

DOI: 10.37988/1811-153X_2023_1_24

[С.И. Гажва,](#)д.м.н., профессор, зав. кафедрой
стоматологии ФДПО[А.Г. Манукян,](#)

стоматолог-ортопед

[А.И. Тетерин,](#)

к.м.н., доцент, стоматолог-ортопед

[К.А. Янышева,](#)

аспирант кафедры стоматологии ФДПО

[Е.Ю. Якубова,](#)

к.м.н., стоматолог-терапевт

Приволжский исследовательский
медицинский университет,
603005, Нижний Новгород, Россия**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Гажва С.И., Манукян А.Г., Тетерин А.И., Янышева К.А., Якубова Е.Ю. Влияние различных способов одонтопрепарирования на структуру и микроэлементный состав эмали. — Клиническая стоматология. — 2023; 26 (1): 24—31. DOI: 10.37988/1811-153X_2023_1_24

[S.I. Gazhva,](#)PhD in Medical Sciences, full professor
of the Dentistry Department[A.G. Manukyan,](#)

prosthodontist

[A.I. Teterin,](#)PhD in Medical Sciences, assistant professor,
prosthodontist[K.A. Yanysheva,](#)

postgraduate at the Dentistry Department

[E.Y. Yakubova,](#)

PhD in Medical Sciences, dentist

Privolzhsky Research Medical University,
603005, Nizhny Novgorod, Russia

Влияние различных способов одонтопрепарирования на структуру и микроэлементный состав эмали

Реферат. Проведенные ранее научные изыскания и достигнутые практические результаты свидетельствуют о том, что до настоящего времени выбор оптимальной технологии одонтопрепарирования является предметом дальнейшего научного поиска. **Цель** — изучить *in vitro* влияние способов одонтопрепарирования на поверхность эмали, ее структуру, качественный и количественный микроэлементный состав на этапах подготовки зубов к микропротезированию. **Материалы и методы.** Исследовали 45 образцов зубов, удаленных по ортодонтическим и ортопедическим показаниям, подготовленных по специальной методике, которые поделили на 3 равные группы в зависимости от способа препарирования: I группа — интактная эмаль, II — препарирование алмазными борами, III — аэроабразивная обработка порошком оксида алюминия (Al_2O_3). Поверхность эмали на образцах изучали под растровым электронным микроскопом с увеличением от 400 до 6000 раз. Проводили микрорентгено-спектральный анализ с определением массовой доли C, O, Na, Mg, Al, Ca и P. **Результаты.** В образцах зубов интактная эмаль характеризуется однородной структурой поверхности на фоне ее стабильного количественного и качественного микроэлементного состава. На поверхности эмали, скомпрометированной механическим воздействием от различных способов препарирования (использование алмазных боров и аэроабразии), наблюдаются нарушения различной степени выраженности: от незначительных углублений размером 5 мкм (III группа) до волнообразных — размером 5—60 мкм, с наличием горизонтальных микротрещин, осколков эмалевых призм, со следами алмазного напыления от повторяющихся однонаправленных движений граней бора (II группа). При этом во II группе на фоне увеличения доли кальция с 32,56 до 34,48% и фосфора с 12,42 до 14,99% незначительно уменьшается количество углерода, магния и алюминия (на 0,49, 0,36 и 0,30% соответственно) по сравнению с I группой. В III группе отмечается увеличение доли кислорода с 32,66 до 36,06% и фосфора с 12,42 до 15,14% на фоне отрицательной динамики содержания углерода, магния и алюминия. Сравнительный анализ результатов биологических образцов показал уменьшение содержания углерода в 1,3 раза и увеличение содержания магния в 1,85 раза в III группе по сравнению со II группой. **Заключение.** При одонтопрепарировании под малоинвазивные керамические реставрации меняется поверхность эмали, происходят ее структурные изменения, нарушается равновесие между количественным и качественным микроэлементным составом, степень выраженности которых зависит от способа препарирования. При этом подготовка зуба аэроабразивным методом является более щадящей в плане сохранности структуры эмали, но менее стабильной в отношении количественного микроэлементного состава.

Ключевые слова: препарирование, эмаль, микроэлементный состав, микроинвазивные технологии

Structural and microelemental changes in enamel under the influence of various methods of preparation

Abstract. Previous scientific researches and obtained practical results show that the choice of the optimal technology of odontopreparation is still a subject of further scientific research. **Objective** — To study *in vitro* influence of methods of odontopreparation on the surface of enamel, its structure, qualitative and quantitative composition of microelements at the stages of preparation of teeth for microprosthetics. **Materials and methods.** 45 samples of teeth extracted for orthodontic and prosthetic indications and prepared by a special technique were studied. They were divided into 3 equal groups according to the method of preparation: Group I — intact enamel, II — preparation with diamond burs, III — air abrasion. The enamel surface of the specimens was examined under a scanning electron microscope with a magnification from 400 to 6000 times. Micro X-ray spectral analysis with determination of mass fractions of C, O, Na, Mg, Al, Ca and P was carried out. **Results.** In intact tooth samples, enamel is characterized by a homogeneous surface structure against the background of its stable quantitative and qualitative microelement composition.

FOR CITATION:

Gazhva S.I., Manukyan A.G., Teterin A.I., Yanyshva K.A., Yakubova E.Y. Structural and microelemental changes in enamel under the influence of various methods of preparation. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2023; 26 (1): 24—31 (In Russ.). DOI: 10.37988/1811-153X_2023_1_24

On the surface of enamel affected by mechanical influence of various methods of preparation (use of diamond drills and aeroabrasion), disturbances of various degree of expressiveness are observed: from insignificant grooves of the size of 5 μm (III group) to wavy — 5—60 μm , with the presence of horizontal microcracks, fragments of enamel prisms, with traces of diamond splashes from repeated unidirectional movements of drill facets (II group). At the same time in group II against the background of increase in the proportion of calcium from 32.56 to 34.48% and phosphorus from 12.42 to 14.99% slightly decreased the amount of carbon, magnesium and aluminum (by 0.49, 0.36 and 0.30%, respectively) in comparison with group I. In group III there is an increase in the proportion of oxygen from 32.66 to 36.06% and phosphorus from 12.42 to 15.14% against the background of negative dynamics of carbon, magnesium and aluminum. Comparative analysis of the results of biological samples showed a 1.3-fold decrease in carbon content and a 1.85-fold increase in magnesium content in group III compared to group II. **Conclusion.** During odontopreparation with minimally invasive ceramic restorations, the enamel surface changes, its structure is altered, and the balance between the quantitative and qualitative microelement composition changes, the degree of which depends on the preparation method. In this case, preparation of the tooth by air abrasion is more gentle in terms of preserving the enamel structure, but less stable in terms of quantitative trace element composition.

Key words: preparation, enamel, trace element composition, microinvasive technologies

ВВЕДЕНИЕ

В структуре стоматологической заболеваемости достаточно часто встречается патология, которая для большинства пациентов представляет эстетический функциональный и психологический дискомфорт, связанный с изменением цвета, формы и размеров зубов [1—4]. Одним из распространенных способов эффективного устранения эстетических дефектов во всех возрастных периодах является использование малоинвазивных органосохраняющих техник для изготовления адгезивных керамических реставраций с предварительным препарированием зубов в пределах эмали для создания адгезивной поверхности [5, 6].

Для этих целей используются как традиционные, так и инновационные методы препарирования, к которым относится и аэробразия (кинетический метод) [7, 8]. Несмотря на появление новых видов препарирования, его принципы остаются неизменными: минимальное травмирование твердых и мягких тканей зуба, максимальное сохранение структуры эмали, ее микроэлементного состава, создание оптимальной адгезионной поверхности [9, 10].

Известно, что эмаль представляет собой не только уникальный биокomпозитный материал, содержащий в своем составе как органические, так и неорганические компоненты, она является самой твердой минерализованной тканью в организме человека из-за доминирующего неорганического состава с четко определенной архитектурой, однако отсутствие способности к регенерации делает ее уязвимой со стороны внешних факторов [11—14]. Поэтому одонтопрепарирование, реализованное с помощью различных техник, имеющих как сильные, так и слабые стороны, не исключает повреждения микроструктуры твердых тканей зубов. Даже минимальное шлифовывание эмали (0,3—0,5 мм) приводит к изменениям в эмали, дентине, пульпе на разных уровнях [15, 16].

A. Gil-Vona и соавт. (2020) утверждают, что при клиническом препарировании зубов алмазными борами происходит механическое повреждение эмали в виде царапин, углублений и трещин, которые приводят к повреждению и ее более глубоких слоев [17, 18]. Кроме того, по данным А.А. Беленчекова (2017), механическое воздействие с помощью ротационных инструментов на эмаль приводит также к изменению ее количественного и качественного состава, нарушению целостности эмалевых призм, способствуя появлению чувствительности и снижению прочности зубов [19].

Вместе с тем вопросам, связанным с выбором метода препарирования на этапе подготовки к эстетической реставрации, оценке его эффективности уделяется недостаточно внимания, как в научном мире, так и в профессиональном сообществе, его результат не всегда удается оценить сразу, а последствия приходится устранять в отдаленные сроки [20—23]. Поэтому выбор оптимальной технологии для препарирования эмали на этапе подготовки к эстетическим реставрациям до настоящего времени является предметом научного поиска и требует дальнейшего изучения [24—26].

Цель — изучить *in vitro* влияние способов одонтопрепарирования на поверхность эмали, ее структуру, качественный и количественный микроэлементный состав на этапах подготовки зубов к микропротезированию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе кафедры стоматологии ПИМУ (Нижний Новгород) и лаборатории электронной микроскопии и малоугловой рентгеновской дифрактометрии кафедры общей физики Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева (Саранск). Материал исследования — зубы (4 резца и 11 премоляров), удаленные по ортодонтическим и ортопедическим показаниям у пациентов обоего пола в возрасте от 23 до 45 лет; из них изготовлено

45 биологических образцов по методике О.С. Гилевой, Е.С. Ерофеевой [27]. В зависимости от вида одонтопрепарирования они были разделены на 3 равные группы:

- I — биологические образцы зубов с интактной эмалью;
- II — образцы, одонтопрепарирование которых проводили алмазными борами;
- III — образцы зубов, подвергшиеся аэроабразивной обработке.

Для стандартизации результатов дизайн исследования включал поэтапную подготовку образцов. Сначала изготовили и исследовали образцы с интактной эмалью (I группа). Затем из них путем сепарации в вертикальном направлении было получено 30 образцов для II и III группы. Таким образом, исследуемые образцы были изготовлены из одних и тех же зубов, исследовались по одним и тем же технологиям. Следовательно,

полученные результаты сопоставимы, и ультраструктурные различия рельефа эмали поверхности разных групп зубов скорее всего принципиального значения не имеют.

Одонтопрепарирование во II группе осуществляли в пределах эмалевого слоя зуба турбинным повышающим наконечником борами Komet Dental (Германия) с зеленой и красной насечкой в трех плоскостях с формированием уступа по традиционной методике, повторяя естественный угол наклона вестибулярной поверхности зуба.

В III группе зубы в течение 15–30 секунд обрабатывали порошком оксида алюминия с размером частиц 27 мкм из воздушно-абразивного наконечника.

Структурные особенности образцов изучали с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 200i 3D FEI. Всего получили 180 цифровых копий образцов зубов, по 60 в каждой группе, с увеличением 400, 800, 3000 и 6000. Микрорентгеноспектральный анализ проводили с помощью энергодисперсионного кремневого детектора Apollo X, которым укомплектован электронный микроскоп (он позволяет изучать элементный состав эмали).

При статистической обработке данных для определения нормальности распределения использовали критерий Шапиро–Уилка. Для сравнения групп применяли параметрический *t*-критерий для двух независимых выборок, дисперсионный анализ, непараметрический критерии Пирсона и Манна–Уитни для двух независимых выборок, Краскелла–Уоллиса для нескольких выборок, при необходимости — с поправкой на множественные сравнения Бонферрони. Различия считали статистически достоверно значимыми при $p < 0,05$.

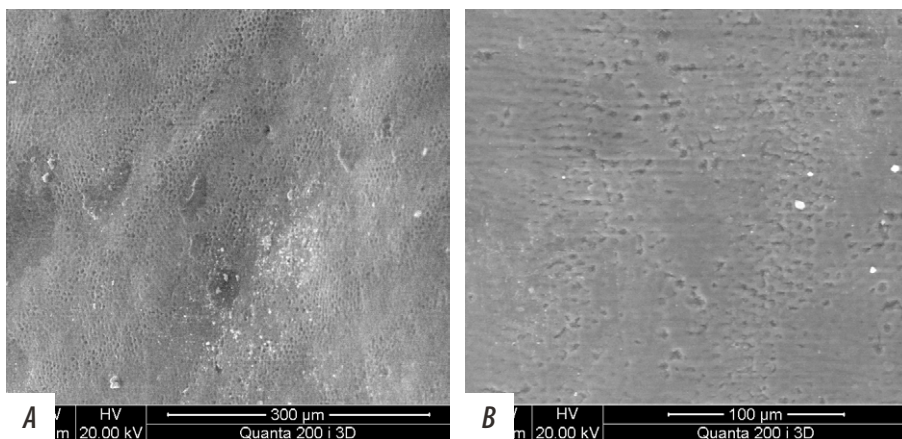


Рис. 1. Интактная эмаль: А — увеличение 400, В — увеличение 800
Fig. 1. Intact enamel: A — magnification 400x, B — magnification 800x

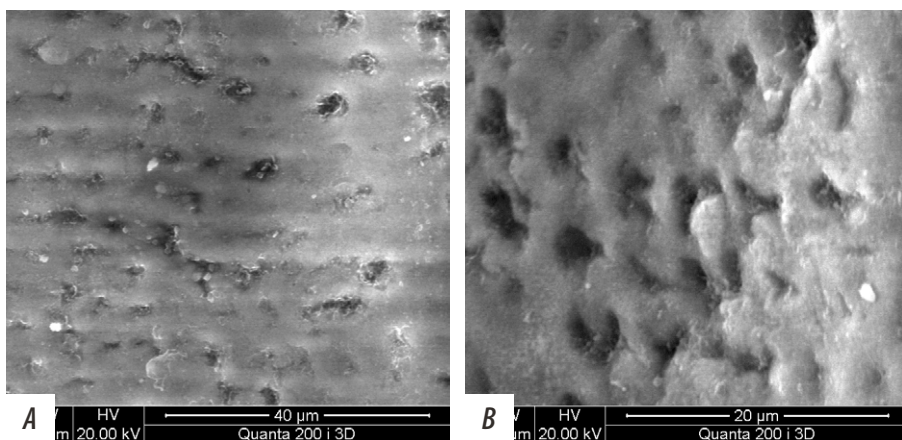


Рис. 2. Интактная эмаль: А — увеличение 3000, В — увеличение 6000
Fig. 2. Intact enamel: A — magnification 3000x, B — magnification 6000x

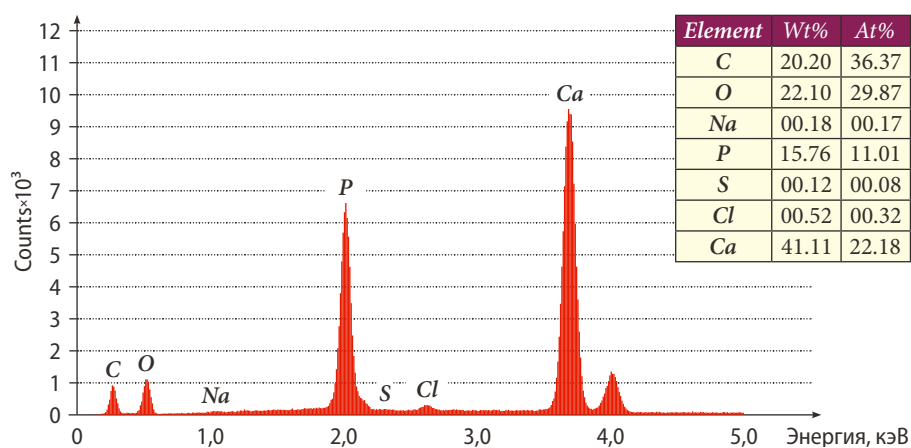


Рис. 3. Элементный состав интактной эмали
Fig. 3. Elemental composition of intact enamel

РЕЗУЛЬТАТЫ

На образцах I группы при увеличении 400 и 800 визуализируется достаточно гладкая, относительно однородная структура поверхностного слоя эмали (рис. 1). Однако при увеличении 3000 и 6000 обнаружены участки со значительным количеством пор разного диаметра — от 485 до 695 нм, эмалевые призмы четко структурированы, несмотря на различные варианты расположения кристаллов гидроксиапатита (рис. 2). Анализ микрофотографий структуры эмали свидетельствует о том, что для нее в норме характерна однородная, ровная структура поверхности, архитектура соответствует критериям нормы на фоне ее стабильного качественного и количественного состава (см. таблицу), который подтвержден с помощью энергодисперсионного микроанализа (рис. 3).

Во II группе анализ электронных копий показал видимые изменения поверхности эмали, как ее структуры, так и рельефа: на поверхности видны следы повторяющегося однонаправленного движения граней бора со следами алмазного напыления (рис. 4).

Грани алмазного напыления бора оставляют волнообразные углубления, в которых фиксированы осколки эмалевых призм в пределах от 5 до 60 мкм (рис. 5A). При увеличении в 6000 раз визуализированы частично разрушенные пучки эмалевых призм, их множественные осколки, которые можно расценивать как плотные конгломераты на поверхности горизонтальной исчерченности, которые принципиально меняют поверхность эмали. Подтверждением травмирующего действия бора, покрытого алмазным напылением, являются изменения поверхности эмали с различной архитектурикой: от пластинчатых наслоений бесструктурного вещества до горизонтальных микротрещин, широких узур, за счет разрушения эмалевых призм и их однонаправленного сдвига (рис. 5B).

Качественный и количественный состав препарированной алмазным бором эмали ощутимо меняется по сравнению с интактной (рис. 6). На фоне заметного увеличения доли кальция на 1,99%

и фосфора на 2,57% незначительно уменьшается количество углерода (на 0,49%), магния (на 0,36%) и алюминия (на 0,30%), что делает поверхность эмали более шероховатой и менее стабильной в плане микроэлементного состава.

В образцах III группы выявлены микроструктуральные изменения, которые представляют определенный «пейзаж» поверхности эмали: однородный графический

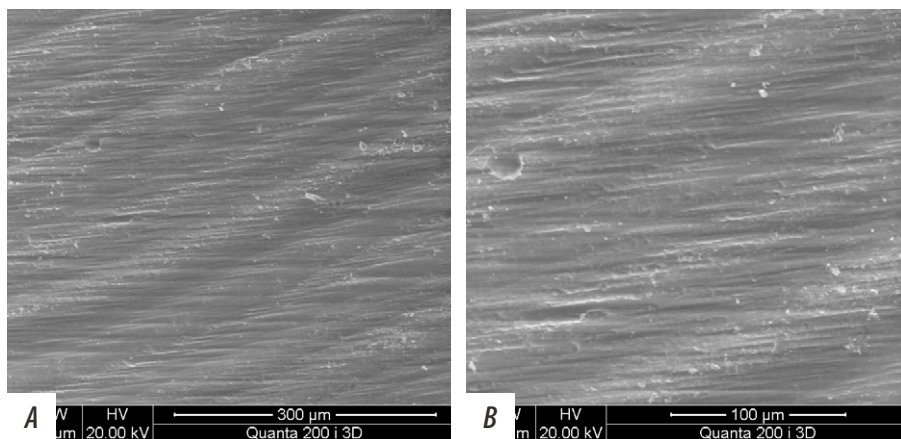


Рис. 4. Эмаль после обработки алмазным бором: А — увеличение 400, В — увеличение 800
Fig. 4. Enamel prepared with a diamond bur: A — magnification 400×, B — magnification 800×

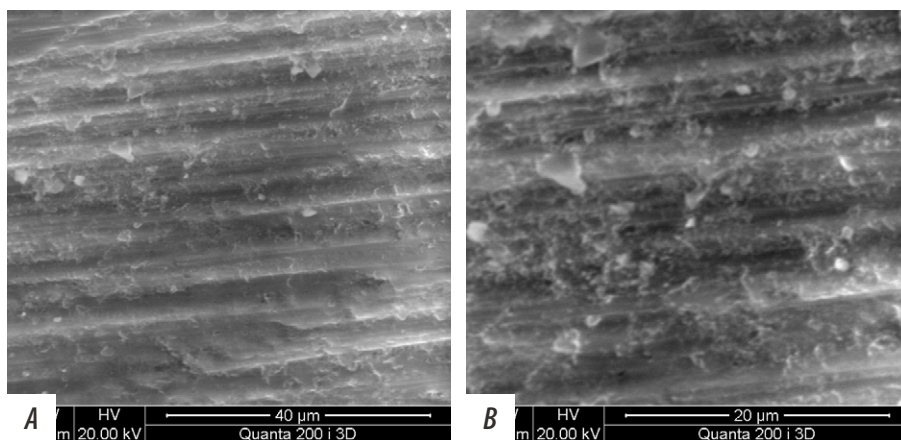


Рис. 5. Эмаль после обработки алмазным бором: А — увеличение 3000, В — увеличение 6000
Fig. 5. Enamel prepared with a diamond bur: A — magnification 3000×, B — magnification 6000×

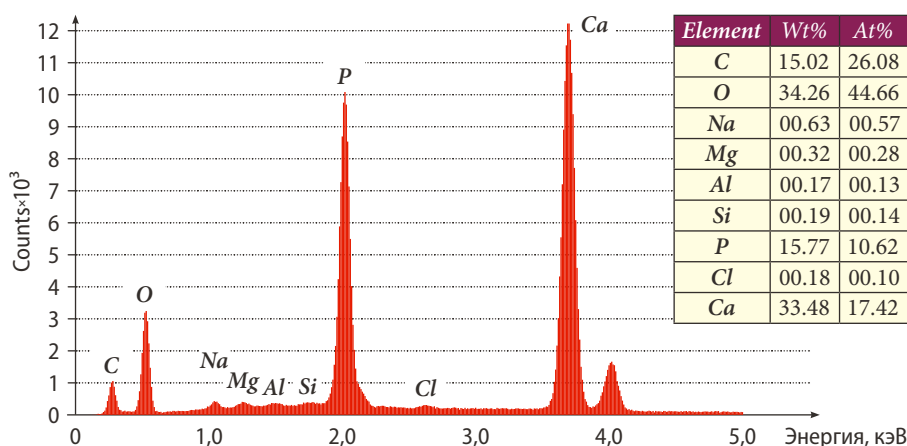


Рис. 6. Элементный состав эмали, препарированной алмазным бором
Fig. 6. Elemental composition of enamel prepared with a diamond bur

рельеф, образованный мелкозернистой структурой, отчетливо различимый при увеличении от 400 раз (рис. 7, 8А). Увеличение в 6000 раз позволяет наблюдать значительное число углублений неправильной формы от 2 до 5 нм в эмали, ее фрагменты — как результат эффекта раскалывания (рис. 8В).

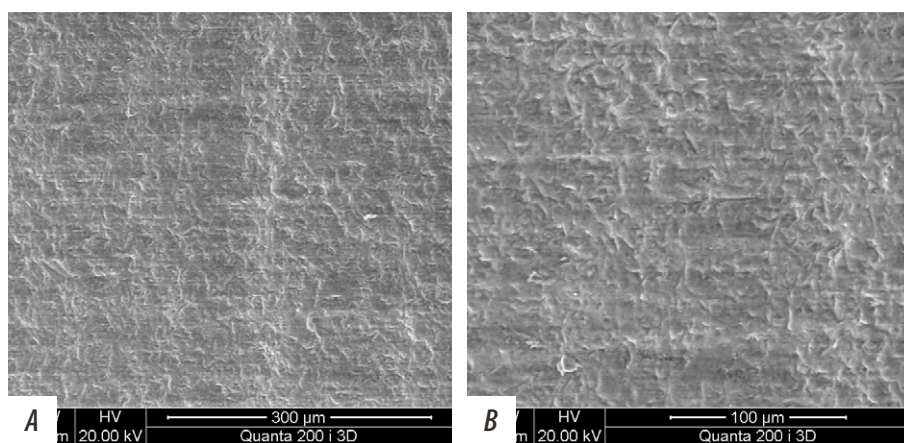


Рис. 7. Эмаль после аэроабразивной обработки: А — увеличение 400, В — увеличение 800
Fig. 7. Enamel prepared by the aeroabrasive method: A — magnification 400×, B — magnification 800×

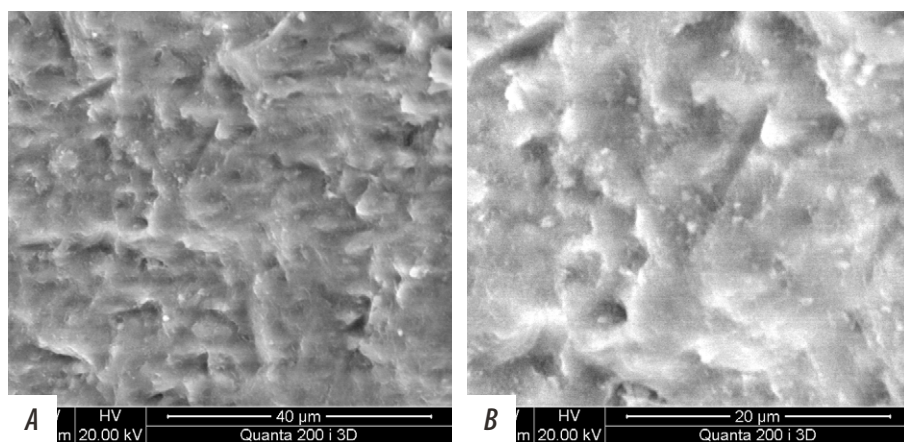


Рис. 8. Эмаль после аэроабразивной обработки: А — увеличение 3000, В — увеличение 6000
Fig. 8. Enamel prepared by the aeroabrasive method: A — magnification 3000×, B — magnification 6000×

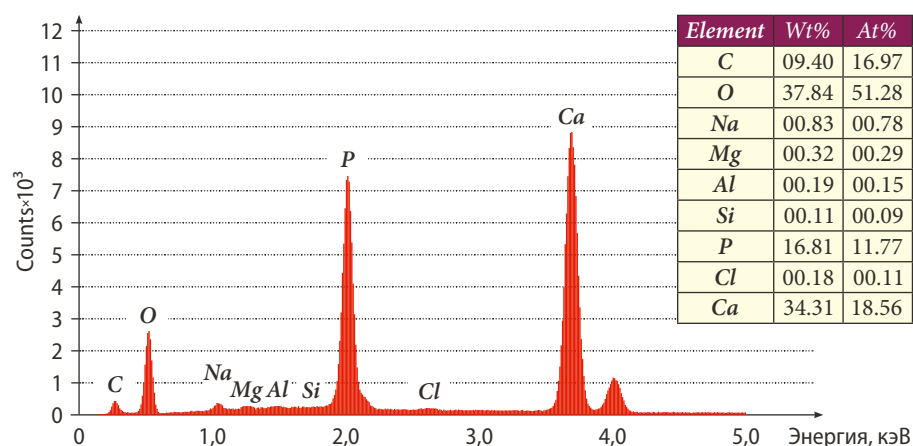


Рис. 9. Элементный состав эмали, препарированной аэроабразивным методом
Fig. 9. Elemental composition of enamel prepared by aeroabrasive method

Качественный и количественный состав подготовленной аэроабразивным методом эмали значительно меняется, заметна динамика в сторону уменьшения доли углерода (на 4,49%), магния (на 0,19%) и алюминия (на 0,30%) при значительном увеличении доли кислорода (на 3,40%) и фосфора (на 2,72%; рис. 9).

Анализ количественного элементного состава поверхности эмали выявил различия между содержанием углерода — в образцах II и III группы сдвиг в сторону уменьшения углерода (до 15,64 и 11,64% соответственно) относительно I группы (16,13%). Однофакторный дисперсионный анализ, который был использован для сравнения содержания углерода в образцах I—III групп, выявил значения $F=4,422$ ($p=0,020$). Установлены статистически значимые различия между I и III группой ($p=0,020$) и II и III группой ($p=0,075$). Принимая во внимание множественные сравнения, приведены скорректированные значения p .

В образцах III группы наблюдается увеличение содержания кислорода и натрия. Так, доля кислорода увеличивается с 32,66 до 36,06%, а натрия — с 0,62 до 0,75%, что свидетельствует о нарушении количественного состава данных микроэлементов в структуре эмали. Для определения характера распределения использован критерий Шапиро—Уилка. Оценку различий между группами выполняли при помощи однофакторного дисперсионного анализа с последующим проведением апостериорного теста (поправки Бонферрони). Статистически значимых различий между группами не выявлено: для кислорода $F=1,699$ ($p=0,198$); для натрия $F=1,497$ ($p=0,238$).

Содержание магния в образцах III группы оказалось в 1,85 раза выше, чем в образцах II группы (рис. 13). Принадлежность выборок к нормальному распределению определяли с помощью критерия Шапиро—Уилка и графиков квантилей (содержание магния имеет асимметричное распределение). Для анализа различий качественных данных использовали таблицы сопряженности и критерий Пирсона — $\chi^2=9,110$ ($p=0,010$).

Статистически значимые различия наблюдаются между образцами I и II группы ($p=0,019$).

Количество алюминия в эмали образцов II и III групп значительно меньше по сравнению с I группой. Для анализа качественных данных использовали таблицы сопряженности и критерий Пирсона. Статистически значимых различий не выявлено: $\chi^2=1,523$ ($p=0,467$).

При этом во II группе наблюдается тенденция к увеличению доли кальция и фосфора по сравнению с образцами III группы. Для кальция $F=0,249$ ($p=0,153$), для фосфора $\chi^2=3,757$ ($p=0,153$).

Сравнивая химический состав биологических образцов интактной эмали с образцами, одонтопрепарированные которых проводилось с использованием алмазных боров и аэроабразивной обработки порошком оксида алюминия, было отмечено следующее: при аэроабразивной обработке наблюдается снижение доли углерода в 1,5 раза, повышение содержания кислорода, снижение количества магния, алюминия, тогда как во 2 группе — снижение содержания магния, алюминия.

При анализе результатов препарирования эмали на основе расшифровки отчетов-протоколов было обнаружено уменьшение содержания углерода в 1,3 раза и увеличение содержания магния в 1,85 раза в III группе.

ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на достаточно востребованную технологию малоинвазивных реставраций на практике, проведенный научный поиск в информационных поисковых системах eLIBRARY, Scopus, PubMed и базе патентов на сайте Федерального института промышленной собственности показал ограниченное количество научных публикаций. Кроме того, публикации, посвященные вопросам одонтопрепарирования как этапа подготовки к керамическим реставрациям, не дают полного представления о механизмах повреждения эмали и способах ее реабилитации. Поэтому полученные нами результаты направлены на расширение научных знаний специалистов стоматологического профиля и повышение эффективности ортопедического лечения стоматологической патологии.

Понимание процессов, которые происходят в эмали под воздействием препарирования, достигается глубокими теоретическими знаниями в области ее строения (95–96% — неорганические вещества, 1% — органическая матрица, 3% — вода), количественного и качественного микроэлементного состава [28].

Несмотря на то что эмаль является практически самой твердой тканью, благодаря своим механизмам образования, она не способна к регенерации, а значит, не способна самостоятельно восстанавливаться и подвергается регрессивным физическим изменениям в результате препарирования [29]. Подтверждением этой концепции являются полученные нами результаты расшифровки цифровых копий биологических образцов интактной и препарированной двумя способами эмали, полученных с помощью растровой электронной микроскопии. Доказано, что препарирование в любом виде

Элементный состав эмали в группах сравнения (в % по массе) Elemental composition of enamel in groups (in % by weight)

| Элемент | I группа | II группа | III группа |
|----------|------------|------------|--------------------------|
| Углерод | 16,13±4,88 | 15,64±3,62 | 11,64±2,85 ^{†#} |
| Кислород | 32,66±6,34 | 32,05±6,35 | 36,06±5,04 |
| Натрий | 0,62±0,24 | 0,61±0,23 | 0,75±0,19 |
| Магний | 0,56±0,27 | 0,20±0,24* | 0,37±0,37 |
| Алюминий | 0,58±0,91 | 0,28±0,14 | 0,28±0,39 |
| Кальций | 32,56±7,42 | 34,48±6,17 | 33,45±6,18 |
| Фосфор | 12,42±5,14 | 14,99±1,01 | 15,14±1,42 |

Примечание. Различия статистически достоверно значимы ($p<0,05$): * — между I и II группой, † — между I и III группой, # — между II и III группой.

меняет не только поверхность эмали, но и способствует ее структурным изменениям, скорее всего за счет образования дефектов и нарушения баланса между ее количественным и качественным микроэлементным составом.

По сравнению с нормальной структурой эмали в образцах II группы визуализируются волнообразные неровности (борозды) размером 5–60 мкм с осколками эмалевых призм и горизонтальными микротрещинами, тогда как для образцов III группы характерен однородный рельеф, незначительные углубления размером от 2 до 5 мкм, без обломков эмалевых призм.

При аэроабразивной обработке наблюдается тенденция к потере углерода в эмали. Из-за неконтролируемой глубины проникновения порошка оксида алюминия в эмаль зуба нарушается кристаллическая решетка карбоната, который составляет 17% от общего числа апатитов эмали. На фоне роста доли натрия увеличивается количество кислорода.

Сохранность таких микроэлементов, как фосфор и кальций, в образцах II группы, а также их количество говорит о стабильности элементного состава при одонтопрепарировании алмазными борами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При одонтопрепарировании под малоинвазивные керамические реставрации меняется поверхность эмали, происходят ее структурные изменения, нарушается равновесие между количественным и качественным микроэлементным составом, степень выраженности которых зависит от способа препарирования. Подготовка зуба аэроабразивным методом более щадяща в плане сохранности структуры эмали, но менее стабильна в отношении микроэлементного состава.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Поступила: 30.01.2023 **Принята в печать:** 22.02.2023

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.
Received: 30.01.2023 **Accepted:** 22.02.2023

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жулев Е.Н., Тетерин А.И., Епифанов А.С., Лебедев Е.Г. Отдаленные результаты протезирования искусственными коронками. — *Современные проблемы науки и образования*. — 2014; 5: 482 [eLibrary ID: 22566884](#)
2. Ипполитов И.Ю. Клинико-лабораторная оценка эффективности применения материалов для снижения повышенной чувствительности твердых тканей зуба после препарирования под несъемную ортопедическую конструкцию. — *Вестник новых медицинских технологий*. — 2013; 2: 80—83 [eLibrary ID: 20161490](#)
3. Гажва С.И., Яковлев Д.Н., Песцова Е.А. Технология CAD/CAM трехмерного моделирования зубов в одно посещение. — В: сб. тезисов IV Всероссийской научно-практ. конф. «3D-технологии в медицине». — Нижний Новгород: Приволжский исследовательский медицинский университет, 2019. — С. 54—55. [eLibrary ID: 37210186](#)
4. Гажва С.И., Шурова Н.Н., Киптилова Т.А., Еремеева Д.А. Использование зубных паст для лечения гиперестезии дентина (обзор). — *Современные проблемы науки и образования*. — 2012; 3: 51 [eLibrary ID: 17822291](#)
5. Гажва С.И., Тетерин А.И., Кушиева А.О. Использование цифровых технологий в ортопедической стоматологии. — *Dental Forum*. — 2020; 4 (79): 12—13 [eLibrary ID: 44082018](#)
6. Ильченко М.Б. Уровень информированности населения о малоинвазивных методах препарирования зубов. — В: сб. матер. конф. «Теоретические и практические аспекты современной медицины». — Симферополь: Медицинская академия им. С.И. Георгиевского, 2021. — С. 318—319. [eLibrary ID: 45955104](#)
7. Huang C.T., Kim J., Arce C., Lawson N.C. Intraoral air abrasion: a review of devices, materials, evidence, and clinical applications in restorative dentistry. — *Compend Contin Educ Dent*. — 2019; 40 (8): 508—513; quiz 514. [PMID: 31478697](#)
8. Kramer N., García-Godoy F., et al. Preparation for invasive pit and fissure sealing: air-abrasion or bur? — *Am J Dent*. — 2008; 21 (6): 383—7. [PMID: 19146132](#)
9. Шумилович Б.Р., Санеев А.В., Малыхина И.Е., Чертовских А.В. Морфологические особенности микроструктуры эмали и дентина при их препарировании ротационным инструментом (исследование in vitro). — *Журнал анатомии и гистопатологии*. — 2016; 1: 69—75 [eLibrary ID: 25672477](#)
10. Шумилович Б.Р., Лещева Е.А., Харитонов Д.Ю., Морозов А.Н., Санеев А.В. Изменение микроструктуры эмали и дентина под влиянием ротационного инструмента при лечении кариеса (исследование in vitro). — *Российский стоматологический журнал*. — 2017; 2: 68—71 [eLibrary ID: 29115814](#)
11. Костиленко Ю.П., Саркисян Е.Г., Аветиков Д.С., Бойко И.В. Структура эмали и ее конфигурационные отношения с дентином жевательных зубов человека. — *Вестник проблем биологии и медицины*. — 2014; 2 (107): 193—198 [eLibrary ID: 23454033](#)
12. Гажва С.И., Якубова Е.Ю., Айвазян В.В., Гажва Ю.В. Микроструктура эмали при клиновидных дефектах I и II классов. — *Стоматология для всех*. — 2019; 4 (89): 28—32 [eLibrary ID: 41510287](#)
13. Gzhva S.I., Yakubova E.Yu., Gzhva Yu.V., Gorbatov R.O., Lezhava N.L. The effect of minimally invasive techniques on the microstructure of the enamel in the wedge-shaped defect. — *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. — 2020; 2: 239—246. [eLibrary ID: 42774509](#)
14. Шестель И.Л., Педдер В.В., Леонтьев В.К., Голых Р.Н., Иванова Г.Г., Лосев А.С., Рогачев Е.А. Микроскопическая

REFERENCES:

1. Zhulev E.N., Teterin A.I., Epifanov A.S., Lebedev E.G. Long-term results of prosthetics with artificial crown. *Modern Problems of Science and Education*. 2014; 5: 482. (In Russ.) [eLibrary ID: 22566884](#)
2. Ippolitov I.Yu. Clinico-laboratory assessment of effectiveness of the materials for hypersensitivity reduction of hard dental tissues after the fixed prosthetic construction preparation. *Journal of New Medical Technologies*. 2013; 2: 80—83. (In Russ.) [eLibrary ID: 20161490](#)
3. Gzhva S.I., Yakovlev D.N., Pestsova E.A. CAD/CAM technology for three-dimensional modeling of teeth in one visit. In: Abstracts of the “3D technologies in medicine” conference. Nizhny Novgorod: Privolzhsky Research Medical University, 2019. Pp. 54—55 (In Russ.). [eLibrary ID: 37210186](#)
4. Gzhva S.I., Shurova N.N., Kiptilova T.A., Eremeeva D.A. Use toothpaste for treatment hyperesthesia dentin (review). *Modern Problems of Science and Education*. 2012; 3: 51. (In Russ.) [eLibrary ID: 17822291](#)
5. Gzhva S.I., Teterin A.I., Kushieva A.O. The use of digital technologies in prosthodontic dentistry. *Dental Forum*. 2020; 4 (79): 12—13. (In Russ.) [eLibrary ID: 44082018](#)
6. Ilchenko M.B. The level of public awareness of minimally invasive methods of tooth preparation. In: Proceedings “Theoretical and practical aspects of modern medicine”. Simferopol: Georgievsky Medical Academy, 2021. Pp. 318—319 (In Russ.). [eLibrary ID: 45955104](#)
7. Huang C.T., Kim J., Arce C., Lawson N.C. Intraoral air abrasion: A review of devices, materials, evidence, and clinical applications in restorative dentistry. *Compend Contin Educ Dent*. 2019; 40 (8): 508—513; quiz 514. [PMID: 31478697](#)
8. Kramer N., García-Godoy F., Lohbauer U., Schneider K., Assmann I., Frankenberger R. Preparation for invasive pit and fissure sealing: air-abrasion or bur? *Am J Dent*. 2008; 21 (6): 383—7. [PMID: 19146132](#)
9. Shumilovich B.R., Saneev A.V., Malykhina I.E., Chertovskikh A.V. Morphological features of the microstructure of enamel and dentin in their dissection rotary tool (in vitro study). *Journal of Anatomy and Histopathology*. 2016; 1: 69—75. (In Russ.) [eLibrary ID: 25672477](#)
10. Shumilovich B.R., Leshcheva E.A., Kharitonov D.Yu., Morozov A.N., Saneev A.V. Change of the microstructure of enamel and dentin under the influence of the rotary tool in the treatment of caries (in vitro study). *Russian Journal of Dentistry*. 2017; 2: 68—71. (In Russ.) [eLibrary ID: 29115814](#)
11. Kostilenko Y.P., Sarkisyan E.G., Avetиков D.S., Boyko I.V. Enamel structure and its configurational relations with dentin of chewing teeth of human. *Bulletin of Problems Biology and Medicine*. 2014; 2 (107): 193—198. (In Russ.) [eLibrary ID: 23454033](#)
12. Gzhva S.I., Yakubova E.Yu., Ayzvazyan V.V., Gzhva Yu.V. Enamel microstructure at wedge-shaped defects of class I and II. *International Dental Review*. 2019; 4 (89): 28—32. (In Russ.) [eLibrary ID: 41510287](#)
13. Gzhva S.I., Yakubova E.Yu., Gzhva Yu.V., Gorbatov R.O., Lezhava N.L. The effect of minimally invasive techniques on the microstructure of the enamel in the wedge-shaped defect. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020; 2: 239—246. [eLibrary ID: 42774509](#)
14. Shestel I.L., Pedder V.V., Leontyev V.K., Golykh R.N., Ivanova G.G., Losev A.S., Rogachev E.A. Microscopic characteristics of structural

- характеристика структурной неоднородности интактной зубной эмали. — *Южно-Сибирский научный вестник*. — 2021; 5 (39): 149—158 [eLibrary ID: 47237024](#)
15. Coceska E., Gjorgievska E., Coleman N.J., Gabric D., Slipper I.J., Stevanovic M., Nicholson J.W. Enamel alteration following tooth bleaching and remineralization. — *J Microsc.* — 2016; 262 (3): 232—44. [PMID: 27197087](#)
 16. Thompson V.P. The tooth: An analogue for biomimetic materials design and processing. — *Dent Mater.* — 2020; 36 (1): 25—42. [PMID: 31543376](#)
 17. Gil-Bona A., Bidlack F.B. Tooth enamel and its dynamic protein matrix. — *Int J Mol Sci.* — 2020; 21 (12): 4458. [PMID: 32585904](#)
 18. Xu H.H., Kelly J.R., Jahanmir S., Thompson V.P., Rekow E.D. Enamel subsurface damage due to tooth preparation with diamonds. — *J Dent Res.* — 1997; 76 (10): 1698—706. [PMID: 9326903](#)
 19. Беленчечков А.А., Бирагова А.К., Епхивев А.А. Оценка изменений микроструктуры твердых тканей зуба, после препарирования различными видами боров. — *Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке*. — 2017; 9: 27—28 [eLibrary ID: 29308545](#)
 20. Николаев Ю.М. Структурно-функциональные изменения, происходящие в тканях зуба вследствие одонтопрепарирования. — *Проблемы стоматологии*. — 2007; 6: 40—41 [eLibrary ID: 27331442](#)
 21. Шнип Е.В., Наумович С.А. Влияние современных методов препарирования на состоянии тканей зубов в ортопедической стоматологии. — *Современная стоматология (Беларусь)*. — 2016; 4 (65): 14—17 [eLibrary ID: 27639462](#)
 22. Vinagre A., Ramos J., et al. Microtensile bond strength and micromorphology of bur-cut enamel using five adhesive systems. — *J Adhes Dent.* — 2015; 17 (2): 107—16. [PMID: 25911962](#)
 23. Kilic M., Gurbuz T. Evaluation of the effects of different remineralisation agents on initial enamel lesions by scanning electron microscope and energy-distributed X-ray analysis. — *Int J Clin Pract.* — 2021; 75 (8): e14299. [PMID: 33930242](#)
 24. Жолудев С.Е., Димитрова Ю.В. Современные методы профилактики и лечения постоперативной гиперестезии в с>ртопедической стоматологии. — *Проблемы стоматологии*. — 2013; 1: 8—15 [eLibrary ID: 18976549](#)
 25. Панахов Н.А., Абдуллаева П.Ш. Состояние пульпы зубов, препарированных под виниры. — *Эндодонтия Today*. — 2018; 1: 4—7 [eLibrary ID: 35001906](#)
 26. Гончаров В.Д., Антонова И.Н., Кипчук А.В., Скоробогатова А.И. Методика морфологического и морфометрического анализа поверхности эмали зуба человека с помощью атомно-силовой микроскопии. — *Морфология*. — 2016; 5: 71—76 [eLibrary ID: 27639097](#)
 27. Ерофеева Е.С., Гилева О.С., Наймарк О.Б., Ляпунова Е.А., Гилева Е.С. Экспериментальная оценка влияния профессионального отбеливания на микроархитектонику эмали зуба. — *Пермский медицинский журнал*. — 2010; 3: 104—108 [eLibrary ID: 15561215](#)
 28. Beniash E., Stifler C.A., Sun C.Y., Jung G.S., Qin Z., Buehler M.J., Gilbert P.U.P.A. The hidden structure of human enamel. — *Nat Commun.* — 2019; 10 (1): 4383. [PMID: 31558712](#)
 29. Ramadoss R., Padmanaban R., Subramanian B. Role of bioglass in enamel remineralization: Existing strategies and future prospects-A narrative review. — *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* — 2022; 110 (1): 45—66. [PMID: 34245107](#)
 - heterogeneity of intact tooth enamel. *South-Siberian Scientific Bulletin*. 2021; 5 (39): 149—158. (In Russ.) [eLibrary ID: 47237024](#)
 15. Coceska E., Gjorgievska E., Coleman N.J., Gabric D., Slipper I.J., Stevanovic M., Nicholson J.W. Enamel alteration following tooth bleaching and remineralization. *J Microsc.* 2016; 262 (3): 232—44. [PMID: 27197087](#)
 16. Thompson V.P. The tooth: An analogue for biomimetic materials design and processing. *Dent Mater.* 2020; 36 (1): 25—42. [PMID: 31543376](#)
 17. Gil-Bona A., Bidlack F.B. Tooth enamel and its dynamic protein matrix. *Int J Mol Sci.* 2020; 21 (12): 4458. [PMID: 32585904](#)
 18. Xu H.H., Kelly J.R., Jahanmir S., Thompson V.P., Rekow E.D. Enamel subsurface damage due to tooth preparation with diamonds. *J Dent Res.* 1997; 76 (10): 1698—706. [PMID: 9326903](#)
 19. Belenchekov A.A., Biragova A.K., Ephiev A.A. Assessment of changes in microstructure of hard tooth tissues after dissection with various types of burs. *Health and Education Millennium*. 2017; 9: 27—28. (In Russ.) [eLibrary ID: 29308545](#)
 20. Nikolaev Yu.M. Structural and functional changes occurring in the tooth tissues due to odontopreparation. *Actual Problems in Dentistry*. 2007; 6: 40—41. (In Russ.) [eLibrary ID: 27331442](#)
 21. Shnip E.V., Naumovich S.A. The impact of modern methods of preparation on the state of dental tissues in prosthetic dentistry. *Sovremennaya stomatologiya (Belarus)*. 2016; 4 (65): 14—17. (In Russ.) [eLibrary ID: 27639462](#)
 22. Vinagre A., Ramos J., Messias A., Marques F., Caramelo F., Mata A. Microtensile bond strength and micromorphology of bur-cut enamel using five adhesive systems. *J Adhes Dent.* 2015; 17 (2): 107—16. [PMID: 25911962](#)
 23. Kilic M., Gurbuz T. Evaluation of the effects of different remineralisation agents on initial enamel lesions by scanning electron microscope and energy-distributed X-ray analysis. *Int J Clin Pract.* 2021; 75 (8): e14299. [PMID: 33930242](#)
 24. Zholudev S.E., Dimitrova Yu.V. Modern methods of prevention and treatment of postoperative hyperesthesia in prosthodontics. *Actual Problems in Dentistry*. 2013; 1: 8—15. (In Russ.) [eLibrary ID: 18976549](#)
 25. Panakhov, N.A. Abdullaeva P.Sh. The state of the tooth pulp, prepared for veneers. *Endodontics Today*. 2018; 1: 4—7. (In Russ.) [eLibrary ID: 35001906](#)
 26. Goncharov V.D., Antonova I.N., Kipchuk A.V., Skorobogatova A.I. Method for morphological and morphometric analysis of human tooth enamel using atomic force microscopy. *Morphology*. 2016; 5: 71—76. (In Russ.) [eLibrary ID: 27639097](#)
 27. Erofeeva E.S., Gilyova O.S., Naimark O.B., Lyapunova E.A., Gilyova E.S. Experimental assessment of professional whitening effect on dental enamel microarchitectonic. *Perm Medical Journal*. 2010; 3: 104—108. (In Russ.) [eLibrary ID: 15561215](#)
 28. Beniash E., Stifler C.A., Sun C.Y., Jung G.S., Qin Z., Buehler M.J., Gilbert P.U.P.A. The hidden structure of human enamel. *Nat Commun.* 2019; 10 (1): 4383. [PMID: 31558712](#)
 29. Ramadoss R., Padmanaban R., Subramanian B. Role of bioglass in enamel remineralization: Existing strategies and future prospects-A narrative review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2022; 110 (1): 45—66. [PMID: 34245107](#)