

УДК 616.31-07

DOI: 10.17816/pmj383110-121

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ДЕМИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЭМАЛИ ЗУБА ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ЛЕЧЕНИЯ

*О.С. Гилева**, *А.Д. Левицкая*

Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Россия

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF CRACK RESISTANCE INDICATORS OF DEMINERALIZED TOOTH ENAMEL AFTER COMBINED INFILTRATION TREATMENT

*O.S. Gileva**, *A.D. Levitskaya*

E.A. Vagner Perm State Medical University, Russian Federation

Цель. Методом скретч-тестирования изучить показатели трещиностойкости деминерализованной эмали, пролеченной с помощью комбинированного инфильтрационного метода.

Материалы и методы. Исследовали упругопрочностные свойства эмали *in vitro* на основании 24 интактных зубов, удаленных по ортодонтическим показаниям, на вестибулярной поверхности коронки которых моделировали искусственный кариес эмали согласно запатентованной технологии. Формирование кариеса подтверждали в серии многоуровневых исследований. Скретч-тестирование проводили на шлифах интактной эмали; деминерализованной эмали; эмали, проинфильтрированной светокомпозитом по модифицированной методике с 4-минутным режимом кондиционирования; эмали, заламинированной биоактивным гибридным стеклоиономером.

Результаты. Разработанная модель искусственного кариеса соответствовала кариесу эмали *in vivo*. Критическая нагрузка начала образования микротрещин (Lc1) интактной эмали – $9,82 \pm 0,81$ N; деминерализованной эмали – $6,34 \pm 0,92$ N; проинфильтрированной по модифицированной методике – $8,23 \pm 0,61$ N; биоактивного стеклоиономера – $0,82 \pm 0,17$ N.

© Гилева О.С., Левицкая А.Д., 2021

тел.: +7 912 885 08 09

e-mail: o.s.gileva@yandex.ru

[Гилева О.С. (*контактное лицо) – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний; Левицкая А.Д. – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры терапевтической стоматологии и пропедевтики стоматологических заболеваний].

© Gileva O.S., Levitskaya A.D., 2021

tel.: +7 912 885 08 09

e-mail: o.s.gileva@yandex.ru

[Gileva O.S. (*contact person) – MD, PhD, Professor, Head of Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases; Levitskaya A.D. – Candidate of Medical Sciences, Assistant, Department of Therapeutic Dentistry and Propaedeutics of Dental Diseases].

Критическая нагрузка образования шевронных трещин (Lc2) интактной эмали – $18,21 \pm 0,68$ N; деминерализованной – $14,21 \pm 1,35$ N; после инфильтрации – $10,1 \pm 0,30$ N; у биоактивного стеклоиономера показатели отсутствовали на всех тестируемых образцах. Критическая нагрузка образования сколов (Lc3) интактной эмали – $15,73 \pm 0,73$ N; деминерализованной эмали – $5,02 \pm 0,64$ N; после инфильтрации – $22,43 \pm 0,44$ N; биоактивного покрытия – $2,21 \pm 0,12$ N.

Выводы. Сравнительный анализ результатов скретч-тестирования эмали позволил охарактеризовать биоматериал с позиций физического материаловедения, определить критические нагрузки начала образования микротрещин, шевронных трещин, сколов.

Ключевые слова. Эмаль зуба, очаговая деминерализация эмали, кариес-инфильтрация, комбинированное лечение, ламинирование эмали, скретч-тестирование.

Objective. To study the indicators of crack resistance of the demineralized enamel treated with combined infiltration method using the method of scratch testing.

Materials and methods. To study the elastic-strength properties of the enamel *in vitro*, 24 intact teeth removed by orthodontic indications were used, on the vestibular surface of the crown of which, there was modelled an artificial caries of the enamel by the patented technology. A number of multilevel studies confirmed the formation of caries. Scratch testing was performed on the sections of the intact enamel; demineralized enamel infiltrated by light composite using the modified method with a four-minute regime of conditioning; enamel laminated with bioactive hybrid glass ionomer.

Results. The developed model of artificial caries corresponded to the enamel *in vivo*. The critical load of the start of formation of the intact enamel microcracks (Lc1) was $9,82 \pm 0,81$ N; demineralized enamel – $6,34 \pm 0,92$ N; infiltrated by modified method – $8,23 \pm 0,61$ N; bioactive glass ionomer – $0,82 \pm 0,17$ N. The critical load of formation of the chevron cracks (Lc2) of the intact enamel was $18,21 \pm 0,68$ N; demineralized – $14,21 \pm 1,35$ N; after infiltration – $10,1 \pm 0,30$ N; in bioactive glass ionomer, no parameters were registered on all the tested samples. The critical load of formation of the intact enamel chips (Lc3) was $15,73 \pm 0,73$ N; demineralized enamel – $5,02 \pm 0,64$ N; after infiltration – $22,43 \pm 0,44$ N; bioactive covering – $2,21 \pm 0,12$ N.

Conclusions. A comparative analysis of the results of scratch testing of the enamel permitted to characterize the biomaterial from the position of physical material science, determine the critical loads of the start of forming microcracks, double-helical cracks, chips.

Keywords. Enamel, focal enamel demineralization, caries infiltration, combined treatment.

ВВЕДЕНИЕ

Кариес зубов сохраняет свою актуальность как важнейшая медико-социальная проблема человечества, ключом к решению которой остается своевременная диагностика, эффективное не- или минимально инвазивное лечение на ранних стадиях, патогенетическая профилактика, предполагающая поддержание высокого уровня гигиены полости рта за счет рациональных индивидуальных и профессиональных решений [1, 2].

Поиск, научное обоснование, разработка новых материалов и технологий неоперативного лечения кариеса эмали (очаговой деминерализации эмали, ОДЭ; код K02.0 по МКБ-10 и код 1, 2 по ICDAS) – ранней стадии кариеса зубов составляют одно из трендовых направлений современной консервативно-профилактической стоматологии и стоматологического материаловедения, соответствующих глобальным целям ВОЗ по сохранению стоматологического здоровья населения (Global Goals for Oral Health – 2020; WHO) [3–6]. Внутри этого направления выделяются

следующие субтренды: разработка и оптимизация микроинвазивных методов лечения ОДЭ; создание «умных» инфильтрационных, реставрационных, лайнерных и иных стоматологических материалов, имитирующих физико-механические свойства твердых тканей зуба (эмаль, дентин) или максимально приближенных к ним; повышение антимикробных и пленкоингибирующих свойств стоматологических материалов с сохранением их стабильности в отдаленные сроки «эксплуатации» в полости рта (эксплуатационной живучести); использование технологий искусственного интеллекта для построения эффективных стратегий контроля микробных биопленок на естественных (ткани зуба, десны, слизистой оболочки рта) или искусственных (пломбы, вкладки, имплантаты, коронки и др.) средах полости рта (электрические щетки с интерактивным приложением, Арт-технологии и др.) [3, 7].

Фундаментальная стоматология изучает строение эмали в норме, при кариесе и некариозных поражениях зубов, при лечении с использованием новых тканеэквивалентных материалов, в процессе проведения эстетико-гигиенических процедур (например при отбеливании зубов) на междисциплинарной основе, с использованием принципов физического (стоматологического) материаловедения, с помощью многоуровневого (на макро-, мезо-, микроуровнях) анализа, методами математического моделирования [8–16].

Инновационные наукоемкие разработки фундаментальной кариесологии базируются на применении универсальных или специализированных экспериментальных (*in vitro*) моделях искусственного кариеса эмали (ИКЭ), валидность и полнота соответствия кариесу эмали *in vivo* которых подтверждаются комплексом самых современных высокоточных

физико-механических и химических методов исследования (сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии – СЭМ, АСМ; 3D-микрокомпьютерной томографии, интерференциальной профилометрии, микроиндентирования, в том числе с модулем скретч-тестирования и др.) [17–21].

Разработанные нами экспериментальные модели искусственного кариеса эмали и постортодонтической деминерализации эмали (ПОДЭ) полностью соответствуют необходимым требованиям, составляют необходимую платформу для экспериментального моделирования различных методик лечения ОДЭ, оценки их эффективности и безопасности в ближайшие и отдаленные сроки лечения, в условиях, максимально приближенных к физиологическим условиям полости рта [22–26]. Современная клиническая кариесология фокусируется на совершенствовании минимально инвазивных методов лечения ОДЭ и ПОДЭ, позволяющих максимально сохранить структуру и физико-механические свойства твердых тканей зуба (ТТЗ), исключить или существенно отсрочить оперативно-восстановительное лечение [27, 28].

К минимально инвазивным технологиям лечения ОДЭ/ПОДЭ справедливо относят классическую кариес-инфильтрацию, основанную на пропитывании с последующим отверждением в микропорозной системе деминерализованной эмали жидкотекучего композита Ison (DMG, Германия) и варианты ее модификации, улучшающие эксплуатационные характеристики проинфильтрированной эмали в отдаленные сроки после проведенного лечения [29–33]. К числу последних относится разработанный и обоснованный нами в серии экспериментальных исследований комбинированный метод лечения зубов с ОДЭ, включающий этап ин-

филтрации с увеличенным до 4-минутным временем кондиционирования эмали и заключительный этап защитного ламинирования перифокальной эмали слоем гибридного стеклоиономера пролонгированного многофункционального (реминерализующего, гипосенситивного и др.) действия [34, 35].

Физико-механические и трибологические свойства особого биоматериала – проинфильтрированная светокомпозитом деминерализованная эмаль, покрытая слоем гибридного стеклоиономера вплоть до перифокальных зон, – изучены методом кинетического микроиндентирования в немногочисленных работах, преимущественно на основе расчета традиционных упруго-прочностных показателей [17, 36]. Полученные результаты во многом позволяют прогнозировать эксплуатационную живучесть, износостойкость и усталостную долговечность леченной эмали зуба. С учетом различных нагрузок на зуб в процессе функционирования зубочелюстной системы *in vivo*, представляет теоретический интерес и практическую значимость изучение *in vitro* основных показателей трещиностойкости проинфильтрированной композитом и заламинированной гибридным стеклоиономером эмали, что и составило цель работы.

Цель исследования – методом скретч-тестирования изучить показатели трещиностойкости деминерализованной эмали, пролеченной с помощью комбинированного инфильтрационного метода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования упруго-прочностных свойств эмали *in vitro* послужили 24 интактных первых и вторых премоля-

ров верхней и нижней челюстей, с сохраненной коронкой и отсутствием видимых дефектов, удаленных по ортодонтическим показаниям с соблюдением необходимых требований. Биоматериал (образцы зубов) проходил атравматичную механо-химическую обработку (Гилева О.С. и соавт., 2001). ИКЭ моделировали *in vitro* на вестибулярной поверхности коронки согласно разработанной нами технологии, включающей: «Устройство для моделирования экспериментального кариеса в стадии пятна методом эмалевого окна» (патент на полезную модель № 172561 от 17.07.2017 г.), «Сепаратор для хранения биопрепаратов зубов с целью моделирования искусственного кариеса» (патент на полезную модель № 171409 от 30.05.2017 г.), деминерализующий гель (рацпредложение № 2757 от 17.05.2018 г.) (рис. 1).



Рис. 1. Образцы зубов с «эмалевым окном»: после погружения в расплавленный воск установлены в сепаратор для последующего погружения в деминерализующий гель

Формирование *in vitro* на вестибулярной поверхности коронки зубов типичного кариеса эмали было подтверждено в серии многоуровневых исследований, по результатам стереомикроскопии, компьютерной томографии, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии. Методом экспертного анализа высококвалифициро-

ванными клиницистами установлено соответствие очагов ИКЭ характеристикам кариеса эмали *in vivo* (МКБ-10 и ICDAS).

Физико-механические показатели трещиностойкости изучались в сравнительном аспекте на серии шлифов: интактной эмали; деминерализованной эмали (зона ИКЭ); эмали, проинфильтрированной композитом по модифицированной методике с 4-минутным режимом кондиционирования; эмали, заламинированной биоактивным гибридным стеклоиономером.

Скретч-тестирование проводили на авиационном предприятии АО «ОДЖ-СТАР» с помощью высокоточного прибора Micro-combi tester (МСТ, CSM Instruments SA, Швейцария) на 24 образцах. Контролируемое царапание проводили алмазным индентором Rockwell I-165 ($R = 0,02$ мм) для изучения свойств адгезии, хрупкости, деформации, отслаивания, микроразрушения и скалывания. Скорость перемещения индентора составляла 4 мм/мин с возрастающей от 0 до 10 Н и от 0 до 30 Н нагрузкой. Перед испытанием все биопрепараты были залиты в специальные эпоксидные держатели для зажима в столике прибора МСТ. Проведено 144 скретч-теста, на каждый получен панорамный снимок царапины, совмещенный с графиком кинетических кривых. На основе анализа панорамного снимка и кинетических кривых были определены критические нагрузки образования начальных микротрещин (Lc1), шевронных трещин (Lc2), скалывания (Lc3), а также глубина проникновения индентора при прогрессивной нагрузке и глубина постсканирования при снятии нагрузки, что позволило определить соотношение упругих и пластических деформаций в процентах при определенных критических нагрузках, рассчитываемых по формулам:

$$\frac{Rd}{Pd} \cdot 100 - \text{пластическая деформация (\%);}$$

$$100 - \left(\frac{Rd}{Pd} \cdot 100 \right) - \text{упругая деформация (\%),}$$

где Rd – глубина проникновения индентора после постсканирования (μm); Pd – глубина проникновения индентора (μm).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микро-, мезо-, макроанализ микроструктуры и топологии поверхности эмали в очаге ИКЭ, созданного *in vitro* по запатентованной технологии, устанавливал её соответствие характеристикам ОДЭ *in vivo* по данным клинической картины, стереомикроскопии, компьютерной томографии, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии: код K02.0 по МКБ-10; код 2 по ICDAS; образование на поверхности эмали зоны деструкции с неоднородным, сильно шероховатым рельефом, типичной треугольной формы на шлифах, с толщиной поверхностного слоя $43,1 \pm 31,2$ мкм и глубиной $423,8 \pm 107,4$ мкм; наличие рентгенопрозрачных темных участков с неравномерной оптической плотностью и зональным снижением минеральной плотности от $1,47 \pm 0,17$ – в темной, до $2,03 \pm 0,15$ г/см³ – в прозрачной зоне (на 53,1 и 73,4 % от плотности интактной эмали) (рис. 2). Разработанная нами модель экспериментального кариеса соответствовала кариесу эмали *in vivo*, что предопределяло показания к проведению *in vitro* инфильтрационного лечения и его модификаций.

Получены и проанализированы новые, не представленные в доступной нам литературе физико-механические свойства (крити-

ческие нагрузки начала образования микро-трещин (Lc1), шевронных трещин (Lc2), сколов (Lc3)) эмали (интактной, деминерализованной, проинфильтрированной светокомпозитом, заламинированной биоактивным гибридным стеклоиономером).

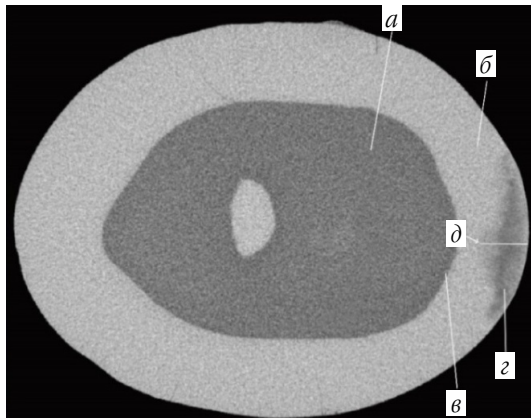


Рис. 2. Аксиальный 2D-срез коронки 3.4 зуба, проходящий через зону искусственно созданного кариеса эмали по её максимальной глубине: а – дентин; б – интактная эмаль; в – эмалево-дентинное соединение; з – кариес эмали *in vitro* с точкой максимальной глубины (д)

На примере образца 4.5 зуба, проинфильтрированного по модифицированной методике, представлен график, на котором сечения на поле кинетических кривых сопоставлены стрелками с участками царапины, вырезанными из панорамных снимков, соответствующие критическим нагрузкам Lc1, Lc2, Lc3; по кинетическим кривым этих нагрузок в автоматическом режиме установки МСТ определены физико-механические свойства исследуемых участков эмали (рис. 3).

При критической нагрузке Lc1 = 8,74 N, Pd = 9,93 μm, Rd = 2,26 μm, пластическая деформация = 22,8 %, упругая деформация = 77,2 %.

При критической нагрузке Lc2 = 10,21 N, Pd = 11,98 μm, Rd = 3,19 μm, пластическая деформация = 26,6 %, упругая деформация = 73,4 %.

При критической нагрузке Lc3 = 22,66 N, Pd = 57,15 μm, Rd = 29,11 μm, пластическая деформация = 50,9 %, упругая деформация = 49,1 %.

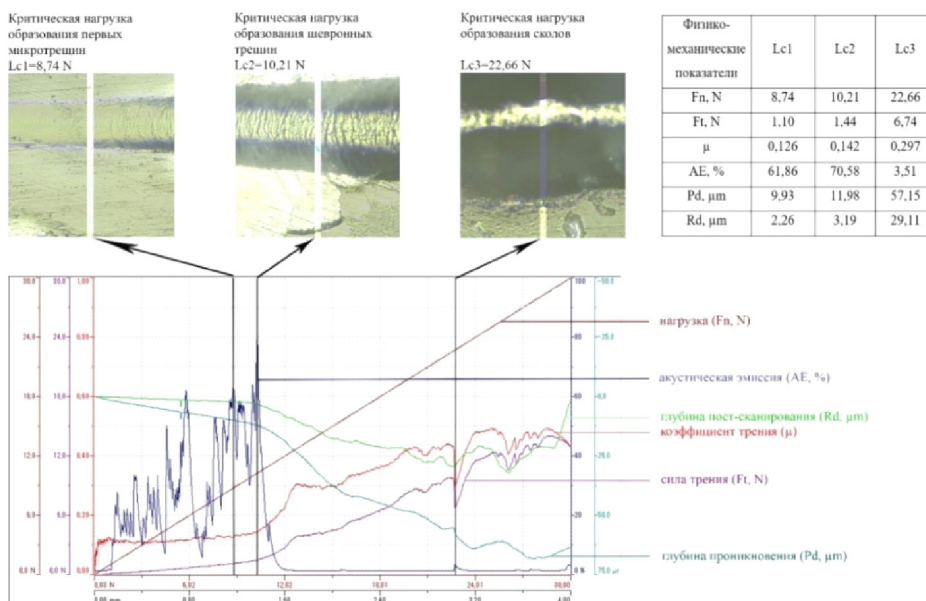


Рис. 3. Скретч-тестирование образца 1.1д, проинфильтрированного светокомпозитом

Критическая нагрузка начала образования микротрещин (Lc1) интактной эмали (36 скретч-тестов) – $9,82 \pm 0,81$ N, достоверно ($p < 0,05$) в 1,5 раза выше, чем у деминерализованной эмали ($6,34 \pm 0,92$ N) и достоверно ($p > 0,05$) не отличалась от показателя ($8,23 \pm 0,61$ N) проинфильтрированной по модифицированной методике, достоверно ($p < 0,05$) в 12 раз выше, чем у биоактивного стеклоиономера ($0,82 \pm 0,17$ N). При нагрузке Lc1 упругие и пластические свойства интактной эмали – $81,4 \pm 0,9$ и $18,6 \pm 0,9$ %, соответственно – достоверно не отличались от таковых у проинфильтрированной эмали, ($78,0 \pm 0,3$ и $22,0 \pm 0,3$ %), в то время как показатели деминерализованной эмали были противоположны и достоверно ($p < 0,05$) отличались ($15,7 \pm 5,9$ и $84,3 \pm 5,9$ %). Биоактивный стеклоиономер показал высокие упругие ($97,5 \pm 0,6$ %) и низкие пластические ($2,5 \pm 0,6$ %) свойства.

Критическая нагрузка образования шевронных трещин (Lc2) интактной эмали ($18,21 \pm 0,68$ N) достоверно ($p < 0,05$) в 1,3 раза выше, чем у деминерализованной ($14,21 \pm 1,35$ N), и достоверно ($p < 0,05$) в 1,8 раза выше, чем после инфильтрации ($10,1 \pm 0,30$ N); у биоактивного стеклоиономера показатели отсутствовали на всех тестируемых образцах. При нагрузке Lc2 упругие и пластические свойства интактной эмали ($79,7 \pm 2,7$ и $20,3 \pm 2,7$ % соответственно) достоверно не отличались от таковых после инфильтрации ($74,1 \pm 0,8$ и $25,9 \pm 0,8$ %), в то время как показатели деминерализованной эмали были противоположны и достоверно ($p < 0,05$) отличались ($29,1 \pm 2,2$ и $70,9 \pm 2,2$ %).

Критическая нагрузка образования сколов (Lc3) интактной эмали ($15,73 \pm 0,73$ N) была достоверно ($p < 0,05$) в 3,1 раза выше, чем у деминерализованной эмали ($5,02 \pm 0,64$ N),

достоверно ($p < 0,05$) в 1,4 раза ниже, чем после инфильтрации ($22,43 \pm 0,44$ N), достоверно ($p < 0,05$) в 7 раз выше, чем у биоактивного покрытия ($2,21 \pm 0,12$ N). При нагрузке Lc3 упругие и пластические свойства интактной эмали ($80,3 \pm 1,6$ и $19,7 \pm 1,6$ %), достоверно ($p < 0,05$) отличались от показателей проинфильтрированной эмали ($49,7 \pm 0,7$ и $50,3 \pm 0,7$ %), достоверно ($p < 0,05$) отличались от таковых у деминерализованной эмали ($31,3 \pm 3,8$; $68,7 \pm 3,8$ %) и биоактивного стеклоиономера ($66,5 \pm 1,7$; $33,5 \pm 1,7$ %).

ВЫВОДЫ

Критическая нагрузка образования микротрещин в пораженной эмали, проинфильтрированной с 4-минутной экспозицией кондиционирования (моделирование первого этапа комбинированного лечения) достоверно не отличалась от таковой у интактной эмали ($8,23 \pm 0,61$ N против $9,82 \pm 0,81$ N); при нагрузке Lc1 упругие и пластические свойства проинфильтрированной эмали также достоверно не отличались от таковых у интактной.

Критическая нагрузка образования шевронных трещин в деминерализованной эмали после инфильтрации с 4-минутным кондиционированием ниже, чем у интактной эмали; при нагрузке Lc2 её упругие и пластические свойства достоверно не отличаются от значений интактной эмали.

Критическая нагрузка образования сколов проинфильтрированной эмали (1-й этап комбинированного лечения) снижена в сравнении с показателями интактной ($22,43 \pm 0,44$ N против $15,73 \pm 0,73$ N); при нагрузке Lc3 её упругопластические свойства значительно снижены в сравнении с интактной эмалью ($49,7 \pm 0,7$ и $50,3 \pm 0,7$ % против $80,3 \pm 1,6$ и $19,7 \pm 1,6$ %).

У биоактивного стеклоиономера высокие упругие ($97,5 \pm 0,6$ %) и низкие пластические ($2,5 \pm 0,6$ %) свойства; критическая нагрузка начала образования микротрещин значительно ниже соответствующих показателей интактной эмали, показатели критической нагрузки образования шевронных трещин отсутствовали, а критические нагрузки образования сколов были минимальными ($2,21 \pm 0,12$ N), упругие и прочностные свойства при нагрузке Lc3 ниже, чем у интактной эмали.

В комплексе с результатами других физико-механических испытаний результаты *in vitro* оценки трещиностойкости деминерализованной эмали после лечения модифицированным методом (1-й этап комбинированного лечения) в большей части свидетельствуют об упрочении участка деминерализации после соответствующего комбинированного инфильтрационного лечения, но при условии щадящей индивидуальной и профессиональной гигиены зубов с леченным кариесом эмали и строгой регламентации сроков повторного нанесения защитного покрытия на проинфильтрованную эмаль.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леус П.А., Кисельникова Л.П., Ермуханова Г.Т., Бояркина Е.С. Многолетний мониторинг и возможности дальнейшего улучшения профилактики кариеса зубов у детей Беларуси, Казахстана и России. *Стоматология детского возраста и профилактика*. 2019; 19, 3 (71): 3–8.
2. Кузьмина Э.М., Янушевич О.О., Кузьмина И.Н., Лапатина А.В. Тенденции распространенности и интенсивности кариеса зубов среди населения России за 20-летний период. *Dental Forum*. 2020; 3 (78): 2–8.
3. Гилева О.С. Консервативно-профилактическая стоматология: современные тренды развития. *Пермский медицинский журнал* 2018; 35 (6): 61–72.
4. Кузьмина И.Н., Филлер Т.В., Саид Д.Ш. Клиническое применение метода инфильтрации для лечения кариеса проксимальных поверхностей зубов. *Российская стоматология* 2017; 1: 50.
5. Соловьёва Ж.В., Адамчик А.А. Эффективность применения глубокого фторирования в профилактике кариеса эмали. *Кубанский научный медицинский вестник* 2018; 25 (2): 135–139.
6. Мандра Ю.В., Власова М.И., Ермишина Е.Ю., Киселева Д.В. Экспериментальная оценка эффективности реминерализующих препаратов. *Уральский медицинский журнал*. 2015; 6 (129): 52–56.
7. Kreth J., Merritt J., Pfeifer C.S., Kbjajotia S., Ferracane J.L. Interaction between the Oral Microbiome and Dental Composite Biomaterials: Where We Are and Where We Should Go. *J Dent Res* 2020; 99 (10): 1140–1149.
8. Гилева О.С., Муравьева М.А., Симкина Н.И., Соколов А.К., Тертугов В.Н. Вычислительное моделирование начальной стадии кариеса зубов: геометрическое моделирование зуба. *Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика* 2012; 2 (10): 20–25.
9. Морозов И.А., Беляев А.Ю., Изюмов Р.И., Ерофеева Е.С., Гилева О.С. Влияние отбеливания на микроструктуру поверхности эмали человеческих зубов. *Материаловедение* 2012; 7: 50–55.
10. Гилева О.С., Муравьева М.А., Свистков А.Л., Изюмов Р.И., Левицкая А.Д. Экспериментальное исследование поверхности эмали зуба при различных лечебно-профилактических воздействиях. *Вестник*

Пермского научного центра УрО РАН 2017; 3: 15–21.

11. Морозов И.А., Свистков А.Л., Гилёва О.С., Ерофеева Е.С. Экспериментальное исследование влияния клинического отбеливания на микроструктуру поверхности эмали зубов. Российский журнал биомеханики. 2010; 14 (1): 56–64.

12. Ерофеева Е.С., Гилева О.С., Морозов И.А., Пленкина Ю.А., Свистков А.Л. Экспериментальное исследование микроструктуры эмали на этапах профессионального отбеливания зубов. Проблемы стоматологии 2011; 5: 4–9.

13. Ерофеева Е.С., Лятунова Е.А., Оборин В.А., Гилева О.С., Наймарк О.Б. Структурно-функциональный анализ твердых тканей зубов в оценке качества технологий отбеливания. Российский журнал биомеханики 2010; 14 (2): 47–55.

14. Русаков С.В., Изюмов Р.И., Свистков А.Л., Гилева О.С., Муравьева М.А. Математическое моделирование кариозных процессов, протекающих в зубной эмали, и процесса лечения начального кариеса по технологии Icon. Российский журнал биомеханики 2013; 17 (2): 93–106.

15. Izyumov R.I., Zuev A.L., Rusakov S.V., Gileva O.S., Muraveva M.A. Mathematical modeling of caries initiation and progression occurring in dental enamel. Key Engineering Materials 2014; 592–593: 362–365.

16. Morozov I.A., Belyaev A.Y., Izyumov R.I., Erofeeva E.S., Gileva O.S. Impact of whitening on the microstructure of human tooth enamel. Inorganic Materials: Applied Research 2013; 4 (1): 71–76.

17. Беляев А.Ю., Гилева О.С., Муравьева М.А., Свистков А.Л., Скачков А.П. Исследование микромеханических свойств здоровой и поврежденной кариесом зубной эмали с помощью микроиндентирования. Российский журнал биомеханики 2012; 16 (3): 2.

18. Belyaev A.Y., Zuev A.L., Gileva O.S., Muraveva M.A. Experimental studies of elastic properties of dental enamel and photopolymer used for early caries treatment. Key Engineering Materials 2014; 592–593: 358–361.

19. 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.

20. Муравьева М.А., Сюткина Е.С., Педдинова Т.Л., Гилева О.С. Анализ микроструктуры очага искусственной постортodontической деминерализации эмали. Стоматология 2018; 97 (6–2): 12.

21. Galkin S, Levitskaya A, Gileva O, Libik T, Lomiashvili L. The combined approach to evaluation of mechanical behavior of tooth enamel in artificially induced caries lesions. BIO Web of Conferences 2020; 22 (02027): 2–9.

22. Гилева О.С., Муравьева М.А., Вальцифер В.А., Нечаев А.И., Гилева Е.С. Способ моделирования очага деминерализации эмали зуба: патент на изобретение № 2503067 от 27.12.13.

23. Гилева О.С., Левицкая А.Д. Устройство для моделирования экспериментального кариеса в стадии пятна методом эмалевого окна. Патент на полезную модель № 172561 от 17.07.17.

24. Гилева О.С., Левицкая А.Д. Сепаратор для хранения биопрепаратов зубов с целью моделирования искусственного кариеса. Патент на полезную модель № 171409 от 30.05.17.

25. Гилева О.С., Ерофеева Е.С., Изюмов Р.И., Муравьева М.А., Свистков А.Л. Исследование и моделирование процесса возникновения и развития кариеса. Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика 2011; 5 (9): 51–54.

26. Гилева О.С., Муравьева М.А., Сюткина Е.С., Левицкая А.Д. Постортодонтическая деминерализация эмали: клинические особенности и эффективность лечения. *Маэстро стоматологии* 2015; 4: 38.
27. Admakin O., Kbakimova D. Prevalence white spot lesions (WSL) in patients with fixed orthodontic appliances. *Indo Am JP Sci* 2018; 05 (05).
28. Гилева О.С., Левицкая А.Д., Сюткина Е.С., Коротин С.В., Гибадуллина Н.В., Свистков А.Л. Экспериментально-клиническая оценка эффективности применения различных методов лечения очаговой деминерализации эмали. *Современные проблемы науки и образования* 2018; 6: 99.
29. Meyer-Lueckel H., Paris S., Schult A. Kariesinfiltration – Update 2017. *Zahnmedizin up2date* 2017; 11 (03): 267–290.
30. Paris S., Meyer-Lueckel H., Kielbassa A.M. Resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res* 2007; 86 (7): 662–666.
31. Kielbassa A.M., Ulrich I., Treven L., Mueller J. An updated review on the resin infiltration technique of incipient proximal enamel lesions. *Medicine in evolution* 2010; 15 (4): 3–15.
32. Гилева О.С., Муравьева М.А., Серебренникова Е.В. Комплексный подход к оценке эстетико-функциональных результатов кариес-инfiltrации при лечении кариеса эмали. *Современные проблемы науки и образования* 2013; 2: 61.
33. Макеева И.М., Скатова Е.А., Шакарьянц А.А., Макеева М.К. Определение эффективности лечения кариеса методом infiltration по результатам исследования *in vitro*. *Стоматология* 2010; 4: 39–43.
34. Гилева О.С., Шакуля М.А., Левицкая А.Д., Сюткина Е.С., Серебренникова Е.В. Способ лечения очаговой деминерализации эмали зуба. Патент на изобретение № 2571334 от 23.11.15.
35. Левицкая А.Д., Гилева О.С., Степанова Л.В., Коротин С.В. Эффективность комбинированного метода при лечении кариеса эмали путем infiltration у лиц молодого возраста. *Dental Forum* 2019; 4 (75): 57–58.
36. Гилева О.С., Левицкая А.Д., Зуев А.Л. Исследование физико-механических свойств эмали зубов методом кинетического микроиндентирования. *Вестник Пермского федерального исследовательского центра* 2021; 1: 37–46.

REFERENCES

1. Leus P.A., Kisel'nikova L.P., Ermubanova G.T., Boyarkina E.S. Mnogoletnij monitoring i vozmozhnosti dal'nejshego uluchsheniya profilaktiki kariesa zubov u detej Belarusi, Kazahstana i Rossii. *Stomatologiya detskogo vozrasta i profilaktika* 2019; 19, 3 (71): 3–8 (in Russian).
2. Kuz'mina E.M., Yanushevich O.O., Kuz'mina I.N., Lapatina A.V. Tendencii rasprostranennosti i intensivnosti kariesa zubov sredi naseleniya Rossii za 20-letnij period. *Dental Forum* 2020; 3 (78): 2–8 (in Russian).
3. Gileva O.S. Konservativno-profilakticheskaya stomatologiya: sovremennye trendy razvitiya. *Permskij medicinskij zhurnal* 2018; 35 (6): 61–72 (in Russian).
4. Kuz'mina I.N., Filler T.V., Said D.Sh. Klinicheskoe primenenie metoda infiltracii dlya lecheniya kariesa proksimal'nyh poverhnoстей zubov. *Rossijskaya stomatologiya* 2017; 1: 50 (in Russian).
5. Solov'yova Zh.V., Adamchik A.A. Effektivnost' primeneniya glubokogo fluorirovaniya v profilaktike kariesa emali. *Kubanskij nauchnyj medicinskij vestnik* 2018; 25 (2): 135–139 (in Russian).
6. Mandra Yu.V., Vlasova M.I., Ermishina E.Yu., Kiseleva D.V. Eksperimental'naya ocenka

effektivnosti remineralizuyushchih preparatov. *Ural'skij medicinskij zhurnal* 2015; 6 (129): 52–56 (in Russian).

7. *Kreth J., Merritt J., Pfeifer C.S., Khabotia S., Ferracane J.L.* Interaction between the Oral Microbiome and Dental Composite Biomaterials: Where We Are and Where We Should Go. *J Dent Res* 2020; 99 (10): 1140–1149 .

8. *Gileva O.S., Murav'eva M.A., Simakina N.I., Sokolov A.K., Terpugov V.N.* Vychislitel'noe modelirovanie nachal'noj stadii kariesa zubov: geometricheskoe modelirovanie zuba. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Informatika* 2012; 2 (10): 20–25 (in Russian).

9. *Morozov I.A., Belyaev A.Yu., Izyumov R.I., Erofeeva E.S., Gileva O.S.* Vliyanie otbelivaniya na mikrostrukturu poverhnosti emali chelovecheskih zubov. *Materialovedenie*. 2012; 7: 50–55 (in Russian).

10. *Gileva O.S., Murav'eva M.A., Svistkov A.L., Izyumov R.I., Levickaya A.D.* Eksperimental'noe issledovanie poverhnosti emali zuba pri razlichnyh lechebno-profilakticheskikh vozdeystviyah. *Vestnik Permskogo nauchnogo centra UrO RAN* 2017; 3: 15–21 (in Russian).

11. *Morozov I.A., Svistkov A.L., Gilyova O.S., Erofeeva E.S.* Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya klinicheskogo otbelivaniya na mikrostrukturu poverhnosti emali zubov. *Rossijskij zhurnal biomekhaniki* 2010; 14 (1): 56–64 (in Russian).

12. *Erofeeva E.S., Gileva O.S., Morozov I.A., Plenkina Yu.A., Svistkov A.L.* Eksperimental'noe issledovanie mikrostruktury emali na etapah professional'nogo otbelivaniya zubov. *Problemy stomatologii* 2011; 5: 4–9 (in Russian).

13. *Erofeeva E.S., Lyapunova E.A., Oborin V.A., Gileva O.S., Najmark O.B.* Strukturno-funkcional'nij analiz tverdyh tkanej zubov v ocenke kachestva tekhnologij otbelivaniya. *Rossijskij zhurnal biomekhaniki* 2010; 14 (2): 47–55 (in Russian).

14. *Rusakov S.V., Izyumov R.I., Svistkov A.L., Gileva O.S., Murav'eva M.A.* Matematicheskoe modelirovanie karioznyh processov, protekayushchih v zubnoj emali, i processa lecheniya nachal'nogo kariesa po tekhnologii Icon. *Rossijskij zhurnal biomekhaniki* 2013; 17 (2): 93–106 (in Russian).

15. *Izyumov R.I., Zuev A.L., Rusakov S.V., Gileva O.S., Muraveva M.A.* Mathematical modeling of caries initiation and progression occurring in dental enamel. *Key Engineering Materials* 2014; 592–593: 362–365 .

16. *Morozov I.A., Belyaev A.Y., Izyumov R.I., Erofeeva E.S., Gileva O.S.* Impact of whitening on the microstructure of human tooth enamel. *Inorganic Materials: Applied Research* 2013; 4 (1): 71–76.

17. *Belyaev A.Yu., Gileva O.S., Murav'eva M.A., Svistkov A.L., Skachkov A.P.* Issledovanie mikromekhanicheskikh svoystv zdorovoj i povrezhdennoj kariesom zubnoj emali s pomoshch'yu mikroindentirovaniya. *Rossijskij zhurnal biomekhaniki* 2012; 16 (3): 2 (in Russian).

18. *Belyaev A.Y., Zuev A.L., Gileva O.S., Muraveva M.A.* Experimental studies of elastic properties of dental enamel and photopolymer used for early caries treatment. *Key Engineering Materials* 2014; 592–593: 358–361.

19. *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 Russian).

20. *Murav'eva M.A., Syutkina E.S., Redinova T.L., Gileva O.S.* Analiz mikrostruktury ochaga iskusstvennoj postortodonticheskoy demineralizacii emali. *Stomatologiya* 2018; 97 (6–2): 12 (in Russian).

21. *Galkin S., Levitskaya A., Gileva O., Libik T., Lomiashvili L.* The combined approach to eval-

uation of mechanical behavior of tooth enamel in artificially induced caries lesions. *BIO Web of Conferences* 2020; 22 (02027): 2–9.

22. Gileva O.S., Murav'eva M.A., Val'cifer V.A., Nechaev A.I., Gileva E.S. Sposob modelirovaniya ochaga demineralizacii emali zuba. Patent na izobretenie № 2503067 ot 27.12.2013 (in Russian).

23. Gileva O.S., Levickaya A.D. Ustrojstvo dlya modelirovaniya eksperimental'nogo kariesa v stadii pyatna metodom emalevogo okna. Patent na poleznuyu model' № 172561 ot 17.07.2017 (in Russian).

24. Gileva O.S., Levickaya A.D. Separator dlya hraneniya biopreparatov zubov s cel'yu modelirovaniya iskusstvennogo kariesa. Patent na poleznuyu model' № 171409 ot 30.05.2017 (in Russian).

25. Gileva O.S., Erofeeva E.S., Izyumov R.I., Murav'eva M.A., Svistkov A.L. Issledovanie i modelirovanie processa vozniknoveniya i razvitiya kariesa. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Informatika* 2011; 5 (9): 51–54 (in Russian).

26. Gileva O.S., Murav'eva M.A., Syutkina E.S., Levickaya A.D. Postortodonticheskaya demineralizaciya emali: klinicheskie osobennosti i effektivnost' lecheniya. *Maestro stomatologii* 2015; 4: 38 (in Russian).

27. Admakin O., Kbakimova D. Prevalence white spot lesions (WSL) in patients with fixed orthodontic appliances. *Indo Am JP Sci* 2018; 05 (05).

28. Gileva O.S., Levickaya A.D., Syutkina E.S., Korotin S.V., Gibadullina N.V., Svistkov A.L. Eksperimental'no-klinicheskaya ocenka effektivnosti primeniya razlichnyh metodov lecheniya ochagovoj demineralizacii emali. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* 2018; 6: 99 (in Russian).

29. Meyer-Lueckel H., Paris S., Schult A. Kariesinfiltration – Update 2017. *Zahnmedizin update* 2017; 11 (03): 267–290.

30. Paris S., Meyer-Lueckel H., Kielbassa A.M. Resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res* 2007; 86 (7): 662–666.

31. Kielbassa A.M., Ulrich I., Treven L., Mueller J. An updated review on the resin infiltration technique of incipient proximal enamel lesions. *Medicine in evolution* 2010; 15 (4): 3–15.

32. Gileva O.S., Murav'eva M.A., Serebrennikova E.V. Kompleksnyj podhod k ocenke estetiko-funkcional'nyh rezultatov karies-infil'tracii pri lechenii kariesa emali. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* 2013; 2: 61 (in Russian).

33. Makeeva I.M., Skatova E.A., SHakar'yanc A.A., Makeeva M.K. Opredelenie effektivnosti lecheniya kariesa metodom infil'tracii po rezultatam issledovaniya *in vitro*. *Stomatologiya* 2010; 4: 39–43 (in Russian).

34. Gileva O.S., SHakulya M.A., Levickaya A.D., Syutkina E.S., Serebrennikova E.V. Sposob lecheniya ochagovoj demineralizacii emali zuba. Patent na izobretenie № 2571334 ot 23.11.2015 (in Russian).

35. Levickaya A.D., Gileva O.S., Stepanova L.V., Korotin S.V. Effektivnost' kombinirovannogo metoda pri lechenii kariesa emali putem infil'tracii u lic mladogo vozrasta. *Dental Forum* 2019; 4 (75): 57–58.

36. Gileva O.S., Levickaya A.D., Zuev A.L. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv emali zubov metodom kineticheskogo mikroindentirovaniya. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo centr* 2021; 1: 37–46 (in Russian).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Материал поступил в редакцию 24.03.2021