

Н.И. Крихели,  
д.м.н., профессор, зав. кафедрой  
клинической стоматологии

Б.В. Юхананова,  
врач-стоматолог, ассистент кафедры  
клинической стоматологии

МГМСУ им. А.И. Евдокимова

## Изучение влияния эффектов инфильтрации и микроабразии на структуру зуба на модели очаговой деминерализации эмали

**Реферат. Цель** исследования — создать модель очаговой деминерализации эмали (ОДЭ) *in vitro* и сравнить морфологические изменения микроstructures эмали после обработки зубов методами инфильтрации и микроабразии. **Материалы и методы.** Для создания модели ОДЭ использовали раствор соляной кислоты понижающейся концентрации: 0,3% на 48 часов, 0,15% на 120 часов, 0,1% на 48 часов и 0,05% на 96 часов при комнатной температуре. С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) изучали микроstructure поверхности и сагиттальные распилы интактных зубов, не подвергавшихся деминерализации, а также зубов с искусственной ОДЭ до и после обработки методами инфильтрации и микроабразии. **Результаты.** Поверхность зуба в зоне искусственного ОДЭ характеризуется участками с частично и полностью деминерализованным межпризменным субстратом. В частично деминерализованной зоне видны каналы, образующиеся после растворения кристаллической структуры эмалевых призм. В зонах полной деминерализации кристаллической структуры органический матрикс эмали равномерно выстилает поверхность. После обработки методом микроабразии

поверхность зуба представляет собой ровный призмный слой. По периферии эмалевых призм определяются их оболочки в виде дугообразных углублений. Поверхность зуба в области ОДЭ после обработки методом инфильтрации представляет собой ровное поле без пор и микротрещин, на котором верхний слой эмали полностью покрыт инфильтрантом. **Выводы.** Предложенный метод обработки эмали растворами соляной кислоты понижающейся концентрации позволяет сформировать очаги деминерализации в пределах эмали для зубов с различной кариесрезистентностью. По данным СЭМ обработка участков ОДЭ методами микроабразии и инфильтрации эффективно выравнивает поверхность зуба и устраняет пористость, при этом после микроабразии на поверхности эмали сохраняются углубления в области оболочек эмалевых призм.

**Ключевые слова:** модель очаговой деминерализации эмали, метод инфильтрации, микроабразия, кариес эмали, кариес в стадии пятна, начальный кариес, эстетическое лечение, неинвазивное лечение

N.I. Krikheli,  
Grand PhD in Medical sciences, professor and  
head of the Clinical dentistry department

B.V. Yukhananova,  
dentist, assistant in the Clinical dentistry  
department

Moscow State University of Medicine and  
Dentistry, Moscow, Russia

## The study of infiltration and microabrasion effects on the tooth surface structure on chemical model of focal enamel demineralization

**Abstract. Objective:** to create *in vitro* model of local enamel demineralization (LED) and to compare the morphological changes in the enamel microstructure after infiltration and microabrasion treatment. **Materials and methods.** A solution of hydrochloric acid in decreasing concentrations was used to create LED model: 0.3% HCl for 48 hours, 0.15% HCl for 120 hours, 0.1% HCl for 48 hours and 0.05% HCl for 96 hours at room temperature. Using scanning electron microscopy (SEM), we studied a microstructure of the surface and sagittal sections of intact teeth, as well as teeth with artificial LED before and after treatment by infiltration and microabrasion. **Results.** The tooth surface in the artificial LED zone is characterized by areas with partially and completely demineralized interprismatic substrate. In the partially demineralized zone, channels are formed after dissolution of the enamel prisms structure. In zones with complete demineralization of the crystalline structure, the organic

matrices looks like a smooth surface. After microabrasion, the tooth surface represents an even prism layer with prism sheaths forming arcuate excavations. Infiltration of the LED region modifies the tooth surface into a flat field without pores and microcracks, completely covering the lesion with an infiltrant. **Conclusion.** The proposed method of enamel processing with hydrochloric acid solutions of a decreasing concentration allows LED formation within enamel layer for teeth with various caries resistance. According to SEM data, LED treatment by microabrasion and infiltration effectively smoothes the tooth surface and eliminates defects. After microabrasion, excavations in the area of enamel prism sheaths are preserved on the surface.

**Key words:** focal enamel demineralization, resin infiltration, microabrasion, enamel caries, white spot caries, aesthetic treatment, non-invasive treatment

Очаговая деминерализация эмали (ОДЭ) считается одной из ключевых проблем стоматологии, так как кариозный процесс начинается с формирования очага деминерализации, запускающего разрушение твердых структур зуба. Начальный кариес зубов — это единственная форма кариозного процесса, которую можно лечить консервативно [1]. Поэтому разработка и внедрение высокоэффективных методов диагностики, профилактики и минимально инвазивного лечения ранних стадий кариеса являются приоритетным направлением экспериментально-клинической карнесологии [2].

Исследования *in vitro* являются самым распространенным видом экспериментов в карнесологии, а наиболее популярный метод моделирования кариозного процесса — это воздействие кислотосодержащих химических соединений на зубы людей или животных [3]. Хотя такие модели не имитируют все факторы, влияющие *in vivo* на процесс образования кариеса, их отличает простота, низкая стоимость, небольшие затраты времени на получение требуемых поражений зуба, воспроизводимость и стабильность эксперимента [4]. Экспериментальная модель искусственного кариеса эмали *in vitro* позволяет изучить свойства и структуру тканей на макро-, мезо- и микроскопическом уровнях, охарактеризовать процессы деминерализации и ремоделирования структуры зуба после различных видов лечебного воздействия [5, 6].

Немало экспериментальных работ посвящено изучению *in vitro* эффективности разных методов карнес-инфильтрации [7]. В частности, установлено, что применяемый в клинике инфильтрант может полностью obturировать лишь 60–80% микропор в подповерхностных слоях эмали [8]. Этим объясняются нередкие случаи рецидивирования кариеса и продолжающиеся поиски оптимальных материалов и протоколов инфильтрации.

Отработка методов микроабразии в лечении флюороза и начальных форм кариеса также проводится в первую очередь в лабораторных условиях для оценки абразивного эффекта и морфологических характеристик обработанных поверхностей эмали, как здоровой, так и с различной степенью повреждения [9, 10]. Для оценки изменений в эмали и дентине широко применяют метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) [11]. Однако работ по сравнению влияния карнес-инфильтрации и микроабразии на одинаковые поражения эмали с помощью СЭМ в доступной нам литературе не найдено.

Цель исследования: создать модель ОДЭ *in vitro* и сравнить морфологические изменения микроструктуры эмали после обработки зубов методом инфильтрации и микроабразии.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения цели исследования было отобрано 30 постоянных зубов, удаленных по различным показаниям, ранее эндодонтически не леченных. Образцы были случайно разделены на 4 группы: 1) 5 зубов контрольной

группы, не подвергавшихся деминерализации; 2) 5 зубов с искусственной ОДЭ; 3) 10 зубов с искусственной ОДЭ, обработанных методом инфильтрации; 4) 10 зубов с искусственной ОДЭ, обработанных методом микроабразии.

Для создания модели ОДЭ использовали раствор соляной кислоты понижающей концентрации 0,3–0,15–0,1–0,05%. После механической очистки поверхности зубов от налета зона будущего дефекта площадью 5×5 мм была закрыта защитным скотчем и ограничена жидким композитом. Поверхности зуба, не подвергаемые деминерализации, были изолированы с помощью лака и светоотверждаемого композита. Для создания ОДЭ образцы последовательно погружали в 0,3% раствор соляной кислоты на 48 часов, в 0,15% раствор на 120 часов, в 0,1% раствор на 48 часов и в 0,05% раствор на 96 часов при комнатной температуре.

Следует отметить, что использованная методика создания ОДЭ исходно предполагала экспозицию образцов на этапе 0,1% раствора в течение 240 часов, а на этапе 0,05% — в течение 264 часов [12]. Однако в нашем эксперименте на 3-м этапе через 48 часов экспозиция была прервана, так как зона очаговой деминерализации достигла тканей дентина, и образцы пришлось заменить. Вероятно, она пригодна для зубов с высокой карнесрезистентностью.

По истечении срока экспозиции образцы были извлечены из раствора, промыты дистиллированной водой и высушены.

Обработку области ОДЭ методами инфильтрации и микроабразии проводили с соблюдением всех требований по выполнению этапов обработки поверхности зубов производителей препаратов Icon и Opalustre соответственно.

Всего было подготовлено 4 типа образцов: 1) контрольные с интактной поверхностью эмали, 2) с искусственной ОДЭ, 3) с искусственной ОДЭ после обработки методом микроабразии и 4) с искусственной ОДЭ после обработки методом инфильтрации. Подготовка образцов для микроскопического исследования осуществлялась с использованием эпоксидных заливочных компаундов для холодной запрессовки. Шлифы подвергались напылению тонким слоем углерода на установке SPI Module Carbon Coater для исследования методом СЭМ. Исследование проводилось на сканирующем электронном микроскопе Tescan Mira LMU в режиме высокого вакуума. Изображения получены с использованием детектора отраженных электронов BSE.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для каждого из 4 типов образцов — контрольные, с искусственной ОДЭ, с участками ОДЭ, обработанными с помощью микроабразии и инфильтрации, — были получены и исследованы поверхности эмали и шлифы сагиттальных распилов (всего 8 групп изображений).

На СЭМ-изображениях образцов здорового резца (контрольная группа) вестибулярная поверхность

эмали характеризуется ровным беспризменным слоем с небольшими полосами (бороздками; рис. 1, А). В микроуглублениях при большом увеличении видны микропоры. На сагиттальном срезе четко выделяются слои компанда, эмали и дентина (рис. 2, А). Это согласуется с данными литературы, согласно которым для интактного зуба характерен структурно однородный тип рельефа поверхности эмали [7].

Поверхность зуба после создания искусственного ОДЭ характеризуется участками с частично и полностью деминерализованным межпризменным субстратом. При большом увеличении (4000) в частично деминерализованной зоне видны характерные каналы, образующиеся после растворения кристаллической структуры эмалевых

призм. Стенки каналов образованы оболочками не спавшихся призм (рис. 1, Б). В зонах полной деминерализации кристаллической структуры и оболочек эмалевых призм органический матрикс эмали равномерно «ковровым покрытием» выстилает поверхность (не показано). На сагиттальном срезе зона ОДЭ представляет дефект глубиной около 80 мкм, составляющий треть толщины эмали, дно которого представлено частично деминерализованной эмалью толщиной до 100 мкм (рис. 2, Б). В этой зоне дифференцируются более деминерализованные эмалевые призмы в продольном сечении, полностью растворенные соляной кислотой участки эмалевых призм в виде пористых образований, менее деминерализованные оболочки эмалевой призмы в виде продольных

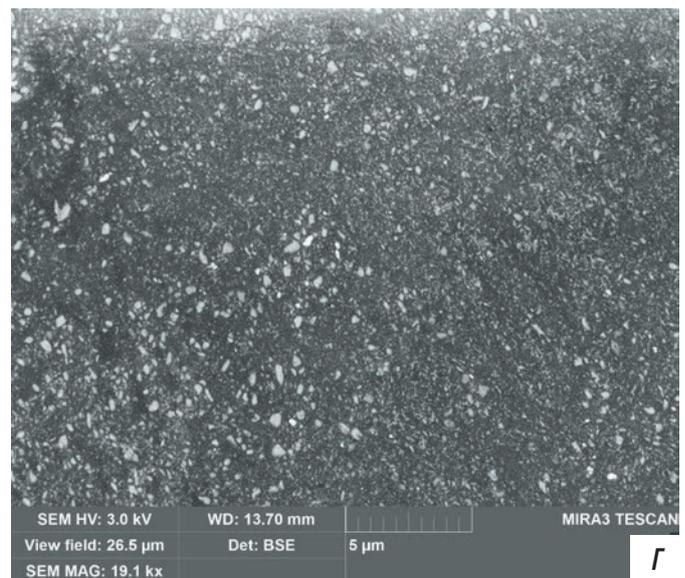
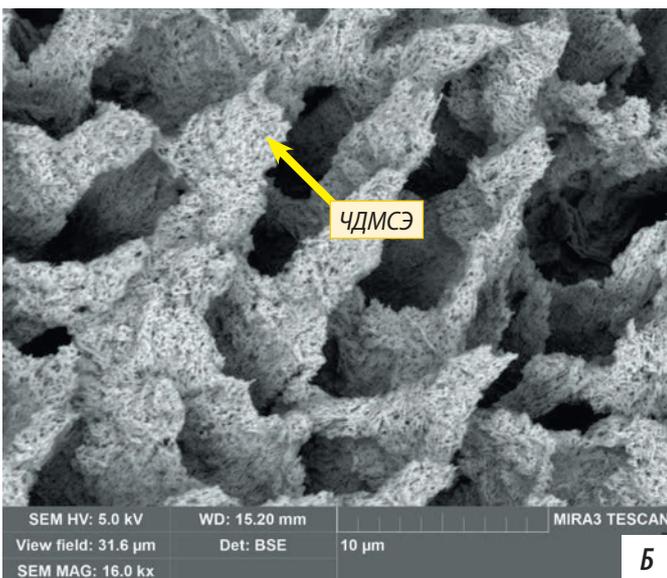
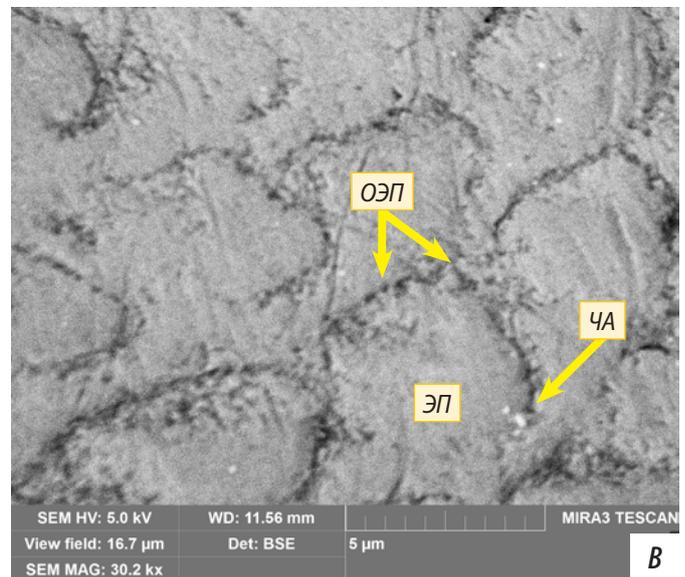
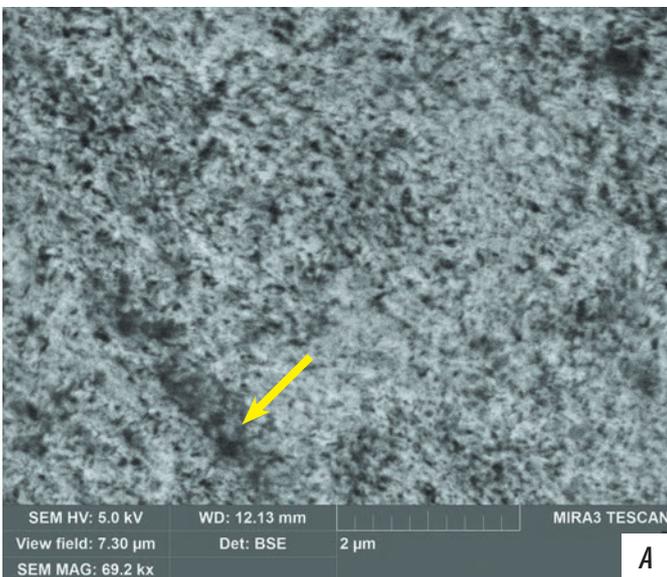


Рис. 1. СЭМ вестибулярной поверхности эмали постоянных зубов: А — контрольный образец, видны микропоры в микроуглублениях эмали (стрелка); Б — после искусственного создания ОДЭ участок частично деминерализованного межпризменного субстрата эмали (ЧДМСЭ) имеет сотообразную структуру, видны каналы и микроволокна органического матрикса эмали — эмалевые гликозирванные полипептиды — на поверхности эмалевых призм; В — после обработки методом микроабразии видны частицы абразива (ЧА, указаны стрелкой), эмалевые призмы (ЭП), по периферии которых определяются оболочки эмалевых призм в виде углублений (ОЭП, указаны стрелками); Г — после обработки методом инфльтрации определяется структура инфльтранта с полигональными частицами неорганического наполнителя

полос и межпризматическое вещество эмали (не показано). Таким образом, использованный в данной работе режим обработки эмали обеспечивает создание ОДЭ, не достигающей дентина.

Поверхность эмали с ОДЭ после обработки методом микроабразии представляет собой ровный призматический слой (рис. 1, В). По периферии эмалевых призм определяются оболочки, имеющие вид дугообразных углублений за счет того, что оболочка эмалевой призмы меньше минерализована, чем сами призмы, потому менее устойчива к абразивному воздействию, образуя углубления. Также видны частицы абразива. В поперечной проекции видно небольшое углубление гладкой поверхности эмали без признаков деминерализации (рис. 2, В).

Поверхность зуба в области ОДЭ после обработки методом инфильтрации представляет собой ровное поле без пор и микротрещин, на котором верхний слой эмали полностью покрыт инфильтрантом (рис. 1, Г). При большом увеличении дифференцируются полигональные частицы неорганического наполнителя инфильтранта. На сагитальном распиле виден поверхностный слой инфильтранта с участками инфильтрации органической матрицы материала в деминерализованные участки эмали (рис. 2, Г). При большом увеличении в структуре инфильтранта дифференцируются полигональные частицы неорганического наполнителя, схожие по структуре с неорганическим наполнителем микрогибридного композита (не показано). Такая картина соответствует результатам

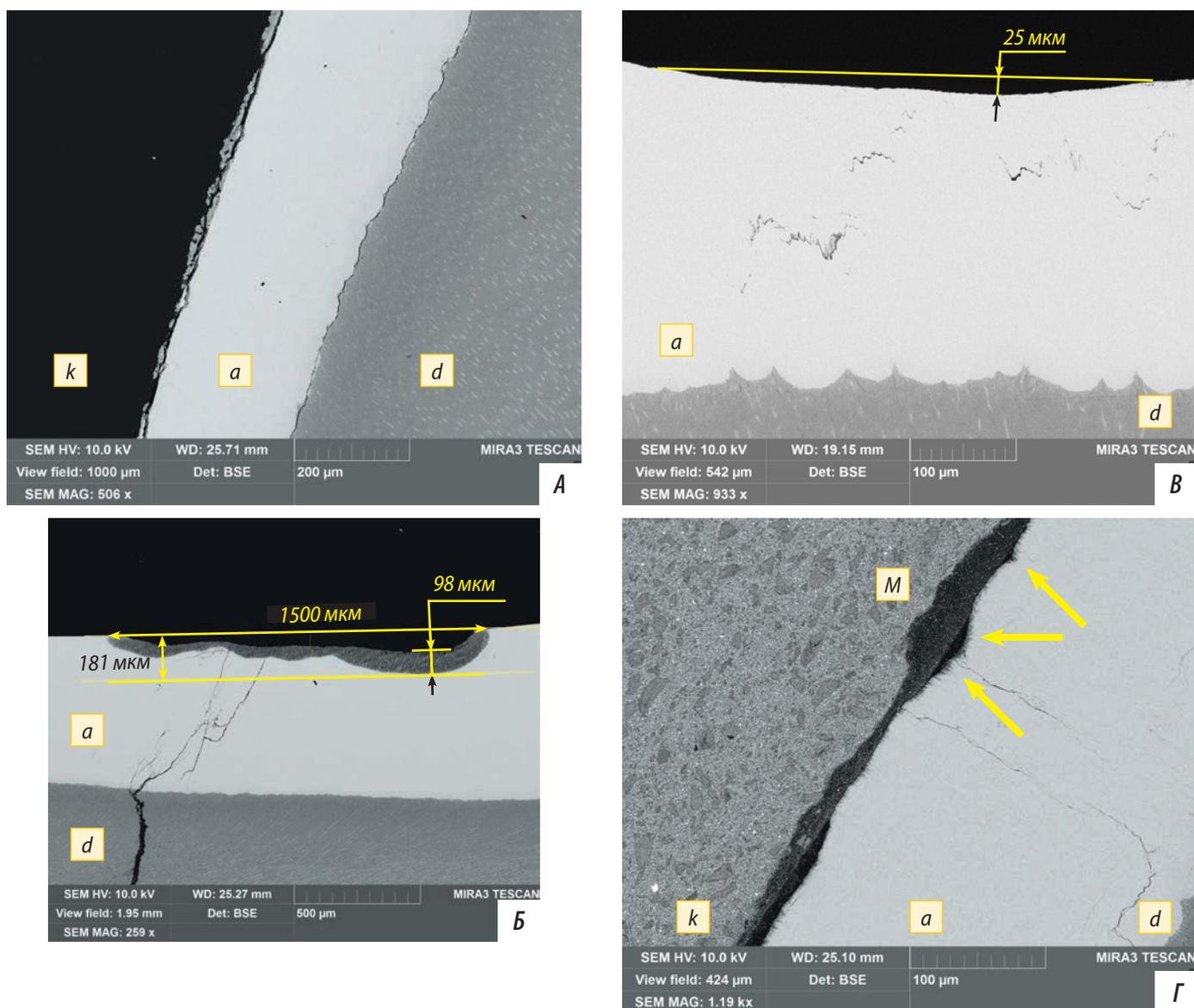


Рис. 2. СЭМ шлифа сагитального среза зубов: А — контрольный образец, видно четкое разделение слоев композита (к), эмали (а) и дентина (д); Б — после искусственного создания ОДЭ виден дефект эмали длиной до 1,5 мм и глубиной до 0,18 мм, в котором дифференцируются зоны полностью отсутствующей эмали глубиной до 83 мкм и частичной деминерализации глубиной до 98 мкм; В — после

обработки методом микроабразии углубление на поверхности эмали длиной до 500 мкм и глубиной до 25 мкм без признаков деминерализации; Г — после обработки методом инфильтрации виден слой инфильтранта (М) и участки его инфильтрации в деминерализованные участки поверхностного слоя эмали (обозначены стрелками)

изучения микроархитектоники эмали в участках очаговой деминерализации с помощью атомно-силовой микроскопии до и после обработки методом инфильтрации [7]. Профиль поверхности инфильтрированной эмали выравнивается, сглаживается шероховатая текстура, происходит ремоделирование микроархитектоники, геометрические характеристики рельефа поверхности приближаются к показателям интактной эмали.

Обработка участков ОДЭ методами микроабразии и кариес-инфильтрации успешно выравнивает поверхность эмали и устраняет пористость. При этом после микроабразии на поверхности эмали сохраняются углубления в области оболочек эмалевых призм. Это согласуется с данными авторов, изучавших показатели микротвердости и шероховатости поверхности интактных зубов, области кариеса в стадии белого пятна, а также деминерализованных участков эмали, обработанных методами микроабразии и инфильтрации [13].

С помощью количественной профилометрии было показано, что степень шероховатости поверхности зуба в области ОДЭ примерно в 8,5 раз выше, чем у здоровой эмали. После обработки ОДЭ микроабразией степень шероховатости уменьшается примерно в 2 раза, а после инфильтрации препаратом Ison — примерно

в 4 раза по сравнению с деминерализованным участком эмали. Значения микротвердости эмали, обработанной методами кариес-инфильтрации и микроабразии, были примерно равными, статистически достоверно превышали уровень микротвердости деминерализованной поверхности (примерно в 2 раза), но были достоверно ниже, чем у интактной эмали. Полировка не изменила значения микротвердости эмали после микроабразии, но уменьшила шероховатость поверхности на 25%.

## ВЫВОДЫ

Предложенный метод обработки эмали растворами соляной кислоты понижающей концентрации: 1) 0,3% HCl на 48 часов, 2) 0,15% HCl на 120 часов, 3) 0,1% HCl на 48 часов; 4) 0,05% HCl на 96 часов при комнатной температуре, — позволяет сформировать очаги деминерализации в пределах эмали для зубов с различной кариесрезистентностью.

По данным СЭМ обработка участков ОДЭ методами микроабразии и инфильтрации эффективно выравнивает поверхность зуба и устраняет пористость, при этом после микроабразии на поверхности эмали сохраняются углубления в области оболочек эмалевых призм.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Гилева О.С. Консервативно-профилактическая стоматология: современные тренды развития. — *Пермский медицинский журнал*. — 2018; 35 (6): 61—72 [Gileva O.S. Conservative-and-prophylactic dentistry: modern trends of development. — *Perm Medical Journal*. — 2018; 35 (6): 61—72 (In Russ.)].

DOI: 10.17816/pmj35661-72

2. Соловьева Ж.В., Адамчик А.А., Байгулаков А.Т. Неинвазивные методы лечения кариеса эмали в стадии «белого пятна». — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2019; 19 (3): 27—31 [Solovyova Zh.V., Adamchik A.A., Baygulakov A.T. Non-invasive treatments for enamel caries in the “white spot” stage. — *Pediatric Dentistry and Prevention*. — 2019; 19 (3): 27—31 (In Russ.)].

3. Yu O.Y., Zhao I.S., Mei M.L., Lo E.C.-M., Chu C.-H. A review of the common models used in mechanistic studies on demineralization-remine-ralization for cariology research. — *Dent J (Basel)*. — 2017; 5 (2): 20.

PMID: 29563426

4. Bernett G.P.B., Huertas H.G.C., Pérez L.A.L., Rodríguez C.T., Mejía E.D. Simplified chemical method of demineralization in human dental enamel. — *Revista Cubana de Estomatología*. — 2019; 56 (1): 13—24.

5. Левицкая А.Д., Сюткина Е.С., Гилева О.С., Галкин С.В., Ефимов А.А., Савицкий Я.В. Оценка микроструктуры и минеральной плотности очага искусственного кариеса эмали по данным рентгеновской компьютерной микротомографии. — *Российский журнал биомеханики*. — 2018; 4: 485—502 [Levitskaya A.D., Syutkina E.S., Gileva O.S., Galkin S.V., Efimov A.A., Savitskiy Ya.V. The evaluation of microstructure and mineral density of the focus of artificial enamel caries using X-ray computer microtomography. — *Russian Journal of Biomechanics*. — 2018; 22 (4): 485—502 (In Russ.)].

6. de Almendra Freitas M.C.S., Nunes L.V., Comar L.P., Rios D., Magalhães A.C., Honório H.M., Wang L. In vitro effect of a resin infiltrant on different artificial caries-like enamel lesions. — *Arch Oral Biol*. — 2018; 95: 118—24.

PMID: 30099240

7. Гилева О.С., Левицкая А.Д., Сюткина Е.С., Коротин С.В., Гибадулина Н.В., Свистков А.Л. Экспериментально-клиническая оценка

эффективности применения различных методов лечения очаговой деминерализации эмали. — *Современные проблемы науки и образования*. — 2018; (6): 99 [Gileva O.S., Levitskaya A.D., Syutkina E.S., Korotin S.V., Gibadullina N.V., Svistkov A.L. Experimental-clinical evaluation of various methods of focal enamel demineralization treatment effectiveness. — *Modern problems of science and education*. — 2018; (6): 99 (In Russ.)]

8. Skucha-Nowak M., Machorowska-Pieniżek A., Tanasiewicz M. Assessing the penetrating abilities of experimental preparation with dental infiltrant features using optical microscope: preliminary study. — *Adv Clin Exp Med*. — 2016; 25 (5): 961—9. PMID: 28028962

9. Pini N.I.P., Costa R., Bertoldo C.E.S., Aguiar F.H.B., Lovadino J.R., Lima D.A.N.L. Enamel morphology after microabrasion with experimental compounds. — *Contemp Clin Dent*. — 2015; 6 (2): 170—5. PMID: 26097350

10. Крихели Н.И. Опыт применения метода микроабразии зубов для лечения очаговой деминерализации эмали. — *Российская стоматология*. — 2009; 2 (3): 31—4 [Krikheli N.I. The experience of using the method of microabrasion of teeth for the treatment of focal demineralization of enamel. — *Russian dentistry*. — 2009; 2 (3): 31—4 (In Russ.)].

11. Кузьмина Э.М., Крихели Н.И., Смирнова Т.А. Клинико-лабораторное обоснование эффективности применения отбеливающих зубных паст. — *Стоматология*. — 2006; 85 (5): 13 [Kuzmina E.M., Krikheli N.I., Smirnova T.A. Clinical and laboratory substantiation of the effectiveness of the use of whitening toothpastes. — *Dentistry*. — 2006; 85 (5): 13 (In Russ.)].

12. Мамедов А.А., Харке В.В., Скатова Е.А., Хакимова Д.Ф. Влияние метода инфильтрации на несъемную ортодонтическую аппаратуру. — *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2014; 13 (2): 40—2 [Mamedov A.A., Kharko V.V., Skatova E.A., Khakimova D.F. The efficacy of caries resin infiltration in patients with fixed orthodontic appliances. — *Pediatric dentistry and dental prophylaxis*. — 2014; 13 (2): 40—2 (In Russ.)].

13. Yazkan B., Ermis R.B. Effect of resin infiltration and microabrasion on the microhardness, surface roughness and morphology of incipient carious lesions. — *Acta Odontol Scand*. — 2018; 76 (7): 473—81. PMID: 29447057