

## Редакционная коллегия

**Артошкевич Александр Сергеевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии Белорусской медицинской академии последипломного образования (Минск, Беларусь)

**Гулько Иван Иванович**, д.м.н., профессор кафедры ортопедической стоматологии Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Казеко Людмила Анатольевна**, к.м.н., доцент, заведующая кафедрой 1-й кафедры терапевтической стоматологии Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Ластовка Александр Сергеевич**, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Леус Петр Андреевич**, д.м.н., профессор 2-й кафедры терапевтической стоматологии Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Полонейчик Николай Михайлович**, к.м.н., доцент, заведующий кафедрой общей стоматологии Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Полянский Юрий Петрович**, к.м.н., директор Частного издательского унитарного предприятия «Юпоком» (Минск, Беларусь)

**Походенько-Чудакова Ирина Олеговна**, д.м.н., профессор, заведующая кафедрой хирургической стоматологии Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Рубникович Сергей Петрович**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии и ортодонтии с курсом детской стоматологии Белорусской медицинской академии последипломного образования (Минск, Беларусь)

**Терехова Тамара Николаевна**, д.м.н., профессор, заведующая кафедрой стоматологии детского возраста Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Токаревич Игорь Владиславович**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой ортодонтии Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Чудаков Олег Порфирьевич**, д.м.н., профессор кафедры хирургической стоматологии Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Шаковец Наталья Вячеславовна**, д.м.н., профессор кафедры стоматологии детского возраста Белорусского государственного медицинского университета (Минск, Беларусь)

**Шарабчиев Юрий Талытович**, к.м.н., директор Частного издательского унитарного предприятия «ЮпокомИнфоМед» (Минск, Беларусь)

**Юдина Наталья Александровна**, д.м.н., профессор, заведующая кафедрой общей стоматологии Белорусской медицинской академии последипломного образования (Минск, Беларусь)

**Ясевич Татьяна Владимировна**, ответственный секретарь журнала

## Редакционный совет

Бурим В.А., Варганов В.В., Величко Л.С., Вураки К.А., Гулько С.И., Живаев О.А., Жилевич А.В., Запашник Е.К., Ковалевская А.В., Колесник А.Г., Лобко В.А., Матвеев А.М., Несмеянов А.А., Павленко А.В., Сарвас О.К., Третьякович А.Г., Утлик И.А., Шейда А.В.

## Международный консультативный комитет

**Арутюнов Сергей Дарчоевич**, доктор медицинских наук, профессор, декан факультета среднего профессионального образования Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, заведующий кафедрой пропедевтической стоматологии, заслуженный врач России (Москва, Россия)

**Ермуханова Гульжан Тлеумухановна**, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой стоматологии детского возраста Казахского национального медицинского университета им. С. Асфендиярова (Алматы, Казахстан)

**Лебеденко Игорь Юльевич**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией разработки и физико-химических испытаний стоматологических материалов ЦНИИС и ЧЛХ Минздрава России, заслуженный деятель науки России (Москва, Россия)

**Митронин Александр Валентинович**, доктор медицинских наук, профессор, декан стоматологического факультета Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова, заведующий кафедрой кариеологии и эндодонтии, главный внештатный специалист стоматолог Департамента здравоохранения города Москвы, заслуженный врач России (Москва, Россия)

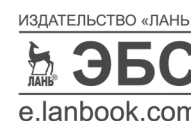
**Севбитов Андрей Владимирович**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой пропедевтики стоматологических заболеваний Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Москва, Россия)

**Спинеи Аурелия Федоровна**, доктор медицинских наук, доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии, детской стоматологии и ортодонтии Государственного медицинского и фармацевтического университета им. Николае Тестемицану (Кишинев, Молдова)

**Тимофеев Алексей Александрович**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии Национальной медицинской академии последипломного образования им. П.Л. Шупика (Киев, Украина)

**Тушек Иван**, доктор медицинских наук, профессор медицинского факультета Университета Нового Сада (Новый Сад, Сербия)

**Хамадеева Альфия Минвалиевна**, доктор медицинских наук, профессор, Самарский государственный медицинский университет (Самара, Россия)



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЭМАЛИ ПОСТОЯННЫХ ЗУБОВ

Хоменко Лариса Александровна, доктор медицинских наук, профессор кафедры детской терапевтической стоматологии и профилактики стоматологических заболеваний Национального медицинского университета имени А.А. Богомольца, Киев, Украина

Сороченко Григорий Валериевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры детской терапевтической стоматологии и профилактики стоматологических заболеваний Национального медицинского университета имени А.А. Богомольца, Киев, Украина

Остапко Елена Ивановна, доктор медицинских наук, профессор кафедры детской терапевтической стоматологии и профилактики стоматологических заболеваний Национального медицинского университета имени А.А. Богомольца, Киев, Украина

Биденко Наталия Васильевна, доктор медицинских наук, декан стоматологического факультета, профессор кафедры детской терапевтической стоматологии и профилактики стоматологических заболеваний Национального медицинского университета имени А.А. Богомольца, Киев, Украина

Савичук Александр Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой детской терапевтической стоматологии и профилактики стоматологических заболеваний Национального медицинского университета имени А.А. Богомольца, Киев, Украина

Голубева Инна Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры детской терапевтической стоматологии и профилактики стоматологических заболеваний Национального медицинского университета имени А.А. Богомольца, Киев, Украина

Larisa Khomenko, MD, Professor of the Department of Pediatric Therapeutic Dentistry and Prevention of Dental Diseases of the National Medical University named after A. Bogomolets, Kiev, Ukraine  
Grigory Sorochenko, MD, Professor of the of the Department of Pediatric Therapeutic Dentistry and Prevention of Dental Diseases of the National Medical University named after A. Bogomolets, Kiev, Ukraine  
Elena Ostapko, MD, Professor of the Department of Pediatric Therapeutic Dentistry and Prevention of Dental Diseases of the National Medical University named after A. Bogomolets, Kiev, Ukraine  
Natalia Bidenko, MD, Dean of the Faculty of Dentistry, Professor of the Department of Pediatric Therapeutic Dentistry and Prevention of Dental Diseases of the National Medical University named after A. Bogomolets, Kiev, Ukraine  
Alexander Savychuk, MD, Professor, Head of the Department of Pediatric Therapeutic Dentistry and Prevention of Dental Diseases of the National Medical University named after A. Bogomolets, Kiev, Ukraine  
Inna Golubeva, PhD, Associate Professor of the Department of Pediatric Therapeutic Dentistry and Prevention of Dental Diseases of the National Medical University named after A. Bogomolets, Kiev, Ukraine  
Experimental justification of mineralization processes' control for permanent teeth' enamel

**Цель.** Изучить *in vitro* особенности морфологической структуры, химического состава и физических свойств интактной эмали постоянных зубов в период вторичной минерализации под влиянием современных средств экзогенной профилактики кариеса.

**Материалы и методы.** Для проведения исследования использовали 50 постоянных зубов, удаленных по ортодонтическим показаниям (премоляры 10–12-летних детей). Сразу после удаления корня зубов отрезали, отступив 2–3 мм от уровня эмалево-цементного соединения, и удаляли остатки мягких тканей. Полученные коронковые сегменты хранились в отдельных герметичных боксах, погруженные в раствор «искусственная слюна».

**Результаты.** Проведено комплексное исследование *in vitro* интактной эмали постоянных зубов после прорезывания. На основании оценки химического состава, морфологических и физических параметров выявлены основные признаки недостаточной минерализации, что обосновывает необходимость назначения минерализирующих средств экзогенной профилактики кариеса в этот период.

**Заключение.** Установлено, что достоверные изменения в эмали постоянных зубов, которые происходят под влиянием современных средств экзогенной профилактики кариеса с содержанием различных противокариозных соединений на протяжении 12 месяцев, позволяют создать оптимальные условия для минерализации (повышения кариесрезистентности) эмали постоянных зубов сразу после их прорезывания.

**Ключевые слова:** эмаль зуба, минерализация, кариесрезистентность, экзогенная профилактика кариеса.

Современная стоматология. – 2020. – №1. – С. 48–53.

**Objective.** To study *in vitro* the features of the morphological structure, chemical composition and physical properties of the intact enamel of permanent teeth during the period of secondary mineralization under the influence of modern means of exogenous prevention of caries.

**Materials and methods.** To conduct the study, 50 permanent teeth removed according to orthodontic indications (premolars of 10–12 year old children) were used. Immediately after removal, the roots of the teeth were cut off, 2–3 mm in step from the level of the enamel-cement compound, and the remnants of the soft tissues were removed. The resulting crown segments were stored in separate airtight boxes, immersed in a solution of “artificial saliva”.

**Results.** A comprehensive study was conducted *in vitro* of the intact enamel of permanent teeth after eruption. Based on the assessment of the chemical composition, morphological and physical parameters, the main signs of insufficient mineralization are identified, which justifies the need for the appointment of mineralizing agents for exogenous caries prevention during this period.

**Conclusion.** It has been established that significant changes in the enamel of permanent teeth that occur under the influence of modern means of exogenous prevention of caries with various anti-caries compounds for 12 months allow creating optimal conditions for the mineralization (increasing caries resistance) of enamel of permanent teeth immediately after eruption.

**Keywords:** tooth enamel, mineralization, caries resistance, exogenous caries prophylaxis.

Sovremennaya stomatologiya. – 2020. – N1. – P. 48–53.

**З**аболевания твердых тканей зуба различного генеза, в частности кариес, сегодня считаются проблемой не только медицинской, но и социальной из-за высокой распространенности и интенсивности патологии уже в детском возрасте [5, 9, 10].

Повышенный риск развития кариеса постоянных зубов среди детей и подростков приходится на период вторичной минерализации (5–15 лет) [2]. Это связано с особенностями строения и состава эмали зубов сразу после прорезывания, а именно с низкой степенью минерализации (пониженное содержание кальция, фосфора и фтора в поверхностном слое), увеличенным содержанием воды и органики, высокой проницаемостью (за счет большого количества микропор, щелей и т.д.), значительно выраженным микрорельефом поверхности [1, 7].

Ключевым патогенетически обоснованным направлением профилактики кариеса в этот период является повышение степени минерализации эмали зубов, которое реализуется путем систематического местного применения средств профилактики, содержащих различные химические соединения [3, 6, 7].

В процессе минерализации твердых тканей зуба принимают участие более 40 химических элементов [1]. Важнейшими из них являются кальций и фосфор, которые выступают основными компонентами апатитов эмали, а также фтор, который считается наиболее эффективным элементом против кариеса [1, 3, 6–8]. Некоторые авторы указывают на важное значение иных макро- и микроэлементов, в частности кремния, цинка и магния, в формировании кариесрезистентной эмали зубов [3, 13]. Поэтому в последние годы растет внимание к новым реминерализующим средствам, в состав которых входят кальций и фосфор, а также к комплексным препаратам, которые дополнительно содержат фтор, магний, кремний и другие химические элементы [2, 3, 6, 8, 12, 13]. Изучение возможностей управления процессом минерализации эмали постоянных зубов путем применения современных средств экзогенной профилактики ка-

риеса является актуальным вопросом стоматологии.

**Цель исследования** – изучить *in vitro* особенности морфологической структуры, химического состава и физических свойств интактной эмали постоянных зубов в период вторичной минерализации под влиянием современных средств экзогенной профилактики кариеса.

#### Материалы и методы

Для проведения исследования были использованы 50 постоянных зубов, удаленных по ортодонтическим показаниям (премоляры 10–12-летних детей, не позднее 6 месяцев после прорезывания). Сразу после удаления корни зубов отрезали, отступив 2–3 мм от уровня эмалево-цементного соединения и удаляли остатки мягких тканей. Полученные коронковые сегменты хранились в отдельных герметичных боксах, погруженные в раствор «искусственная слюна» (Т. Fusayama, 1975).

Все коронковые сегменты были произвольно разделены на 5 (3 основных и 2 контрольные) групп по 10 сегментов. Эмаль зубов 1-й основной группы (1ОГ) обрабатывали водорастворимым кремом с содержанием 10% казеинфосфопептида-аморфного фосфата кальция (CPP-ACP «Tooth mousse», GC, Япония), 2-й основной группы (2ОГ) – комбинированным средством, содержащим гидроксиапатит, фторид (1450 ppm) и ксилит (NAP-FX, «Remin Pro», VOCO, Германия). Эмаль зубов обрабатывали дважды в день с интервалом 12 часов в течение 3 минут 10 дней подряд. Обработку образцов 1–2 ОГ проводили в начале исследования, через 3, 6 и 9 месяцев (4 раза в год).

В 3-й основной группе (3ОГ) проводили процедуру глубокого фторирования эмали (ГФЭ, «Ftorcalcit E», Latus, Украина) согласно инструкции. Обработку осуществляли в начале эксперимента и через 6 месяцев (2 раза в год).

Эмаль зубов в контрольных группах (1КГ и 2КГ) не обрабатывали никакими лечебно-профилактическими средствами.

Исследование образцов эмали постоянных зубов 1КГ проводили в начале исследования, всех основных групп и 2КГ – через 12 месяцев.

Подготовленные образцы каждой группы произвольно распределялись на 2 подгруппы: в первой подгруппе образцы

готовились с целью изучения морфологии и химического состава поверхностного слоя эмали, во второй подгруппе – для изучения механических свойств по всей глубине эмали.

Образцы эмали первой подгруппы срезали с вестибулярной и оральной поверхностей коронковой части зубов, очищали с помощью ультразвука, обезжировали и вакуумировали. При проведении исследования поверхности образцов не напыляли для максимальной достоверности результата.

Сначала поверхность образцов анализировали с помощью вторичного электронного метода в сканирующем электронном микроскопе (SEM, INCA PENTA FET  $\times 3$ , Oxford Instruments, Co., UK) с увеличением от 500 до 5000. На втором этапе определяли количественный химический состав поверхностного слоя эмали методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии (X-ray, EDS) с помощью Оже-микросзонда JAMP-9500F (Field Emission Auger Microprobe) аппарата JEOL JSM 5310LV (Япония). Для каждого образца проводили анализ в 5–7 точках поверхности. Результаты вычисляли в весовых процентах.

Образцы эмали второй подгруппы (для исследования механических свойств) получали путем продольного (через верхушки бугорков) рассечения коронкового сегмента. Подготовленные образцы эмали фиксировали в бакелите и изготавливали шлифы с помощью шлифовально-полировального станка (LECO Corporation, USA).

Исследование твердости эмали постоянных зубов методом наноиндентирования проводилось на приборах «Микрон-гамма» (Украина) и Nano Indenter G200 (Nano Instrument Innovation Center, Oak Ridge, TN, USA) путем непрерывного внедрения в поверхность твердого индентера (алмазной 3-гранной пирамиды Берковича по методу DSI (Depth Sensing Indentation) в соответствии со стандартом ISO 14577-4).

Нанотвердость эмали постоянных зубов изучали в пришеечной области (на расстоянии 1,5 мм от анатомической шейки зуба), в области экватора и щечного бугорка на всю глубину с шагом 50 мкм (первая точка наносилась на расстоянии 10–20 мкм от края эмали) при нагрузке

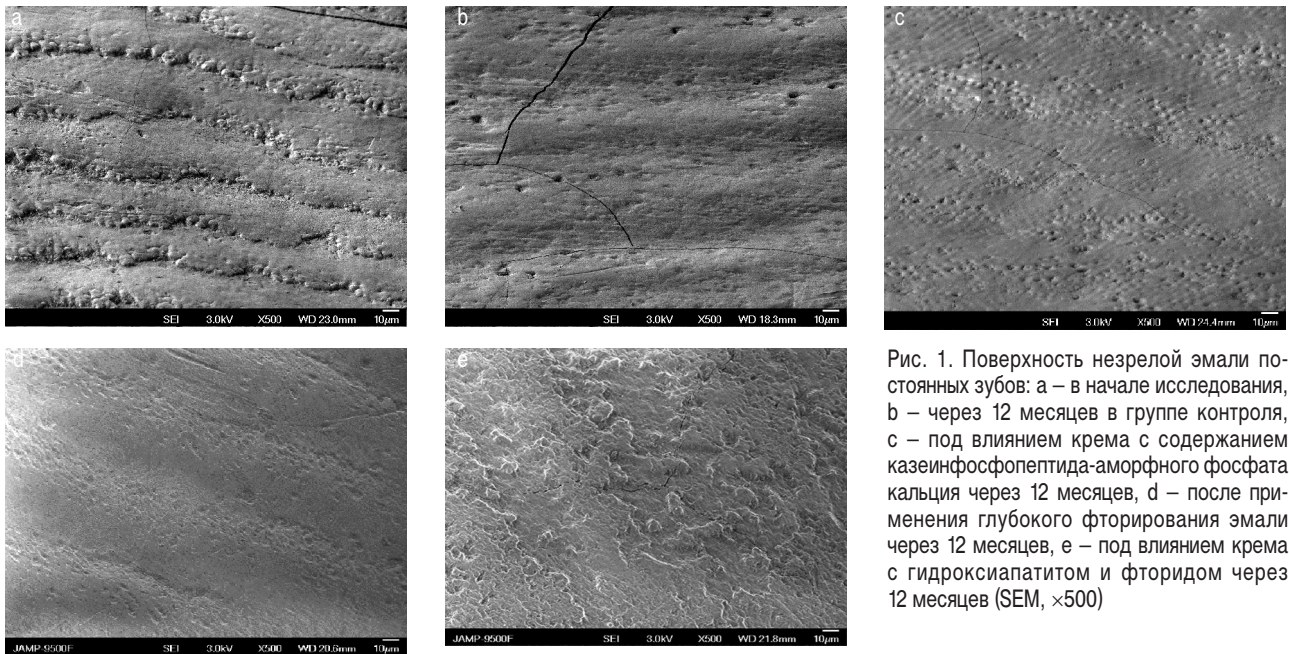


Рис. 1. Поверхность незрелой эмали постоянных зубов: а – в начале исследования, б – через 12 месяцев в группе контроля, с – под влиянием крема с содержанием казеинфосфопептида-аморфного фосфата кальция через 12 месяцев, d – после применения глубокого фторирования эмали через 12 месяцев, е – под влиянием крема с гидроксиапатитом и фторидом через 12 месяцев (SEM,  $\times 500$ )

на индентер в 1 г (10 мН) и скорости индентирования 0,1 г/сек.

Статистическую обработку результатов исследования проводили с применением однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с помощью пакета статистических программ SPSS Statistics 20.0.0.

#### Результаты и обсуждение

В течение исследования на основании данных сканирующей электронной микроскопии были обнаружены особенности морфологии поверхности интактной незрелой эмали постоянных зубов в период вторичной минерализации и изменения, которые происходят под влиянием средств экзогенной профилактики кариеса с содержанием различных противокариозных соединений (рис. 1 и 2).

На поверхности эмали образцов сразу после прорезывания (1КГ) четко прослеживаются многочисленные щели размером более 100 мкм, перикиматы, на границе которых отмечается выход эмалевых призм аркадоподобной формы, поверхность эмали тусклая, шероховатая (рис. 1а). Это может указывать на низкий уровень минерализации поверхностного слоя эмали, отсутствие защитного слоя на поверхности, высокую проницаемость незрелой эмали, наличие условий для дополнительной ретенции микроорганизмов. Указанные факторы обуславливают низкую кари-

есрезистентность незрелой эмали и высокий риск уязвимости эмали сразу после прорезывания.

В период интенсивной вторичной минерализации (2КГ) перикиматы сглаживаются, степень матовости и шероховатости визуально уменьшается, четко наблюдаются щели размером более 100 мкм и значительное количество углублений, которые указывают на место выхода эмалевых призм (рис. 1б). Данные изменения могут указывать на то, что процессы минерализации поверхностного слоя незрелой эмали без дополнительного применения средств экзогенной профилактики кариеса происходят медленно, что может определять низкую кариесрезистентность незрелой эмали постоянных зубов в течение 12–18 месяцев после прорезывания.

После применения кариеспрофилактических средств рельеф эмали менялся визуально более интенсивно. Общими чертами для всех основных групп было сглаживание и отсутствие щелей, а также рост яркости и блеска поверхности эмали (рис. 1с, d, e).

При увеличении в 5000 раз отмечена более подробная разница в месте выхода на поверхность эмалевых призм. На поверхности незрелой эмали сразу после прорезывания (1КГ) отмечается значительное количество кратеров малой глубины диаметром 2–5 мкм. Дно кратеров шероховатое (рис. 2а).

В период интенсивной вторичной минерализации (2КГ) количество незакрытых кратеров значительно уменьшается, кратеры становятся визуально более глубокими, однако их дно остается шероховатым, на поверхности наблюдаются многочисленные борозды, которые могут быть следствием механического воздействия щетки и указывать на слабый уровень минерализации поверхностного слоя (рис. 2б).

Под влиянием исследуемых кариеспрофилактических средств через 12 месяцев наблюдается полное закрытие или существенное уменьшение площади кратеров по сравнению с исходным уровнем. Кратеры выхода на поверхность эмалевых призм по сравнению с аналогичным участком в группе контроля является визуально более гладкими и глубокими (рис. 2с, d, e).

Таким образом, полученные морфологические особенности могут указывать на откладывание и длительное сохранение на поверхности эмали слоя дополнительных химических соединений, который сохраняется даже после механической и ультразвуковой очистки поверхности при подготовке образцов. Такие изменения для поверхности эмали создают условия для ее полноценной минерализации, соответственно, роста уровня кариесрезистентности, поэтому в период до 12 месяцев после прорезывания постоянных зубов

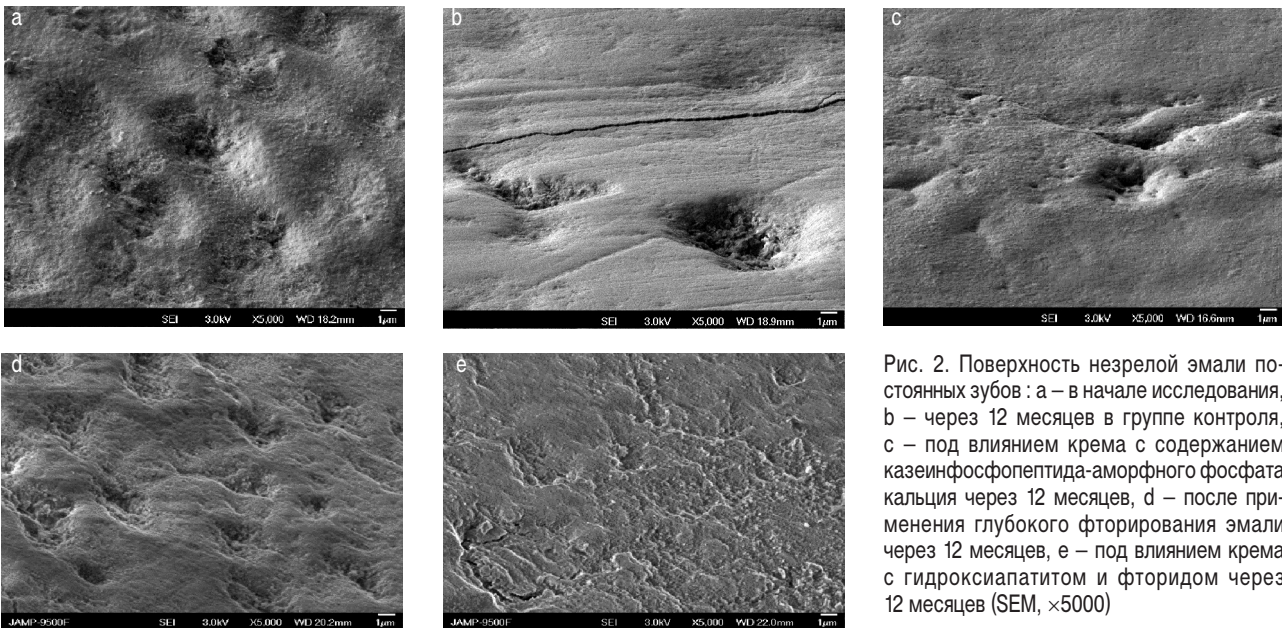


Рис. 2. Поверхность незрелой эмали постоянных зубов: а – в начале исследования, б – через 12 месяцев в группе контроля, с – под влиянием крема с содержанием казеинфосфопептида-аморфного фосфата кальция через 12 месяцев, d – после применения глубокого фторирования эмали через 12 месяцев, е – под влиянием крема с гидроксиапатитом и фторидом через 12 месяцев (SEM,  $\times 5000$ )

необходимо применение средств, которые способствуют повышению минерализации эмали.

Полученные данные относительно морфологии поверхности незрелой эмали и изменения, которые в ней происходят, были подтверждены результатами исследования химического состава поверхностного слоя незрелой эмали методом рентгенфотоэлектронной спектроскопии (табл. 1) в ходе исследования было установлено, что под влиянием исследуемых средств в поверхностном слое эмали через 12 месяцев происходят достоверные изменения содержания углерода, фтора, натрия, магния, меди, кремния, кальция и соотношение кальций/фосфор по сравнению с группами контроля.

Установлено достоверное снижение количества углерода в образцах эмали всех основных групп на 31,4–36,4% ( $p < 0,0017$ ). В группе контроля в конце исследования (2КГ) аналогичный показатель достоверно уменьшился на 12% ( $p > 0,05$ ).

Достоверное увеличение количества кальция в образцах эмали постоянных зубов во всех основных группах колебалось в пределах 25,5–27,4% ( $p < 0,0017$ ). Соответствующий показатель 2КГ в ходе исследования достоверно вырос на 5,6% ( $p > 0,05$ ).

Уровень фтора в образцах эмали постоянных зубов основных групп достоверно увеличился в конце эксперимента

в 2,2–70,5 раза ( $p < 0,0017$ ), тогда как в группе контроля в конце исследования аналогичный показатель недостоверно вырос в 0,3 раза ( $p > 0,05$ ).

Установлено, что содержание натрия в образцах незрелой эмали постоянных зубов в ходе эксперимента достоверно уменьшилось в основных группах 2 (НАР-F-X) и 3 (ГФЭ) на 31–51% ( $p < 0,0017$ ). Количество магния достоверно возросло только после применения глубокого фторирования эмали ( $p < 0,0017$ ).

В конце исследования в образцах эмали основных групп 2 (НАР-FX) и 3 (ГФЭ) было зафиксировано присутствие меди в пределах 0,05–1,38% весовых, тогда как признаков присутствия данного элемента в образцах эмали контрольных групп и 1ОГ в концентрации выше 0,01% весовых установлено не было.

Содержание кремния в образцах эмали всех основных групп выросло в 2,5–133 раза, что было достоверно выше показателей групп контроля ( $p < 0,0017$ ).

Значение коэффициента кальций/фосфор в 1КГ (начало) –  $1,38 \pm 0,08$  и 2КГ (контроль) –  $1,41 \pm 0,04$ , подтверждали существующие данные о недостаточном уровне минерализации эмали постоянных зубов в период вторичной минерализации [1, 2, 7]. Через 12 месяцев исследования показатель кальций/фосфор достоверно вырос во всех основных группах до уровня 1,73–1,89 (20,2–37%) ( $p < 0,0017$ ),

что соответствует оптимальному уровню минерализации эмали ( $> 1,67$ ).

Достоверное увеличение количества кальция, фтора, меди, коэффициента кальций/фосфор и снижение количества углерода в течение 12 месяцев, по данным разных авторов [1–3, 6–9], может указывать на повышение кариесрезистентности эмали.

Результаты исследования морфологии и химического состава эмали постоянных зубов в период вторичной минерализации были подтверждены путем изучения физических свойств на различной глубине эмали. Полученные показатели твердости незрелой эмали постоянных зубов после применения средств экзогенной профилактики кариеса методом наноиндентирования представлены в таблице 2.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что средняя нанотвердость незрелой эмали постоянных зубов равна  $3,3 \pm 0,41$  ГПа, что в целом ниже показателей твердости (3,8–4,9 ГПа) для эмали постоянных зубов у молодых людей и взрослых [4, 11]. Это может указывать на недостаточный уровень минерализации эмали постоянных зубов, которые только прорезались.

Наибольшее значение нанотвердости эмали вдоль коронки было обнаружено в области экватора –  $3,38 \pm 0,22$  ГПа. В области бугорка аналогичный показатель был на 0,9% меньше ( $3,35 \pm 0,31$  ГПа), в пришеечной зоне –  $3,15 \pm 0,25$  ГПа

Таблица 1 Изменения химического состава поверхностного слоя незрелой эмали постоянных зубов под воздействием средств экзогенной профилактики кариеса

Группа и время исследования	Содержание химических элементов (% весовые)								
	C	F	Na	Mg	P	Ca	Si	Cu	Ca/P
Группа 1КГ (начало)	8,22±0,73	0,1±0,03	0,58±0,07	0,21±0,04	14,83±0,41	20,47±1,07	0,02±0,009	—	1,38±0,08
Группа 1ОГ 10% CPP-ACP 12 месяцев	5,23±0,4**	0,22±0,04**	0,67±0,08	0,25±0,02	15,87±0,48	27,46±1,05**	0,25±0,01**	—	1,73±0,08**
Группа 2ОГ НАР-F-X 12 месяцев	5,35±0,51**	2,03±0,18**	0,4±0,05**	0,29±0,03	16,12±0,43	28,21±0,9**	0,05±0,01*	0,05±0,01**	1,75±0,04**
Группа 3ОГ ГФЭ 12 месяцев	5,64±0,37**	7,05±0,93**	0,28±0,04**	0,62±0,07**	14,63±0,76	27,65±0,85**	1,65±0,22**	1,38±0,15**	1,89±0,09**
Группа 2КГ 12 месяцев	7,23±0,51	0,13±0,01	0,54±0,06	0,22±0,01	15,12±0,53	21,62±0,71	0,03±0,007	—	1,43±0,05

Примечание: \* – достоверность различий показателей в сравнении с исходным уровнем,  $p < 0,0017$ ;

\* – достоверность различий показателей основной и контрольной групп в соответствующий срок эксперимента,  $p < 0,0017$ .

(меньше на 6,8%). Достоверной разницы между значениями нанотвердости незрелой эмали постоянных зубов исследуемых участков установлено не было ( $p > 0,0017$ ).

После 12 месяцев применения средств экзогенной профилактики кариеса были установлены достоверные изменения общего и локальных показателей нанотвердости эмали постоянных зубов на этапе вторичной минерализации ( $p < 0,0017$ ).

Общая нанотвердость незрелой эмали постоянных зубов в конце исследования достоверно возросла после проведения глубокого фторирования эмали (2ОГ) на 36,4% ( $4,5 \pm 0,29$  ГПа), применение крема

с содержанием гидроксиапатита, фторида и ксилита (НАР-FX, 3ОГ) – на 34,2% ( $4,43 \pm 0,26$  ГПа), крема с содержанием казеинфосфопептида-аморфного фосфата кальция (CPP-ACP, 1ОГ) – на 27,6% ( $4,35 \pm 0,25$  ГПа) ( $p < 0,0017$ ). В группе контроля (2КГ) после 12 месяцев эксперимента аналогичный показатель достоверно увеличился на 3,3% ( $3,41 \pm 0,22$  ГПа) ( $p > 0,05$ ).

В пришеечной области нанотвердость эмали постоянных зубов под влиянием исследуемых средств через 12 месяцев достоверно увеличилась на 29,5–36,8%, в области экватора – на 32,5–34,2%, в области бугорков – на 35,8–38,5%

( $p < 0,0017$ ). Соответствующие результаты в группе контроля (2КГ) недостоверно выросли на 2,5–3,3% ( $p > 0,05$ ).

После применения всех исследуемых средств экзогенной профилактики кариеса в течение эксперимента на поверхности незрелой эмали постоянных зубов отмечалось образование дополнительного слоя вещества, который, даже учитывая особенности подготовки образцов эмали к данному исследованию (очистка в ультразвуковой ванне, обработка поверхности 96% этиловым спиртом), прочно удерживался на поверхности и был устойчивым к действию растворителей. Полученные данные подтверждают результаты изменений морфологии поверхности эмали под воздействием исследуемых средств экзогенной профилактики.

Толщина образованного слоя после проведения глубокого фторирования эмали (2ОГ) равнялась 80–100 мкм, после применения кремов с содержанием соединений кальция (CPP-ACP, 1ОГ) и комбинированного состава (НАР-F-X, 3ОГ) – 40–50 мкм.

Нанотвердость дополнительного слоя на поверхности незрелой эмали постоянных зубов после проведения глубокого фторирования эмали (2ОГ) –  $2,39 \pm 0,1$  ГПа была достоверно выше аналогичных показателей в группах, где применяли крем с казеинфосфопептидом-аморфным фосфатом

Таблица 2 Нанотвердость эмали постоянных зубов на этапе вторичной минерализации после применения средств экзогенной профилактики кариеса

Подгруппа исследования	Н (Твердость по Мейеру), ГПа			
	Область исследования			
	Общая	Пришеечная зона	Экватор	Бугорок
Начало (1КГ)	3,3±0,41	3,15±0,07	3,38±0,22	3,35±0,31
CPP-ACP 12 месяцев (1ОГ)	4,35±0,25*	4,08±0,14*	4,48±0,23*	4,55±0,25*
ГФЭ 12 месяцев (2ОГ)	4,5±0,29*	4,31±0,17*	4,57±0,24*	4,64±0,25*
НАР-F-X 12 месяцев (3ОГ)	4,43±0,26*	4,17±0,12*	4,45±0,21*	4,61±0,25*
Контроль 12 месяцев (2КГ)	3,41±0,22	3,23±0,05	3,47±0,2	3,46±0,23

Примечание: \* – достоверность различий ( $p < 0,0017$ ) по сравнению с соответствующими показателями контрольной группы.

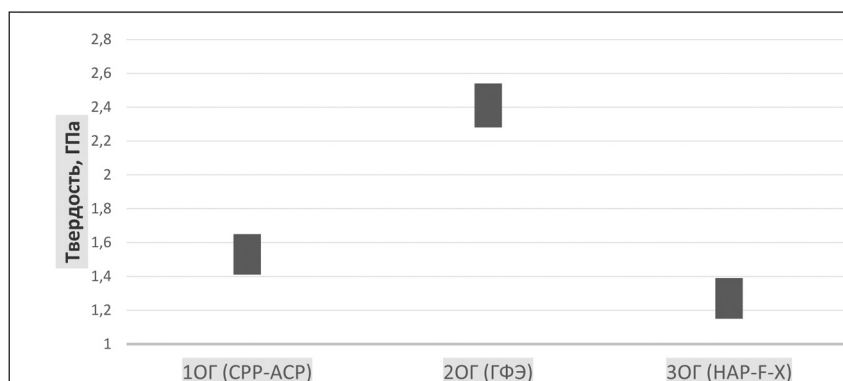


Рис. 3. Показатели нанотвердости дополнительного слоя на поверхности незрелой эмали постоянных зубов после применения средств экзогенной профилактики кариеса зубов

кальция (1ОГ) – 1,55±0,05 ГПа и крем с гидроксипатитом, фторидом и ксилитом (2ОГ) – 1,27±0,06 ГПа (p<0,0017) (рис. 2).

**Заключение**

Результаты проведенного комплексного исследования *in vitro* свидетельствуют о том, что интактная эмаль постоянных зубов после прорезывания имеет признаки недостаточной минерализации (выраженный микрорельеф, многочисленные щели длиной более 100 мкм, многочисленные кратеры эмалевых

призм, недостаточный уровень минерализации, низкое содержание фтора, сниженная твердость), соответственно, имеет недостаточный уровень кариесрезистентности.

В течение 12 месяцев эксперимента не было установлено статистически достоверных признаков минерализации в группе контроля, что может свидетельствовать о недостаточном уровне кариесрезистентности в течение 12–18 месяцев после прорезывания и обосновывает

необходимость назначения минерализующих средств экзогенной профилактики кариеса в этот период.

Химический состав, морфологические и физические свойства незрелой эмали постоянных зубов достоверно изменяются под влиянием современных средств экзогенной профилактики кариеса с содержанием различных противокариозных соединений (сглаживание микрорельефа поверхности, полное закрытие или уменьшение размеров трещин и кратеров эмалевых призм, рост степени минерализации, содержания фтора и твердости, образование на поверхности эмали устойчивого защитного слоя толщиной 40–100 мкм и твердостью 1,27–2,39 ГПа).

Полученные данные позволяют утверждать, что применение современных средств экзогенной профилактики кариеса с содержанием различных противокариозных соединений в течение 12 месяцев позволяет создать оптимальные условия для минерализации (повышения кариесрезистентности) эмали постоянных зубов сразу после их прорезывания.

**REFERENCES**

1. Borovskiy Ye.V., Leont'yev V.K. *Biologiya polosti rta* [Oral cavity biology]. M.: Meditsina, 2001, 304 p. (in Russian)
2. Zharkova O.A., Lobkova O.S. Remineraliziruyushchaya terapiya s ispol'zovaniyem GC Tooth mousse [Remineralizing therapy using GC Tooth mousse]. *Sovremennaya stomatologiya*, 2011, vol.2, pp.43–46. (in Russian)
3. Kamina T.V. Vybor remineraliziruyushchego preparata – vopros ser'yeznyy [The choice of remineralizing drug is a serious question]. *Visnik problem biologii i meditsini*, 2013, vol.4, no.1, pp.53–56. (in Russian)
4. Lebedenko I.Yu., Arutyunov S.D., Muslov S.A. [i dr.]. Nanotverdst' i modul' Yunga zubnoy emali [Nanohardness and Young's modulus of tooth enamel]. *Vestnik RUDN*, 2009, vol.4, pp.637–638. (in Russian)
5. Pavlova T.V., Bavykina T.Yu. Sravnitel'naya otsenka mineral'nogo sostava i ul'tramikrostruktury tkaney zuba v norme i pri kariyese [Comparative evaluation of the mineral composition and ultra-microstructure of tooth tissues in normal conditions and during caries]. *Sovremennyye naukoymekkiye tekhnologii*, 2009, vol.12, pp.15–18. (in Russian)
6. Popruzhenko T.V., Klenovskaya M.I. *Profilaktika kariyesa zubov s ispol'zovaniyem sredstv, soderzhashchikh floridy, kal'tsiy i fosfaty: Ucheb.-metod. posobiye* [Prevention of dental caries using products containing fluorides, calcium and phosphates]. Minsk: BGMU, 2010, 258 p. (in Russian)
7. *Terapevtichna stomatologiya dityachogo viku* [Therapeutic dentistry of a child]. L.O. Khomenko, Yu.B. Chaykovsk'iy, O.V. Savychuk [ta in.]; za red. L.O. Khomenko. Kiyv, Kniga-plyus, 2018, 432 p. (in Ukraine)
8. Khomenko L.A., Sorochenko G.V., Savichuk A.V., Ostapko Ye.I., Golubeva I.N. *Sovremennyye podkhody k povysheniyu kariyereszistentnosti emali postoyannykh zubov. Chast' 2. Novyye strategii remineraliziruyushchey terapii* [Modern

- approaches to increasing caries resistance of enamel of permanent teeth. Part 2. New strategies for remineralizing therapy]. *Sovremennaya stomatologiya*, 2018, vol.4, pp.9–13. (in Russian)
9. Khomenko L.O., Ostapko O.I. [ta in.]. Kontrol' nad kariësom zuba: yevolyutsiya kontseptsii' [Control of tooth caries: concept evolution]. *Stomatologiya: ot nauki k praktike*, 2013, vol.1, pp.53–65. (in Ukraine)
10. Khomenko L.O. Stomatologichne zdorov' ya ditey Ukraini, real'nist', perspektiva [Dental health children of Ukraine, reality, perspective]. *Naukoviy visnik Natsional'nogo medichnogo Universitetu imeni O.O.Bogomol'tsya*, 2007, vol.4, pp.11–14. (in Russian)
11. Yarova S.P., Zabolotnaya I.I. Analiz pokazateley mikrotverdsti emali pri razlichnom sostoyanii tverdikh tkaney i glubiny mikrotreshchin [Analysis of enamel microhardness indices for various conditions of hard tissues and depth of microcracks]. *Zaporozhskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, vol.4, no.79, pp.117–120. (in Russian)
12. Cochran N., Cai F, Huq N., et al. New approaches to enhanced remineralization of tooth enamel. *J Dent Res*, 2010, vol.89, pp.1187–1197.
13. Gjorgjevska E.S., Nicholson J.W. A preliminary study of enamel remineralization by dentifrices based on RECALDENTM (CPP-ACP) and Novamin® (calcium-sodium-phosphosilicate). *Acta Odontol Latinoam*, 2010, vol.23, no.3, pp.234–239.
14. Lingawi H., Barbour M., Lynch R.J.M., et al. Effect of zinc ions (Zn2+) on hydroxyapatite dissolution kinetics studied using scanning microradiography. *Caries Res*, 2011, vol.45, pp.195.

**Конфликт интересов**

Согласно заявлению авторов, конфликт интересов отсутствует.

Поступила 06.02.2019  
Принята в печать 29.01.2020

**Адрес для корреспонденции**

Кафедра детской терапевтической стоматологии и профилактики стоматологических заболеваний Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца г. Киев, ул. Зоологическая, 1, 03680, Украина тел. +380444831703  
Хоменко Лариса Александровна, e-mail: nmu.dts@gmail.com  
Сороченко Григорий Валериевич, e-mail: anticaries15@gmail.com  
Остапко Елена Ивановна, e-mail: ostlena11@gmail.com

**Address for correspondence**

Department of Pediatric Dentistry and Prevention of Dental Diseases National Medical University named after A.A. Bogomolets 1, Zoological street, Kyiv, 03680, Ukraine  
phone: +380444831703  
Larisa Khomenko, e-mail: nmu.dts@gmail.com  
Grigory Sorochenko, e-mail: anticaries15@gmail.com  
Elena Ostapko, e-mail: ostlena11@gmail.com