., et al. Aggregatibacter actinomycetemcomitans: Clinical significance of a pathobiont subjected to ample changes in classification and nomenclature. — *Pathogens*. — 2019; 8 (4): 243. [PMID: 31752205](#)
32. Dahlen G., Basic A., Bylund J. Importance of virulence factors for the persistence of oral bacteria in the inflamed gingival crevice and in the pathogenesis of periodontal disease. — *J Clin Med*. — 2019; 8 (9): 1339. [PMID: 31470579](#)
33. Царев В.Н. и др. Молекулярная диагностика пародонтита и метагеномный анализ микробиоты пародонта у пациентов с сахарным диабетом II типа. — *Бактериология*. — 2018; 2: 30—37. [Tsarev V.N., et al. Molecular diagnostic of periodontitis and

- metagenomic analysis of the periodontum microbiota in patients by type II diabetes mellitus. — *Bacteriology*. — 2018; 2: 30—37 (In Russian)]. [eLibrary ID: 35625640](#)
34. Балмасова И.П. и др. Микроэкология пародонта. Взаимосвязь локальных и системных эффектов. — М.: Практическая медицина, 2021. — С. 264.
- [Balmasova I.P., et al. Microecology of the periodontium. The relationship of occurrence and systemic effects. — Moscow: Prakticheskaya meditsina, 2021. — P. 264 (In Russian)].
35. Царев В.Н., Николаева Е.Н., Ипполитов Е.В. Пародонтопатогенные бактерии — основной фактор возникновения и развития пародонтита. — *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. — 2017; 5: 101—112.
- [Tsarev V.N., Nikolaeva E.N., Ippolitov E.V. Periodontopathogenic bacteria of the main factors of emergence and development of periodontitis. — *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*. — 2017; 5: 101—112 (In Russian)]. [eLibrary ID: 32628890](#)
36. Чуйкин С.В. и др. Исследование пародонтопатогенной микрофлоры методом полимеразной цепной реакции у детей с врожденной расщелиной неба и дефектом после уранопластики. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2022; 1 (81): 19—28.
- [Chuykin S.V., et al. Study of periodontal pathogens by polymerase chain reaction in children with congenital cleft palate and a post-operative defect. — *Pediatric Dentistry and Prophylaxis*. — 2022; 1 (81): 19—28 (In Russian)]. [eLibrary ID: 48202576](#)
37. Griffen A.L., Becker M.R., Lyons S.R., Moeschberger M.L., Leys E.J. Prevalence of *Porphyromonas gingivalis* and periodontal health status. — *J Clin Microbiol*. — 1998; 36 (11): 3239—42. [PMID: 9774572](#)
38. Kim D., Ito T., Hara A., Li Y., Kreth J., Koo H. Antagonistic interactions by a high H₂O₂-producing commensal streptococcus modulate caries development by *Streptococcus mutans*. — *Mol Oral Microbiol*. — 2022; 37 (6): 244—255. [PMID: 36156446](#)
39. Wilbert S.A., Mark Welch J.L., Borisy G.G. Spatial ecology of the human tongue dorsum microbiome. — *Cell Rep*. — 2020; 30 (12): 4003—4015.e3. [PMID: 32209464](#)
40. Maekawa T., et al. *Porphyromonas gingivalis* manipulates complement and TLR signaling to uncouple bacterial clearance from inflammation and promote dysbiosis. — *Cell Host Microbe*. — 2014; 15 (6): 768—78. [PMID: 24922578](#)
41. Sztukowska M.N., et al. Community development between *Porphyromonas gingivalis* and *Candida albicans* mediated by InlJ and Als3. — *mBio*. — 2018; 9 (2): e00202—18. [PMID: 29691333](#)
42. Van Dyke T.E., et al. The nexus between periodontal inflammation and dysbiosis. — *Front Immunol*. — 2020; 11: 511. [PMID: 32296429](#)
43. Kirst M.E., et al. Dysbiosis and alterations in predicted functions of the subgingival microbiome in chronic periodontitis. — *Appl Environ Microbiol*. — 2015; 81 (2): 783—93. [PMID: 25398868](#)
44. Hajishengallis G., et al. Low-abundance biofilm species orchestrates inflammatory periodontal disease through the commensal microbiota and complement. — *Cell Host Microbe*. — 2011; 10 (5): 497—506. [PMID: 22036469](#)
45. Verma R.K., et al. Virulence of major periodontal pathogens and lack of humoral immune protection in a rat model of periodontal disease. — *Oral Dis*. — 2010; 16 (7): 686—95. [PMID: 20846155](#)
46. Yost S., et al. Functional signatures of oral dysbiosis during periodontitis progression revealed by microbial metatranscriptome analysis. — *Genome Med*. — 2015; 7 (1): 27. [PMID: 25918553](#)
47. Deng Z.L., et al. Dysbiosis in chronic periodontitis: Key microbial players and interactions with the human host. — *Sci Rep*. — 2017; 7 (1): 3703. [PMID: 28623321](#)
48. Boyer E., et al. Oral dysbiosis induced by *Porphyromonas gingivalis* is strain-dependent in mice. — *J Oral Microbiol*. — 2020; 12 (1): 1832837. [PMID: 33133418](#)
49. Meuric V., et al. Signature of microbial dysbiosis in periodontitis. — *Appl Environ Microbiol*. — 2017; 83 (14): e00462—17. [PMID: 28476771](#)
50. Payne M.A., et al. Horizontal and vertical transfer of oral microbial dysbiosis and periodontal disease. — *J Dent Res*. — 2019; 98 (13): 1503—1510. [PMID: 31560607](#)
51. Dominy S.S., et al. *Porphyromonas gingivalis* in Alzheimer's disease brains: Evidence for disease causation and treatment with small-molecule inhibitors. — *Sci Adv*. — 2019; 5 (1): eaau3333. [PMID: 30746447](#)
52. Tuganbaev T., et al. The effects of oral microbiota on health. — *Science*. — 2022; 376 (6596): 934—936. [PMID: 35617380](#)
53. Зорина О.А., Грудянов А.И., Ребриков Д.В. Микробиоценоз пародонтального кармана и воспалительные заболевания пародонта. — Уральский медицинский журнал. — 2011; 3 (81): 9—13. [Zorina O.A., et al. Periodontal pocket microbiocenosis and periodontal inflammatory diseases. — *Ural Medical Journal*. — 2011; 3 (81): 9—13 (In Russian)]. [eLibrary ID: 16904586](#)
54. DiRienzo J.M., et al. Specific genetic variants of *Actinobacillus actinomycetemcomitans* correlate with disease and health in a regional population of families with localized juvenile periodontitis. — *Infect Immun*. — 1994; 62 (8): 3058—65. [PMID: 7913695](#)
55. Ardila C.M., Granada M.I., Guzmán I.C. Antibiotic resistance of subgingival species in chronic periodontitis patients. — *J Periodontal Res*. — 2010; 45 (4): 557—63. [PMID: 20546113](#)
56. Isola G. Antibiotics and antimicrobials for treatment of the oral microbiota: Myths and facts in research and clinical practice. — *Antibiotics (Basel)*. — 2020; 9 (2): 95. [PMID: 32098288](#)
57. Xu W., Zhou W., Wang H., Liang S. Roles of *Porphyromonas gingivalis* and its virulence factors in periodontitis. — *Adv Protein Chem Struct Biol*. — 2020; 120: 45—84. [PMID: 32085888](#)
58. Metzger Z., et al. Enhanced attachment of *Porphyromonas gingivalis* to human fibroblasts mediated by *Fusobacterium nucleatum*. — *J Endod*. — 2009; 35 (1): 82—5. [PMID: 19084131](#)
59. Okuda T., et al. Synergy in biofilm formation between *Fusobacterium nucleatum* and *Prevotella* species. — *Anaerobe*. — 2012; 18 (1): 110—6. [PMID: 21945879](#)
60. Imamura T. The role of gingipains in the pathogenesis of periodontal disease. — *J Periodontol*. — 2003; 74 (1): 111—8. [PMID: 12593605](#)
61. de Jongh C.A., et al. Mechanisms of *Porphyromonas gingivalis* to translocate over the oral mucosa and other tissue barriers. — *J Oral Microbiol*. — 2023; 15 (1): 2205291. [PMID: 37124549](#)
62. Koroleva I.V., et al. Clinical and microbiological evaluation of the efficacy of autoprobiotics in the combination treatment of chronic generalized periodontitis. — *Revista Latinoamericana de Hipertensión*. — 2021; 16 (1): 22—34. [DOI: 10.5281/zenodo.5102968](#)

Т.В. Царева¹,

к.м.н., доцент кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии

Е.В. Ипполитов¹,

д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-биологических исследований

М.Г. Козодаев²,

к.ф.-м.н., с.н.с. центра коллективного пользования уникальным научным оборудованием в области нанотехнологий

В.В. Царева¹,

научный сотрудник лаборатории экспериментальной и клинической офтальмологии

М.С. Подпорин¹,

к.м.н., м.н.с. лаборатории молекулярно-биологических исследований

В.Н. Царев¹,

д.м.н., профессор, зав. кафедрой микробиологии, вирусологии, иммунологии, директор НИМСИ

¹ Российский университет медицины, 127006, Москва, Россия² МФТИ, 141701, Долгопрудный, Россия

Сравнительная характеристика антимикробных свойств покрытия диоксида титана в форме анатаз на поверхности титана и его сплавов

Аннотация. Изделия из титана и его сплавов активно используются для реконструкции опорно-двигательной и челюстно-лицевой систем организма. Однако в отдельных случаях наблюдается отторжение имплантированных изделий, что связано с присоединением бактериальных инфекций. Для ускорения процесса остеointеграции изделий используются различные способы обработки их поверхности, включая пескоструйную обработку, создающую определенный микрорельеф, а также нанесение биоактивного покрытия из диоксида титана (TiO_2) в кристаллической форме анатаз. Поскольку метод формирования TiO_2 , а именно атомно-слоевое осаждение (ACO), обладает определенной чувствительностью к структуре и химии исходной поверхности, что проявляется в области малых толщин, характеристики покрытия могут зависеть от материала имплантата. **Цель исследования** — оценка антиадгезивных и antimикробных свойств поверхности образцов из титана и его сплавов с учетом различий в их структуре и типе обработки поверхности, включающих формирование покрытия TiO_2 с кристаллической структурой анатаз. **Материалы и методы.** Использованы микробиологические и молекулярно-биологические методы, а также методы статистического анализа для количественной оценки микробной адгезии *in vitro* к образцам материалов. Исследованы образцы титана Grade 4 (ASTM F67) и сплавов различного состава Ti_6Al4V (ASTM F136)/ Ti_6Al7Nb (ASTM F1295) с различной обработкой поверхности, которые могут быть использованы для ортопедического лечения. **Результаты.** Впервые проведена сравнительная оценка адгезии санитарно-значимых микроорганизмов (например, *S. aureus*, *E. coli*) и анаэробных бактерий к исследуемым образцам. Наиболее низкий уровень адгезии наблюдался на образцах Ti_6Al4V с покрытием TiO_2 , что указывает на их бактерицидные и фунгицидные свойства. Образцы, содержащие ниобий (Ti_6Al7Nb), показали избирательные антиадгезивные свойства, что подтверждает их активность в отношении жизнеспособных клеток микробов. **Заключение.** Результаты подчеркивают потенциальную эффективность покрытия TiO_2 с кристаллической структурой анатаз для применения в медицинских имплантатах и конструкциях.

Ключевые слова: оксид титана, кристаллическая структура, анатаз, адгезия микробов, анаэробные виды, дрожжевые грибы

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Царева Т.В., Ипполитов Е.В., Козодаев М.Г., Царева В.В., Подпорин М.С., Царев В.Н. Сравнительная характеристика antimикробных свойств покрытия диоксида титана в форме анатаз на поверхности титана и его сплавов. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 186—195. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_186

Comparative characteristics of antimicrobial properties of titanium dioxide coating in the anatase form on the surface of titanium and its alloys

Abstract. Products from titanium and its alloys are actively used for the reconstruction of the musculoskeletal and maxillofacial systems of the body. However, in some cases, their rejection is observed, which is associated with the addition of bacterial infections. To accelerate the process of osseointegration, various methods of surface treatment are used, including sandblasting, which creates a certain microrelief, as well as the deposition of a bioactive coating of titanium dioxide (TiO_2) with the anatase structure. Since the method of TiO_2 formation, namely atomic layer deposition (ALD), has a certain sensitivity to the structure and chemistry of the initial surface, especially in the low-thickness range, the characteristics of the coating may depend on the implant material. Therefore, **the purpose of this study** is to evaluate the antiadhesive and antimicrobial properties

T.V. Tsareva¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Microbiology, virology, immunology Department

E.V. Ippolitov¹,

PhD in Medical Sciences, professor, leading researcher of the Molecular biology research Laboratory

M.G. Kozodaev²,

PhD in Physical and Mathematical Sciences, senior researcher at the Center of shared facilities in nanotechnology

V.V. Tsareva¹,

researcher at the Laboratory of experimental and clinical ophthalmology

M.S. Podporin¹,

PhD in Medical Sciences, researcher at the Molecular biology research Lab

V.N. Tsarev¹,

Doctor of Science in Medicine, full professor of the Microbiology, virology, immunology department, director of the Medico-dental research Institute

¹ Russian University of Medicine,
127006, Moscow, Russia

² MIPT, 141701, Dolgoprudny, Russia

of titanium and its alloy samples, taking into account the differences in their structure and type of surface treatment, including the formation of a TiO_2 coating with anatase crystalline structure.

Materials and methods. In order to quantitatively evaluate the *in vitro* microbial adhesion to samples of Grade 4 titanium (ASTM F67) and Ti6Al4V (ASTM F136)/Ti6Al7Nb (ASTM F1295) alloys with different surface treatments, authors used microbiological, molecular biological methods and statistical analysis. **Results.** The work studies samples of titanium and its alloys with various surface preparation, that can be used for orthopedic treatment. Comparative assessment was carried out for the first time which included adhesion of sanitary-significant microorganisms (for example, *S. aureus*, *E. coli*) and anaerobic bacteria to the studied samples. The lowest level of adhesion was observed on Ti6Al4V samples coated with TiO_2 , which indicates their bactericidal and fungicidal properties. Samples containing niobium (Ti6Al7Nb) showed selective anti-adhesive properties, which confirms their activity against viable microbial cells. **Conclusions.** The results highlight the potential effectiveness of TiO_2 coating with anatase crystalline structure for utilization in medical implants and structures.

Key words: titanium oxide, crystal structure, anatase, microbes adhesion, anaerobic species, yeast fungi

FOR CITATION:

Tsareva T.V., Ippolitov E.V., Kozodaev M.G., Tsareva V.V., Podporin M.S., Tsarev V.N. Comparative characteristics of antimicrobial properties of titanium dioxide coating in the anatase form on the surface of titanium and its alloys. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 186—195 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_186

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире стоматология играет все более значительную роль в сохранении здоровья человека. С появлением новых технологий и материалов данное направление медицины претерпевает значительные изменения, которые помогают улучшить качество жизни пациентов [1, 2].

Одним из ключевых изменений в стоматологии стало использование титановых сплавов для создания имплантируемых изделий, что обусловлено совокупностью их превосходных механических свойств и коррозионной стойкости, а также покрытий, обладающих биосовместимостью, например из оксида титана в кристаллической форме анатаз, что позволяет создавать качественные и долговечные решения для пациентов. Особый интерес также представляют наноструктурированные материалы, которые позволяют значительно улучшить функциональные и эстетические качества стоматологических изделий [3, 4].

Однако, несмотря на достижения в этой области, исследования показывают, что герметизация, достигаемая вокруг абатментов, часто уступает той, которая наблюдается при естественных зубах. Это связано с особенностями конструкции имплантатов, используемыми материалами и влиянием на нарушение кровоснабжения в области имплантата. Эти факторы создают условия для колонизации бактериальной и грибковой микробиоты, что может сигнализировать о начале воспалительных процессов, таких как мукозит и периимплантит. Эти состояния не только ухудшают качество жизни пациентов, но и могут привести к необходимости повторных операций, что создает дополнительную нагрузку на систему оказания лечебно-профилактической помощи в стоматологии [5, 6].

С другой стороны, с увеличением распространения лекарственной устойчивости микроорганизмов

и их способности вызывать бактериальные инфекции эффективные методы борьбы с патогенами становятся критически важными [7—9]. В этом контексте в последние годы наблюдается значительный интерес к материалам с бактерицидными свойствами, особенно в связи с их применением в медицине и биотехнологии [10]. Одним из таких материалов является диоксид титана TiO_2 , который благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, включая фотокаталитическую активность, способствующую разрушению клеточных стенок бактерий и их гибели [11, 12], находит широкое применение в стоматологии и других медицинских сферах [13, 14].

Для ускорения процесса остеоинтеграции медицинских изделий используются различные способы обработки их поверхности, включающие пескоструйную обработку, создающую определенный микрорельеф, а также нанесение биоактивного покрытия TiO_2 . Принимая во внимание их сложную геометрию, метод атомно-слоевого осаждения (ACO), основанный на поверхностных химических реакциях, является наиболее подходящим для решения данной задачи, поскольку обеспечивает исключительную конформность и воспроизводимость. Данный метод является поверхностно-чувствительным, то есть свойства сравнительно тонких (до 50 нм) покрытий во многом могут определяться микроструктурой (тип решетки, размер кристаллического зерна) и химией подложки. В то же время очевидно, что микроструктура поверхности имплантата, степень пористости и наличие функциональных групп могут существенно повлиять на адгезию микроорганизмов, что критически важно в условиях растущей антибиотикорезистентности, когда традиционные методы борьбы с инфекциями становятся менее эффективными [15, 16].

Таким образом, оптимизация обработки поверхности имплантатов, изготовленных из различных материалов, с целью выявления ее влияния на процесс взаимодействия с микроорганизмами представляет собой

важное направление для повышения эффективности борьбы с инфекциями. Понимание этих процессов не только расширит научные знания в области материаловедения и микробиологии, но и позволит разработать практические рекомендации для применения покрытия TiO_2 в реальных условиях [17, 18]. В конечном итоге, это может привести к созданию более безопасных и эффективных медицинских решений, способствующих улучшению здоровья и качества жизни людей.

Учитывая вышеизложенное, целью данного исследования являлась оценка антиадгезивных и antimикробных свойств образцов из титана и его сплавов с учетом различий в их структуре и типе обработки поверхности, включающих формирование покрытия TiO_2 с кристаллической структурой анатаз.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения антиадгезивных и антибактериальных свойств *in vitro* на технологическом участке ООО «КОНМЕТ» (Москва) были изготовлены образцы, имеющие форму дисков диаметром 8 и толщиной 1,5 мм. В качестве материала использовали коммерчески чистый титан Grade4 (ASTM F67), сплав Ti6Al4V (ASTM F136) и сплав Ti6Al7Nb (ASTM F1295). Для исследований были выбраны следующие 4 варианта обработки поверхности дисков, отличающиеся по параметрам шероховатости поверхности (R_a) и ее химическому состоянию (рис. 1):

- I — без обработки ($R_a = 0,2$ мкм), естественная пленка оксида TiO_2 (контроль);
- II — пескоструйная обработка ($R_a = 1,6$ мкм), естественная пленка TiO_2 ;
- III — без обработки ($R_a = 0,2$ мкм) с покрытием TiO_2 толщиной 10 нм, полученным методом АСО, с кристаллической структурой анатаз;
- IV — пескоструйная обработка ($R_a = 1,6$ мкм) с покрытием TiO_2 толщиной 10 нм, полученным методом АСО, с кристаллической структурой анатаз.



Рис. 1. Исследуемые титановые образцы (диаметр 8 мм, высота 1,5 мм) с рабочей маркировкой в стерильной чашке Петри
Fig. 1. Test titanium samples (8 mm diameter, 1.5 mm height) with working marking in a sterile Petri dish

Таблица 1. Тест-штаммы микроорганизмов

Table 1. Test strains of microorganisms

Условная группа, род или вид	Краткая характеристика	Источник
Санитарно-значимые условно патогенные микроорганизмы		
<i>Staphylococcus aureus</i>	Грамположительные кокки	Референс-штамм ATCC 25993
<i>Enterococcus faecium</i>	Грамположительные кокки	Клинический изолят (гнойная рана)
<i>Escherichia coli</i>	Грамотрицательные палочки	Клинический изолят (гнойная рана)
<i>Candida albicans</i>	Дрожжевые грибы	Референс-штамм ATCC 10231
Анаэробные возбудители гнойной инфекции		
<i>Actinomyces israelii</i>	Грамположительные палочки	Клинический изолят (ротовая полость)
<i>A. actinomycetemcomitans</i>	Грамвариабельные овоиды	Клинический изолят (ротовая полость)
<i>Fusobacterium necroforum</i>	Грамотрицательные палочки	Референс-штамм ATCC 89-5 ФНЦ ВИЭВ РАН
<i>Porphyromonas gingivalis</i>	Грамотрицательные овоиды	Клинический изолят (ротовая полость)
<i>Prevotella intermedia</i>	Грамотрицательные овоиды	Клинический изолят (ротовая полость)
<i>Peptostreptococcus anaerobius</i>	Грамположительные кокки	Клинический изолят (гнойная рана)

До постановки эксперимента *in vitro* диски хранили в стерильных чашках Петри

Отбор штаммов для исследования адгезии основывался на их значении в микробиоме организма человека, в том числе на потенциальном влиянии на развитие воспалительной патологии челюстно-лицевой области, а также на возможное развитие инфекционных осложнений, возникающих после протезирования. Все тестовые штаммы были выделены в бактериологической лаборатории с соблюдением необходимых разрешений. Для их идентификации применялись биохимические наборы API 20A и Biochemical Identification Test Kits, а также ПЦР для труднокультивируемых анаэробных (пародонтопатогенных) микроорганизмов.

В ходе экспериментов образцы помещались в суспензию суточных культур тестовых штаммов, среди которых были 4 санитарно-значимых и 6 анаэробных штаммов микроорганизмов (табл. 1).

Данный подход позволил оценить адгезию микроорганизмов к исследуемым образцам в зависимости от композиционного состава материала и способа обработки поверхности. В конечном итоге это позволило нам косвенно судить об их antimикробных свойствах.

При проведении модельных экспериментов готовили взвесь культур с мутностью 0,5 ед. по Макфарланду, что примерно соответствует 10^8 КОЕ/мл для бактерий

и 10^6 КОЕ/мл для грибов *Candida*. Время выдержки — 40 мин в анаэростате при 37°C (для анаэробных бактерий), а для грибов — в обычных условиях при температуре 22–24°C. После экспозиции образцы омывали стерильным изотоническим раствором, чтобы удалить не прилипшие клетки.

Затем образцы помещали в 5 мл стерильного изотонического раствора и обрабатывали в ультразвуковой ванне (60 кГц, 10 мин), что позволило перевести прилипшие клетки

во взвешенное состояние. Полученную взвесь высевали на соответствующие среды для выделения микробных клеток и инкубировали при необходимых условиях. Исследования с каждым образцом повторяли 4–5 раз (для каждого штамма). После инкубации проводили подсчет колоний с использованием стереомикроскопа и автоматического счетчика колоний Scan-500.

Вычисляли индекс адгезии I_a [19, 20]:

$$I_a = \lg A / \lg N,$$

где A — количество прилипших бактерий, N — количество бактерий в исходной взвеси.

Определяли 5 степеней адгезии: низкую ($I_a \leq 0,30$), среднюю (0,31–0,50), умеренную (0,51–0,70), высокую (0,71–0,90) и очень высокую ($I_a > 0,90$).

Для статистической обработки данных применяли методы вариационной параметрической и непараметрической статистики для малой выборки. С учетом количества выборки определяли вероятность различий p . Для малой выборки использовали критерий Манна–Уитни, статистически значимыми считали значения при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При сравнительной оценке адгезии санитарно-значимых микроорганизмов к образцам с различными методами обработки поверхности были выявлены существенные различия. Индексы адгезии для *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium* и других тест-штаммов в значительном числе случаев показали статистически значимые результаты (табл. 2).

В первой серии испытаний контрольный образец из Ti6Al4V показал $I_a = 0,75$ для *S. aureus*, что означает, что около 75% клеток успешно прилипали и сохраняли жизнеспособность. Образцы с другими вариантами обработки поверхности показали I_a от 0,54 до 0,58, что было статистически ниже контроля ($p < 0,05$). Для образца из Ti6Al7Nb и с I вариантом обработки индекс адгезии *S. aureus* равнялся $I_a = 0,61$, что было существенно ниже, чем в первой серии. Наиболее близким к контролю оказался образец с пескоструйной обработкой ($I_a = 0,54$), тогда как варианты с покрытием значительно снизили показатели — до 0,47–0,49 ($p < 0,05$). В третьей серии с образцом Grade4 *S. aureus* продемонстрировал $I_a = 0,64$, что было статистически ниже, чем для Ti6Al4V ($p < 0,05$). Особенное заметное снижение наблюдалось у образца без пескоструйной обработки с покрытием TiO_2 — $I_a = 0,51$ ($p < 0,05$).

Что касается *E. faecium*, контроль первой серии Ti6Al4V составил 0,54 и соответствовал умеренному уровню адгезии, но был значимо ниже, чем для *S. aureus*. Все варианты обработки в первой серии варьировались от 0,50 до 0,55 и не проявили статистически значительных отличий. При использовании второй серии с контрольным образцом Ti6Al7Nb индекс адгезии для *E. faecium* составил 0,65, однако снизился до 0,56 только при пескоструйной обработке ($p < 0,05$), без других значительных изменений. При использовании третьей серии образцов контрольный образец Grade4 показал умеренный уровень адгезии для энтерококка с $I_a = 0,51$,

при этом все варианты обработки не отличались значимо (0,55), кроме комбинированного, который увеличил I_a до 0,60 ($p < 0,05$).

Результаты для *E. coli* в ряде случаев были более явными. Контрольный образец Ti6Al4V в первой серии имел высокий индекс адгезии 0,74, что означало, что около 75% микробных клеток прилипало к поверхности. Опытные образцы показали средний уровень адгезии от 0,54 до 0,57, что было статистически ниже контроля ($p < 0,05$), однако между собой эти варианты не отличались. При использовании материалов второй серии с Ti6Al7Nb индекс адгезии составил 0,65, снижаясь до 0,57 и 0,58 с покрытиями ($p < 0,05$). Пескоструйная обработка без покрытия не показала значительного снижения. Для третьей серии с образцом Grade4 уровень адгезии *E. coli* составил 0,66, все варианты обработки демонстрировали снижение, но только при покрытии индекс упал до 0,53 ($p < 0,05$).

Результаты с *C. albicans* были значительно ниже, чем у бактериальных штаммов. Контроль Ti6Al4V в первой серии составил 0,41, что указывает на средний уровень адгезии и был значительно ниже, чем у *S. aureus* и *E. coli* ($p < 0,05$). Варианты этой серии не отличались по индексу, за исключением пескоструйной обработки, где он поднялся до 0,56 ($p < 0,05$). Во второй серии с Ti6Al7Nb индекс оставался на уровне 0,40, увеличиваясь при пескоструйной обработке до 0,66 ($p < 0,05$). В третьей серии с Grade4 грибы рода *Candida* показали высокий индекс адгезии 0,71. Однако два варианта обработки с покрытием TiO_2 показали статистически значимое снижение до 0,50 и 0,59 ($p < 0,05$). Пескоструйная обработка увеличила индекс до 0,75, но не показала значимого различия с контролем.

Таблица 2. Индекс первичной адгезии основных санитарно-значимых штаммов

Table 2. Primary adhesion indices of the main sanitary strains

Микроорганизм	Вариант покрытия			
	I	II	III	IV
Ti6Al4V				
<i>S. aureus</i>	0,75±0,05 [#]	0,58±0,03*	0,58±0,03*	0,54±0,03*
<i>E. faecium</i>	0,54±0,03	0,55±0,03	0,50±0,03	0,55±0,03
<i>E. coli</i>	0,74±0,04 [#]	0,57±0,04*	0,54±0,04*	0,55±0,04*
<i>C. albicans</i>	0,41±0,04	0,56±0,04*	0,44±0,04	0,47±0,04
Ti6Al7Nb				
<i>S. aureus</i>	0,61±0,03 [#]	0,54±0,03	0,49±0,03*	0,47±0,03*
<i>E. faecium</i>	0,65±0,03 [#]	0,56±0,03*	0,65±0,03	0,69±0,03
<i>E. coli</i>	0,65±0,04 [#]	0,60±0,04	0,57±0,04*	0,58±0,04*
<i>C. albicans</i>	0,40±0,04	0,66±0,04*	0,43±0,04	0,45±0,04
Титан Grade 4				
<i>S. aureus</i>	0,64±0,05 [#]	0,58±0,03*	0,51±0,03*	0,61±0,03
<i>E. faecium</i>	0,51±0,03	0,55±0,03	0,55±0,03	0,60±0,03*
<i>E. coli</i>	0,66±0,04 [#]	0,57±0,04*	0,53±0,04*	0,61±0,04
<i>C. albicans</i>	0,71±0,04 [#]	0,75±0,04	0,50±0,04*	0,59±0,04*

Примечание. Статистически достоверное отличие ($p < 0,05$): * — от I варианта покрытия; # — между вариантами обработки в контрольных пробах с Ti6Al4V.



Рис. 2. Индекс первичной адгезии *E. coli* к образцу Ti6Al4V с покрытием без обработки (10^7 КОЕ)

Fig. 2. Primary adhesion index of *E. coli* to uncoated Ti6Al4V sample (10^7 CFU)

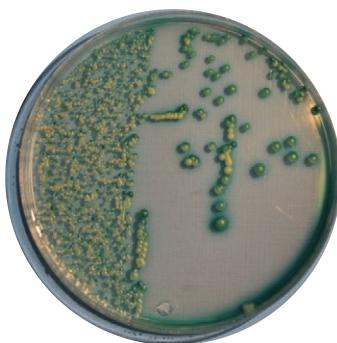


Рис. 3. Индекс первичной адгезии *C. albicans* к образцу Ti6Al7Nb с покрытием ($5 \cdot 10^6$ КОЕ)

Fig. 3. Primary adhesion index of *C. albicans* to coated Ti6Al7Nb sample ($5 \cdot 10^6$ CFU)

Примеры количественной оценки микробной адгезии штаммов санитарно-значимых микроорганизмов демонстрируют рис. 2 и 3.

При исследовании адгезивных и антимикробных свойств анаэробных бактерий к образцам титанового сплава с различной обработкой поверхности, были выявлены значительные различия, представленные в табл. 2 и 3 для штаммов *Actinomyces israelli*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Peptostreptococcus anaerobius*, *Porphyromonas gingivalis* и *Fusobacterium necroforum*.

A. israelli показал умеренный индекс адгезии контрольного образца Ti6Al4V, который составил 0,42, что указывает на адгезию около 40% клеток. Вариант с покрытием не продемонстрировал адгезии, тогда как образцы с пескоструйной обработкой и комбинированным методом показали результаты, статистически не отличающиеся от контроля (табл. 3). Во второй серии с образцом Ti6Al7Nb индекс адгезии оставался на уровне 0,45 без значительного изменения при пескоструйной обработке. Вариант с покрытием TiO₂ привел к полной потере адгезии, но только лишь при отсутствии

Таблица 3. Индексы первичной адгезии грамположительных анаэробных штаммов
Table 3. Primary adhesion indices of Gram-positive anaerobic strains

Микроорганизм	Вариант покрытия			
	I	II	III	IV
Ti6Al4V				
<i>A. israelli</i>	0,42±0,03	0,45±0,03	0	0,45±0,03
<i>A. actinomycetemcomitans</i>	0,45±0,03	0,30±0,03*	0	0,44±0,03
<i>P. anaerobius</i>	0,58±0,04	0,51±0,04*	0,51±0,04*	0,59±0,04*
Ti6Al7Nb				
<i>A. israelli</i>	0,45±0,03	0,47±0,03	0	0,36±0,03*
<i>A. actinomycetemcomitans</i>	0,45±0,03	0,45±0,03	0	0,45±0,03
<i>P. anaerobius</i>	0,58±0,04	0,60±0,04	0,59±0,04	0,59±0,04
Титан Grade 4				
<i>A. israelli</i>	0,36±0,03*	0,42±0,03*	0	0
<i>A. actinomycetemcomitans</i>	0,51±0,03*	0,45±0,03*	0,30±0,06*	0,30±0,06*
<i>P. anaerobius</i>	0,55±0,04*	0,51±0,04	0,64±0,04*	0,59±0,04*

Примечание. Статистически достоверное отличие ($p<0,05$): * — от I варианта покрытия; # — между вариантами обработки в контрольных пробах с Ti6Al4V

предварительной пескоструйной обработки, где I_a составил 0,36, что несколько ниже контрольного образца. Третья серия с контролем Grade4 также показала нулевой показатель адгезии с покрытием, а при пескоструйной обработке уровень составил 0,42 ($p<0,05$).

Для *A. actinomycetemcomitans* индекс адгезии в первой серии Ti6Al4V составил 0,45, значительно снижаясь до 0,30 при пескоструйной обработке ($p<0,05$). Вторая серия показала схожие, достаточно низкие значения (0,45), с нулевым показателем адгезии при использовании покрытия. В третьей серии с Grade4 индекс адгезии был на уровне 0,51, снижаясь до 0,30 ($p<0,05$) при использовании покрытия независимо от пескоструйной обработки.

Со штаммом *P. anaerobius* в первой серии контрольный индекс составил 0,58 и оставался стабильным при различных обработках, достигая 0,59 ($p<0,05$) при комбинированной. Во второй серии индекс варьировался от 0,58 до 0,60 без значительных различий. При использовании третьей серии материалов с контрольным образцом Grade4 индекс адгезии пептострептококка составил 0,55. При применении покрытия и комбинированного варианта индекс адгезии увеличился до 0,64 и 0,59 соответственно. Эти результаты могут быть связаны с большей устойчивостью пептострептококка к различным воздействиям по сравнению с другими анаэробными штаммами.

Обнадеживающие результаты получены и для грамотрицательных анаэробных бактерий, значимых для патологии пародонта и одонтогенной инфекции (табл. 4).

Для *P. gingivalis* контроль в первой серии Ti6Al4V составил 0,38 — средний уровень адгезии, который переходил в нулевой показатель при всех вариантах обработки.

Аналогичный результат был получен для образца Ti6Al7Nb — показатель для исходного сплава составил 0,30, а при обработке при всех вариантах адгезия не выявлена. В третьей серии с Grade4 показал более высокий уровень адгезии — 0,50, который снижался до 0,30 ($p<0,05$) при пескоструйной обработке, тогда как все варианты с покрытием TiO₂ не выявили адгезии.

Со штаммом *P. intermedia* наблюдаются сходные тенденции к снижению адгезии анаэробных бактерий при использовании покрытия и пескоструйной обработки. Индекс адгезии контрольного образца Ti6Al4V составил 0,40, что означает, что около 40% клеток вступили в первичную адгезию. При пескоструйной обработке, покрытии TiO₂ и комбинированном методе адгезия не выявлена ($p<0,05$). Во второй серии с контролем образцом Ti6Al7Nb

индекс адгезии *Prevotella* находился на низком уровне — 0,24, а при использовании покрытия и пескоструйной обработке не был определен ни в одном случае. В третьей серии образцов Grade4 индекс адгезии составил 0,32, а при вариантах с покрытием и комбинированной обработкой адгезия не была обнаружена ($p<0,05$).

Со штаммом *F. necroforum* также наблюдаются тенденции к снижению адгезии при обработке поверхности. Наиболее четко антимикробная/антиадгезивная активность прослеживалась у сплава Ti6Al4V. Индекс адгезии составил 0,38, следовательно, 38% клеток сохраняли свою жизнеспособность. При пескоструйной обработке и использовании покрытия адгезия не определялась, независимо от наличия предварительной пескоструйной обработки — наблюдался полный антимикробный эффект. Во второй серии экспериментов с Ti6Al7Nb индекс адгезии фузобактерий был значительно выше — 0,72, но проявлял тенденцию к незначительному снижению при пескоструйной обработке, который полностью нивелировался при использовании покрытия TiO_2 , в том числе с пескоструйной обработкой (нулевые показатели адгезии). В третьей серии образцов Grade4 индекс адгезии также был умеренным и составил 0,64, снижаясь в 2 раза при вариантах с покрытием и комбинированной обработкой до 0,36 и 0,30 соответственно ($p<0,05$). Однако ни в каком случае полной отмены адгезии до нулевого показателя не происходило.

Примеры полученных результатов продемонстрированы на рис. 4 и 5.

ОБСУЖДЕНИЕ

В последние годы накоплено значительное количество данных, подтверждающих антиадгезивные и биоцидные свойства ионов определенных металлов, их оксидов и наночастиц, которые оказывают влияние на микробиоту, колонизирующую поверхности организма [21]. Однако механизмы их действия и методы создания эффективных покрытий остаются недостаточно исследованными. В частности, медицинские композиты, модифицированные металлосодержащими наночастицами, продемонстрировали способность ингибиовать первичную адгезию и формирование биопленок на медицинских изделиях [22]. Это открывает новые возможности для применения таких материалов в стоматологии и ортопедии, где модификации могут значительно повысить антимикробные свойства и биосовместимость [23].

Наше исследование в целом возможность придания антиадгезивных свойств поверхности медицинских имплантатов, изготовленных из различных материалов на основе титана. В частности, при нанесении покрытия из диоксида титана в кристаллической форме анатаз, экспериментально подтверждена способность не только снижать первичную адгезию, но и выживаемость микробных клеток, что в клинических условиях будет препятствовать формированию микробных биопленок на медицинских изделиях. Последнее особенно важно в условиях, когда традиционные антибиотики становятся менее эффективными из-за развития резистентности. Так же, в отличие от традиционных антибиотиков,

Таблица 4. Индексы первичной адгезии грамотрицательных аэробных штаммов

Table 4. Primary adhesion indices of Gram-negative aerobic strains

Микроорганизм	Вариант покрытия			
	I	II	III	IV
Ti6Al4V				
<i>P. gingivalis</i>	0,38±0,02	0	0	0
<i>P. intermedia</i>	0,40±0,04	0	0	0
<i>F. necroforum</i>	0,38±0,04	0,68±0,04*	0	0
Ti6Al7Nb				
<i>P. gingivalis</i>	0,30±0,03	0	0	0
<i>P. intermedia</i>	0,24±0,02	0	0	0
<i>F. necroforum</i>	0,72±0,04*	0,64±0,04	0	0
Титан Grade 4				
<i>P. gingivalis</i>	0,50±0,02*	0,30±0,03*	0	0
<i>P. intermedia</i>	0,32±0,03*	0	0	0
<i>F. necroforum</i>	0,64±0,04*	0,64±0,04	0,36±0,06*	0,30±0,06*

Примечание. Статистически достоверное отличие ($p<0,05$): * — от I варианта покрытия; # — между вариантами обработки в контрольных пробах с Ti6Al4V.

ионы металлов и наночастицы действуют на широкий спектр микробов, что минимизирует риск развития резистентности. Очевидно, что основным структурным элементом, на который воздействуют эти агенты, остается клеточная стенка, которая различается у грамположительных и грамотрицательных бактерий.



Рис. 4. Различия в степени первичной адгезии *P. gingivalis* к образцам из титана Grade4 до ($2\cdot10^7$ КОЕ/мл) и после пескоструйной обработки ($7\cdot10^4$ КОЕ/мл)

Fig. 4. Differences in the degree of primary adhesion of *P. gingivalis* to titanium Grade4 before ($2\cdot10^7$ CFU/mL) and after sandblasting ($7\cdot10^4$ CFU/mL)



Рис. 5. Различия в степени первичной адгезии *P. anaerobius* к образцам из Ti6Al4V (10^8 КОЕ/мл), Ti6Al7Nb ($5\cdot10^8$ КОЕ/мл) и титана Grade4 ($2\cdot10^7$ КОЕ/мл)

Fig. 5. Differences in the degree of primary adhesion of *P. anaerobius* to samples made of Ti6Al4V (10^8 CFU/mL), Ti6Al7Nb ($5\cdot10^8$ CFU/mL), and titanium Grade4 ($2\cdot10^7$ CFU/mL)

Результаты исследования микробной адгезии, проведенного на десяти различных штаммах микроорганизмов, включая как грамположительные, так и грамотрицательные бактерии, аэробные и анаэробные формы, а также грибы, продемонстрировали разнообразные и порой противоречивые закономерности. По всей видимости, данные различия обусловлены как шероховатостью поверхности, так и структурой используемых материалов ввиду малой толщины покрытия TiO_2 и специфики процесса его осаждения. Например, грамположительные условно-патогенные бактерии, такие как стафилококки, проявляют большую устойчивость к биоцидным воздействиям, что может объяснять их повышенную адгезию к исследуемым образцам. В то же время грамотрицательные микробы, такие как кишечная палочка, с тонкой клеточной стенкой более подвержены этим воздействиям. Это подчеркивает важность выбора материалов и их обработки для достижения оптимальных antimикробных свойств.

Эксперименты с санитарно-значимыми штаммами бактерий и грибов продемонстрировали сниженную адгезию при использовании покрытия из диоксида титана с кристаллической структурой анатаз, что было особенно четко выражено для штаммов *S. aureus*, *E. coli* и *C. albicans* на сплавах $Ti6Al4V$ и $Ti6Al7Nb$. На образцах Grade4, которые изначально имели высокий уровень адгезии, наблюдалась аналогичная тенденция. Это открывает новые горизонты для применения таких материалов имплантатов и покрытий в клинической практике, особенно в стоматологии, где риск инфекций и формирования биопленок является критически важным.

Для анаэробных бактерий уровни адгезии на образцах с покрытием TiO_2 были значительно ниже, в некоторых случаях рост микроорганизмов вообще отсутствовал. Это может быть связано с кислород-зависимым биоцидным механизмом. Актиномицеты и пептострептококки, обладая ферментами защиты, проявляют большую устойчивость к этим воздействиям, в то время как превотеллы, порфиromонады и фузобактерии отличаются большей чувствительностью к окислительному стрессу. Это открывает новые возможности для разработки antimикробных решений, которые могут эффективно бороться с инфекциями, вызванными анаэробными микроорганизмами.

Согласно литературе, высокое отношение поверхности к объему образцов определяет их антиадгезивную активность [24, 25]. Высокая химическая активность биоактивного покрытия, в том числе за счет описанных фотокаталитических свойств [13, 14, 26], приводит к лизису клеток и гибели бактерий, что может быть полезным в борьбе с антибиотикорезистентными штаммами [26–28].

Соответственно, уместно поставить вопрос о значении пескоструйной обработки титана и его сплавов для микробной колонизации и сделать заключение о необходимости дальнейших исследований в этом направлении. Наши исследования показали, что пескоструйная обработка в большинстве случаев не оказывала значительного влияния на адгезию бактерий. Однако, что

особенно важно, она приводила к значительному увеличению адгезии дрожжевых грибов рода *Candida*. Это может быть связано с их способностью прикрепляться к субстрату благодаря синтезируемым ими гликополисахаридам и шероховатости поверхности [18, 20].

Таким образом, результаты нашего исследования показывают, что антибактериальная активность диоксида титана в кристаллической форме анатаз снижает риски инфицирования и распространения антибиотикорезистентности. Это, в свою очередь, уменьшает затраты на лечение и финансовую нагрузку на систему здравоохранения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании были оценены адгезия санитарно-значимых микроорганизмов, дрожжевых грибов и анаэробных бактерий к образцам из титана, покрытым диоксидом титана в форме анатаз. Результаты показали, что образцы $Ti6Al4V$ с покрытием анатаз обладали высокой antimикробной активностью, что способствовало снижению адгезии бактерий. Большинство образцов $Ti6Al4V$ также демонстрировали высокую биоцидную активность, что помогало подавлять адгезию грамотрицательных анаэробных бактерий. При этом материалы $Ti6Al7Nb$ и Grade4 показали повышенную адгезию грибов, но использование покрытия анатаз значительно уменьшило этот эффект. Пескоструйная обработка титана и его сплавов, в целом, не влияла на адгезию санитарно-значимых бактерий и анаэробных бактерий, но способствовала увеличению адгезии дрожжевых грибов рода *Candida*.

Данные исследования также выявили значительные различия в адгезивной активности микроорганизмов с разным типом дыхания. Анаэробные бактерии оказались менее адгезивными и более чувствительными к биоцидному эффекту покрытия, что указывает на важность дальнейших исследований в этой области.

Таким образом, результаты данного исследования позволяют лучше понять влияние материалов и покрытий на адгезию различных микроорганизмов и разработать новые методики для борьбы с бактериальной колонизацией имплантационных и ортопедических конструкций. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к разработке более эффективных материалов и покрытий для предотвращения возникновения различных инфекций и заболеваний.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Государственное задание Министерства высшего образования и науки, проект FSMG-2023-0006 (соглашение 075-03-2025-662 от 17.01.25).

FUNDING

State assignment of the Ministry of Higher Education and Science, project FSMG-2023-0006 (agreement 075-03-2025-662 dated 17.01.2025).

Поступила/Received: 19.10.2024

Принята в печать/Accepted: 05.03.2025

ЛИТЕРАТУРА:

1. Походенько-Чудакова И.О., Савич А.О. Новые направления исследований по использованию имплантационных материалов в хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. — Вятский медицинский вестник. — 2021; 1 (69): 91—95. [eLibrary ID: 44882346](#)
2. Haleem A., Javaid M., Singh R.P., Rab S., Suman R. Applications of nanotechnology in medical field: a brief review. — *Global Health Journal*. — 2023; 2: 70—77. [DOI: 10.1016/j.glohj.2023.02.008](#)
3. Шулятникова О.А., Рогожников Г.И., Порозова С.Е., Рогожников А.Г., Леушина Е.А. Функциональные наноструктурированные материалы на основе диоксида титана для использования в ортопедической стоматологии. — *Проблемы стоматологии*. — 2020; 1: 171—177. [eLibrary ID: 42817268](#)
4. Куликова А.А., Николаева А.Д., Заблоцкая Н.В., Блинова А.В., Румянцев В.А., Битюкова Е.В. Современные наноматериалы и нанопрепараты в стоматологии: обзор литературы. — Верхневолжский медицинский журнал. — 2020; 2: 16—20. [eLibrary ID: 43791532](#)
5. Янушевич О.О., Ахмедов Г.Д., Панин А.М., Арутюнов С.Д., Царев В.Н. Микроэкология полости рта и инфекционно-воспалительные осложнения в хирургической стоматологии. — М.: Практическая медицина, 2019. — С. 125—165
6. Zhou N., et al. Microbiota analysis of peri-implant mucositis in patients with periodontitis history. — *Clin Oral Investig*. — 2022; 26 (10): 6223—6233. [PMID: 35672515](#)
7. Даудова А.Д., Демина Ю.З., Генатуллина Г.Н., Абдрахманова Р.О., Баева Г.Р., Ясеняевская А.Л., Рубальский О.В. Антибиотикорезистентность. Вызов современности. — *Антибиотики и химиотерапия*. — 2023; 3—4: 66—75. [eLibrary ID: 54127185](#)
8. Смирнов Г.Б. Лекарственная устойчивость бактерий. — *Молекулярная генетика, микробиология и вирусология*. — 2024; 3: 43—48. [eLibrary ID: 72893441](#)
9. Rather M.A., Gupta K., Mandal M. Microbial biofilm: formation, architecture, antibiotic resistance, and control strategies. — *Braz J Microbiol*. — 2021; 52 (4): 1701—1718. [PMID: 34558029](#)
10. Страумал Б.Б., Горнакова А.С., Кильмаметов А.Р., Рабкин Е., Анисимова Н.Ю., Киселевский М.В. Сплавы для медицинских применений на основе β -титана. — *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*. — 2020; 6: 52—64. [eLibrary ID: 44388934](#)
- 11.afari S., et al. Biomedical applications of TiO_2 nanostructures: Recent advances. — *Int J Nanomedicine*. — 2020; 15: 3447—3470. [PMID: 32523343](#)
12. Светлакова А.В., Sanchez Mendez M., Тучина Е.С., Ходан А.Н., Traore M., Azouani R., Kanaev A., Тучин В.В. Исследование фотокаталитической antimикробной активности нанокомпозитов на основе TiO_2 — Al_2O_3 при воздействии светодиодного излучения (405 nm) на стафилококки. — *Оптика и спектроскопия*. — 2021; 6: 736—740. [eLibrary ID: 46489749](#)
13. Ikram M., Hassan J., Raza A., Haider A., Naz S., Ul-Hamid A., Haider J., Shahzadi I., Qamar U., Ali S. Photocatalytic and bactericidal properties and molecular docking analysis of TiO_2 nanoparticles conjugated with Zr for environmental remediation. — *RSC Adv*. — 2020; 10 (50): 30007—30024. [PMID: 35518250](#)
14. Gartner M., Szekeres A., Stroescu H., Mitrea D., Covei M. Advanced nanostructured coatings based on doped TiO_2 for various applications. — *Molecules*. — 2023; 28 (23): 7828. [PMID: 38067557](#)

REFERENCES:

1. Pohodenko-Chudakova I.O., Savich A.O. New perspectives in research on the use of implantation materials in oral surgery and maxillofacial surgery. *Medical Newsletter of Vyatka*. 2021; 1 (69): 91—95 (In Russian). [eLibrary ID: 44882346](#)
2. Haleem A., Javaid M., Singh R.P., Rab S., Suman R. Applications of nanotechnology in medical field: a brief review. *Global Health Journal*. 2023; 2: 70—77. [DOI: 10.1016/j.glohj.2023.02.008](#)
3. Shulyatnikova O., Rogozhnikov G., Porozova S., Rogoznikov A., Leushina E. Functional nanostructured materials based on titanium dioxide for use in orthopedic dentistry. *Actual Problems in Dentistry*. 2020; 1: 171—177 (In Russian). [eLibrary ID: 42817268](#)
4. Kulikova A.A., Nikolaeva A.D., Zablotskaya N.V., Blinova A.V., Rymantsev V.A., Bityukova E.V. Modern nanomaterials and nanomedications in dentistry: literature review. *Upper Volga Medical Journal*. 2020; 2: 16—20 (In Russian). [eLibrary ID: 43791532](#)
5. Yanushevich O.O., Akhmedov G.V., Panin A.M., Arutyunov S.V., Tsarev V.N. Microecology of the oral cavity and infectious and inflammatory complications in surgical dentistry. Moscow: Practical Medicine, 2019. Pp. 125—1 (In Russian).
6. Zhou N., Huang H., Liu H., Li Q., Yang G., Zhang Y., Ding M., Dong H., Mou Y. Microbiota analysis of peri-implant mucositis in patients with periodontitis history. *Clin Oral Investig*. 2022; 26 (10): 6223—6233. [PMID: 35672515](#)
7. Daudova A.D., Demina J.Z., Genatullina G.N., Abdrikhmanova R.O., Baeva G.R., Yasenavskaya A.L., Rubalsky O.V. Antibacterial Resistance. The Challenge of Modernity. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2023; 3—4: 66—75 (In Russian). [eLibrary ID: 54127185](#)
8. Smirnov G.B. Bacterial drug-resistance. *Molecular Genetics, Microbiology and Virology*. 2024; 3: 43—48 (In Russian). [eLibrary ID: 72893441](#)
9. Rather M.A., Gupta K., Mandal M. Microbial biofilm: formation, architecture, antibiotic resistance, and control strategies. *Braz J Microbiol*. 2021; 52 (4): 1701—1718. [PMID: 34558029](#)
10. Straumal B.B., Gornakova A.S., Kilmametov A.R., Rabkin E., Anisimova N.Yu., Kiselevsky M.V. B - Ti -based alloys for medical applications. *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2020; 6: 52—64 (In Russian). [eLibrary ID: 44388934](#)
11. Jafari S., Mahyad B., Hashemzadeh H., Janfaza S., Gholikhani T., Tayebi L. Biomedical applications of TiO_2 nanostructures: Recent advances. *Int J Nanomedicine*. 2020; 15: 3447—3470. [PMID: 32523343](#)
12. Svetlakova A.V., Sanchez Mendez M., Tuchina E.S., Khodan A.N., Traore M., Azouani R., Kanev A., Tuchin V.V. Study of the photocatalytic antimicrobial activity of nanocomposites based on TiO_2 — Al_2O_3 under the action of LED radiation (405 nm) on *Staphylococci*. *Optics and Spectroscopy*. 2021; 129: 846—850. [DOI: 10.1134/S0030400X21060175](#)
13. Ikram M., Hassan J., Raza A., Haider A., Naz S., Ul-Hamid A., Haider J., Shahzadi I., Qamar U., Ali S. Photocatalytic and bactericidal properties and molecular docking analysis of TiO_2 nanoparticles conjugated with Zr for environmental remediation. *RSC Adv*. 2020; 10 (50): 30007—30024. [PMID: 35518250](#)
14. Gartner M., Szekeres A., Stroescu H., Mitrea D., Covei M. Advanced nanostructured coatings based on doped TiO_2 for various applications. *Molecules*. 2023; 28 (23): 7828. [PMID: 38067557](#)

15. Wu S., Xu J., Zou L., Luo S., Yao R., Zheng B., Liang G., Wu D., Li Y. Long-lasting renewable antibacterial porous polymeric coatings enable titanium biomaterials to prevent and treat peri-implant infection. — *Nat Commun.* — 2021; 12 (1): 3303. [PMID: 34083518](#)
16. Ильина Т.С., Романова Ю.М. Бактериальные биопленки: роль в хронических инфекционных процессах и поиск средств борьбы с ними. — *Молекулярная генетика, микробиология и вирусология.* — 2021; 2: 14—24. [eLibrary ID: 46239874](#)
17. Рогачева Е.В. Антибактериальные свойства новых химических соединений природного и синтетического происхождения в отношении бактерий группы ESKAPE: автореф. дис. ... к.м.н. — М.: РУДН, 2024. — 23 с.
18. Царев В.Н., Подпорин М.С., Царева Т.В., Царева В.В., Козодаев М.Г., Ипполитов Е.В. Антиадгезивное и antimicrobное действие покрытия из оксида титана с кристаллической структурой анатаз в экспериментах *in vitro* для имплантируемых медицинских изделий. — *Клиническая стоматология.* — 2024; 3: 6—13. [eLibrary ID: 71035211](#)
19. Царев В.Н., Степанов А.Г., Ипполитов Е.В., Подпорин М.С., Царева Т.В. Контроль первичной адгезии микроорганизмов и формирования биопленок на стоматологических материалах, используемых для трансдентальной имплантации при зубосохраняющих операциях. — *Клиническая лабораторная диагностика.* — 2018; 9: 568—573. [eLibrary ID: 36510269](#)
20. Царев В.Н., Ипполитов Е.В., Трефилов А.Г., Арутюнов С.Д., Пивоваров А.А. Особенности адгезии анаэробных пародонтопатогенных бактерий и грибов *Candida albicans* к экспериментальным образцам базисной стоматологической пластмассы в зависимости от шероховатости поверхности и способа полировки. — *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии.* — 2014; 6: 21—27. [eLibrary ID: 23492909](#)
21. Nazarov D., Kozlova L., Rudakova A., Zemtsova E., Yudintceva N., Ovcharenko E., Koroleva A., Kasatkin I., Kraeva L., Rogacheva E., Maximov M. Atomic layer deposition of chlorine containing titanium—zinc oxide nanofilms using the supercycle approach. — *Coatings.* — 2023; 5: 960. [DOI: 10.3390/coatings13050960](#)
22. Иванов С.Ю., Карасенков Я.Н., Латута Н.В., Джатдаев В.В., Егоров Е.А., Тарасова Е.К., Козлова Э.В., Козлов П.А. Применение наночастиц металлов и их оксидов в стоматологических композитных материалах и конструкциях. Обзор (часть 1). — *Клиническая стоматология.* — 2022; 4: 159—165. [eLibrary ID: 49940631](#)
23. Иванов С.Ю., Царев В.Н., Ивашкевич С.Г., Чувилкин В.И., Аleshин Н.А. Оценка степени адгезии бактерий полости рта к элек-третной поверхности дентальных имплантатов. — *Институт стоматологии.* — 2006; 2 (31): 40—41. [eLibrary ID: 14343848](#)
24. Naikoo G., Al-Mashali F., Arshad F., Al-Maashani N., Hassan I.U., Al-Baraami Z., Faruck L.H., Qurashi A., Ahmed W., Asiri A.M., Al-jabali A.A., Bakshi H.A., Tambuwala M.M. An overview of copper nanoparticles: Synthesis, characterisation and anticancer activity. — *Curr Pharm Des.* — 2021; 27 (43): 4416—4432. [PMID: 34348615](#)
25. Yin I.X., Zhang J., Zhao I.S., Mei M.L., Li Q., Chu C.H. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. — *Int J Nanomedicine.* — 2020; 15: 2555—2562. [PMID: 32368040](#)
26. Горбачев С.А., Осовская И.И. Диоксид титана. Повышение его фотокаталитической активности: учебное пособие. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2019. — 24 с. [DOI: 10.23682/102511](#)
15. Wu S., Xu J., Zou L., Luo S., Yao R., Zheng B., Liang G., Wu D., Li Y. Long-lasting renewable antibacterial porous polymeric coatings enable titanium biomaterials to prevent and treat peri-implant infection. *Nat Commun.* 2021; 12 (1): 3303. [PMID: 34083518](#)
16. Illyina T.S., Romanova Yu.M. Bacterial biofilms: their role in chronic infection processes and the means to combat them. *Molecular Genetics, Microbiology and Virology.* 2021; 2: 14—24 (In Russian). [eLibrary ID: 46239874](#)
17. Rogacheva E.V. Antibacterial properties of new chemical compounds of natural and synthetic origin in relation to ESKAPE group bacteria: dissertation abstract: master's thesis abstract. Moscow: RUDN University, 2024. 23 p. (In Russian).
18. Tsarev V.N., Podporin M.S., Tsareva T.V., Tsareva V.V., Kozodaev M.G., Ippolitov E.V. Antiadhesive and antimicrobial effect of titanium oxide coating with anatase structure in *in vitro* experiments for medical implants. *Clinical Dentistry (Russia).* 2024; 3: 6—13 (In Russian). [eLibrary ID: 71035211](#)
19. Tsarev V.N., Stepanov A.G., Ippolitov E.V., Podporin M.S., Tsareva T.V. Control of primary adhesion of microorganisms and formation of biofilms on stomatological materials used for trans-dental implantation in dental stabilizing operations. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics.* 2018; 9: 568—573 (In Russian). [eLibrary ID: 36510269](#)
20. Tsarev V.N., Ippolitov E.V., Trefilov A.G., Arutyunov S.D., Pivovarov A.A. Features of adhesion of anaerobic periodontopathogenic bacteria and *Candida albicans* fungi to experimental samples of basis dental plastic depending on surface roughness and polishing method. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology.* 2014; 6: 21—27 (In Russian). [eLibrary ID: 23492909](#)
21. Nazarov D., Kozlova L., Rudakova A., Zemtsova E., Yudintceva N., Ovcharenko E., Koroleva A., Kasatkin I., Kraeva L., Rogacheva E., Maximov M. Atomic layer deposition of chlorine containing titanium—zinc oxide nanofilms using the supercycle approach. *Coatings.* 2023; 5: 960. [DOI: 10.3390/coatings13050960](#)
22. Ivanov S.Yu., Karasenkov Ya.N., Latuta N.V., Dzhatdaev V.V., Egorov E.A., Tarasova E.K., Kozlova E.V., Kozlov P.A. Application of metal nanoparticles and their oxides in dental composite materials and structures: A review (part I). *Clinical Dentistry (Russia).* 2022; 4: 159—165 (In Russian). [eLibrary ID: 49940631](#)
23. Ivanov S.Yu., Tsarev V.N., Ivashkevich S.G., Chuvilkin V.I., Alyoshin N.A. Evaluation of the degree of adhesion of oral bacteria to the electret surface of dental implants. *The Dental Institute.* 2006; 2 (31): 40—41 (In Russian). [eLibrary ID: 14343848](#)
24. Naikoo G., Al-Mashali F., Arshad F., Al-Maashani N., Hassan I.U., Al-Baraami Z., Faruck L.H., Qurashi A., Ahmed W., Asiri A.M., Al-jabali A.A., Bakshi H.A., Tambuwala M.M. An overview of copper nanoparticles: Synthesis, characterisation and anticancer activity. *Curr Pharm Des.* 2021; 27 (43): 4416—4432. [PMID: 34348615](#)
25. Yin I.X., Zhang J., Zhao I.S., Mei M.L., Li Q., Chu C.H. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *Int J Nanomedicine.* 2020; 15: 2555—2562. [PMID: 32368040](#)
26. Gorbachev S.A., Osovskaya I.I. Titanium dioxide. Increasing its photocatalytic activity: a textbook. Saint-Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2019. 24 p. [DOI: 10.23682/102511](#)

27. Sadoon A.A., Khadka P., Freeland J., Gundampati R.K., Manso R.H., Ruiz M., Krishnamurthi V.R., Thallapuram S.K., Chen J., Wang Y. Silver ions caused faster diffusive dynamics of histone-like nucleoid-structuring proteins in live bacteria. — *Appl Environ Microbiol.* — 2020; 86 (6): e02479—19. [PMID: 31953329](#)
28. Shetnev A., Tarasenko M., Kotlyarova V., Baykov S., Geyl K., Kasatkina S., Sibinčić N., Sharoyko V., Rogacheva E.V., Kraeva L.A. External oxidant-free and transition metal-free synthesis of 5-amino-1,2,4-thiadiazoles as promising antibacterials against ESKAPE pathogen strains. — *Mol Divers.* — 2023; 27 (2): 651—666. [PMID: 35639224](#)
27. Sadoon A.A., Khadka P., Freeland J., Gundampati R.K., Manso R.H., Ruiz M., Krishnamurthi V.R., Thallapuram S.K., Chen J., Wang Y. Silver ions caused faster diffusive dynamics of histone-like nucleoid-structuring proteins in live bacteria. *Appl Environ Microbiol.* 2020; 86 (6): e02479—19. [PMID: 31953329](#)
28. Shetnev A., Tarasenko M., Kotlyarova V., Baykov S., Geyl K., Kasatkina S., Sibinčić N., Sharoyko V., Rogacheva E.V., Kraeva L.A. External oxidant-free and transition metal-free synthesis of 5-amino-1,2,4-thiadiazoles as promising antibacterials against ESKAPE pathogen strains. *Mol Divers.* 2023; 27 (2): 651—666. [PMID: 35639224](#)

Москва, Россия
21-24.04.2025



ДЕНТАЛ САЛОН

57-Й МОСКОВСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЙ
ФОРУМ И ВЫСТАВКА

Москва, Крокус Экспо, павильон 2
www.dental-expo.com



КРУПНЕЙШАЯ ВЫСТАВКА, ПЛОЩАДКА ОБУЧЕНИЯ И НЕТВОРКИНГА

Организатор:

DENTALEXPO[®]

+7 499 707 23 07 | info@dental-expo.com

Стратегический
партнер:



Генеральный
партнер выставки:



Официальный
партнер выставки:



БЕЛОДЕЗ

двухкомпонентный набор

«Белодез» жидкость 3 % – раствор гипохлорита натрия для антисептической обработки корневых каналов

«Белодез активатор» или «Белодез активатор плюс» – раствор для понижения поверхностного натяжения жидкости

Новая форма выпуска наборов

жидкость 30 100 мл

активатор 30 100 мл

жидкость 30 100 мл

активатор плюс 5 10 мл



на правах рекламы



НОВЫЙ. НЕПРЕВЗОЙДЁННЫЙ.
ФОТОПОЛИМЕРИЗАТОР.



ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ULTRADENT В РОССИИ
123182, Москва, ул. Щукинская, 2, тел./факс: (495) 780-5245/46
бесплатный многоканальный телефон: 8-800-333-0646
www.student.ru, mail@student.ru

S.T.I.[®]
DENT