

© Team of authors, 2025 / © Коллектив авторов, 2025

3.1.7. Dentistry, 1.5.22 Cell Biology / 3.1.7. Стоматология, 1.5.22 Клеточная биология

Ultrastructural arrangement and elemental composition of baby teeth enamel through physiological change period

D.A. Domenyuk ¹, S.D. Domenyuk ², L.Yu. Ostrovskaya ³,
Ya.N. Garus ¹, O.A. Solovyeva ¹, L.V. Arinina ³

¹Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia

²North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

³Saratov State Medical University name V.I. Razumovsky, Saratov, Russia

Contacts: Domenyuk Dmitry Anatolyevich – e-mail: domenyukda@mail.ru

Ультраструктурная организация и элементный состав эмали молочных зубов в период физиологической смены

Д.А. Доменюк ¹, С.Д. Доменюк ², Л.Ю. Островская ³,
Я.Н. Гарус ¹, О.А. Соловьева ¹, Л.В. Аринина ³

¹Ставропольский государственный медицинский университет, Ставрополь, Россия

²Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

³Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Россия

Контакты: Доменюк Дмитрий Анатольевич – e-mail: domenyukda@mail.ru

婴幼儿牙釉质在生理替换期的超微结构布局与元素组成

D.A. Domenyuk ¹, S.D. Domenyuk ², L.Yu. Ostrovskaya ³,
Ya.N. Garus ¹, O.A. Solovyeva ¹, L.V. Arinina ³

¹斯塔夫罗波尔国立医科大学, 斯塔夫罗波尔, 俄罗斯

²北高加索联邦大学, 斯塔夫罗波尔, 俄罗斯

³以V.I. 拉祖莫夫斯基命名的萨拉托夫国立医科大学, 萨拉托夫, 俄罗斯

联系方式: Domenyuk Dmitry Anatolyevich — 邮箱: domenyukda@mail.ru

Aim of study. This study aimed to examine the specific features of the microscopic structure and the chemical elements of the teeth enamel in children through physiological tooth change, which stand behind low level of resistance to caries.

Materials and methods. Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy were employed through the study to examine the structure as well as the elemental composition of the enamel on baby teeth removed subject to clinical indications. Extirpated baby teeth (n=175), taking into account respective histomorphological features, were divided into two groups, namely, Group 1, which were molars (n=80) with a so-called mature enamel structure and fully developed roots (children aged 48-54 months); Group 2 – molars (n=80) going through the stage of involutive processes involving the enamel and featuring resorbable roots (children aged 84-132 months). The extracted teeth were decalcified for a histological study, put in a Histomix medium, followed by preparation of serial sections and staining with hematoxylin and eosin. The samples were examined with a Leica DM4000 B LED microscope (magn. $\times 20$ - $\times 1000$). In Group 1 (n=15), the acid resistance of the enamel on the teeth to be extracted was identified with the enamel resistance test (ERT) (V.R. Okushko, 1984).

Results. The low level of acid resistance of the enamel on intact teeth in children with absorbable roots in the second period of lactic bite has been proven to be due to the following changes in the tooth enamel morphology and chemical composition: tightly fixed plaque; disturbed structural arrangement in the intact enamel so-called islands (hypo- and demineralized areas; granular texture, porosity, porous surface; destroyed enamel prisms; destroyed interprism substance; disoriented apatite crystals; oblique enamel prisms; issues manifested like cracks and cavities with scalloped edges running through the entire enamel layer); increased concentration of organic matrix due to low mineralization; decreased share of trace elements (by IU) (F – 0.012 % wt, Zn – 0.07 % wt); reduced enamel layer (down to 0.43 ± 0.14 mm) along with expanded interprism spaces (up to 1.87 ± 0.36 microns; $p \leq 0.05$); Ca / P molar coefficient value of 1.39 with a concentration of Calcium and Phosphorus in the enamel at 18.13 % wt and 13.07 % wt, respectively.

Conclusion. Involutive changes through the second lactic bite period occurring against suppressed synthetic activity of odontoblasts, lack of replacement dentin and structural and functional instability of the enamel layer – all these contribute to the development of issues affecting the enamel surface. Lengthy accumulation of dental plaque, disturbed integrity of thinned enamel, a high share of organic matter with weak mineralization and erosion of the enamel layer, as well as a scalloped enamel-dentine border, will reduce the baby teeth resistance to aggressive factors to be found in the oral cavity, as well as will make the respective tissues vulnerable to the carious process.

Keywords: baby teeth, enamel, caries resistance, acid resistance of enamel, elemental composition, X-ray spectral analysis, scanning electron microscopy.

Conflicts of interest. The author have no conflicts of interest to declare.

Funding. There was no funding for this study.

For citation: Domyuk D.A., Domyuk S.D., Ostrovskaya L.Yu., Garus Ya.N., Solovyeva O.A., Arinina L.V. Ultrastructural arrangement and elemental composition of baby teeth enamel through physiological change period. Head and neck. Head and Neck. Russian Journal. 2025;13(3):89–104

Doi: 10.25792/HN.2025.13.3.89-104

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

Цель исследования. Изучение особенностей микроскопического строения и содержания химических элементов эмали у детей в период физиологической смены зубов, определяющих низкий уровень резистентности к кариесу.

Материалы и методы. Методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии изучена структура и элементный состав эмали молочных зубов, удалённых по клиническим показаниям. Экстирипованные молочные зубы ($n=175$), с учётом гистоморфологических особенностей, распределены на две группы. В 1-ю группу включены моляры ($n=80$) со «зрелой» структурой эмали и полностью сформированными корнями (возраст детей 48-54 месяца), во 2-ю группу – моляры ($n=80$) в стадии инволютивных процессов со стороны эмали и рассасывающимися корнями (возраст детей 84-132 месяца). Удалённые зубы для гистологических исследований декальцинировали, заключали в среду «Histomix» с последующим изготовлением серийных срезов и окрашиванием гематоксилином и эозином. Изучение образцов осуществляли на микроскопе «Leica DM4000 B LED» при увеличении $\times 20-\times 1000$. У подлежащих экстракции зубов детей 1-й группы ($n=15$) определяли кислотоустойчивость эмали с помощью ТЭР (В.Р. Окушко, 1984).

Результаты. Доказано, что «низкий» уровень кислотоустойчивости эмали интактных зубов у детей с рассасывающимися корнями во втором периоде молочного прикуса обусловлен следующими изменениями морфологии и химического состава зубной эмали: наличие плотно фиксированной зубной бляшки; нарушение структурной организации в «островках» сохранной эмали (участки гипо- и деминерализации; «зернистость», порозинность, пористость поверхности; разрушение эмалевых призм; деструкция межпризменного вещества; дезориентация кристаллов апатитов; скошенность эмалевых призм; дефекты в виде трещин и полостей с фестончатыми краями, распространяющиеся на всю толщину эмали); увеличение концентрации органического матрикса из-за недостаточной минерализации; уменьшение доли микроэлементов (по Me) ($F - 0,012$ масс.%, $Zn - 0,07$ масс.%); сокращение толщины эмали до $0,43 \pm 0,14$ мм при расширении межпризменных промежутков до $1,87 \pm 0,36$ мкм ($p \leq 0,05$); величиной (по Me) молярного коэффициента $Ca/P - 1,39$ при концентрации в эмали кальция и фосфора – 18,13 масс.% и 13,07 масс.% соответственно.

Заключение. Инволютивные изменения во втором периоде молочного прикуса на фоне угнетения синтетической активности одонтобластов, отсутствия образования заместительного дентина и структурно-функциональной нестабильности эмалевого слоя, способствуют образованию дефектов на поверхности эмали. Длительная аккумуляция зубной бляшки, нарушение целостности истончённой эмали, высокая доля органической субстанции при слабой минерализации и порозинности эмалевого слоя, а также фестончатая эмалево-дентинная граница, снижают резистентность молочных зубов к агрессивным факторам ротовой полости и делают подлежащие ткани уязвимыми к кариозному процессу.

Ключевые слова: молочные зубы, эмаль, кариесрезистентность, кислотоустойчивость эмали, элементный состав, рентгеноспектральный анализ, растровая электронная микроскопия

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Доменюк Д.А., Доменюк С.Д., Островская Л.Ю., Гарус Я.Н, Соловьева О.А., Аринина Л.В. Ультраструктурная организация и элементный состав эмали молочных зубов в период физиологической смены. Head and neck. Голова и шея. Российский журнал. 2025;13(3):89–104

Doi: 10.25792/HN.2025.13.3.89-104

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов

研究目的：旨在考察儿童在生理换牙过程中牙釉质的微观结构与化学元素的具体特征，这些特征是其对龋病抵抗力低下的潜在原因。

材料与方法：研究中采用扫描电子显微镜（SEM）与能量色散X射线谱（EDS）对因临床指征拔除的乳牙牙釉质的结构及元素组成进行检查。摘除的乳牙（n=175），结合相应的组织形态学特征，被分为两组：第1组为磨牙（n=80），具有所谓成熟的牙釉质结构与完全发育的牙根（儿童48–54个月）；第2组为处于牙釉质退化性过程阶段并表现为牙根可吸收的磨牙（n=80）（儿童84–132个月）。拔除的牙齿用于组织学研究前予以脱钙，置于Histomix介质中，随后制备连续切片并以苏木精–伊红（HE）染色。使用Leica DM4000 B LED显微镜进行观察（放大倍数×20–×1000）。在第1组（n=15）中，对拟拔除牙的牙釉质进行了牙釉质耐酸性试验（ERT）（V.R. Okushko, 1984）。

结果：已证实，在乳牙第二乳牙合期中、具有可吸收牙根的儿童，其完整牙的牙釉质低耐酸性是由于以下牙釉质形态与化学组成的改变所致：牢固附着的菌斑；完整牙釉质中所谓“岛屿”般的结构排列紊乱（低矿化与脱矿区）；颗粒样纹理、孔隙性、表面多孔；牙釉柱破坏；柱间质破坏；磷灰石晶体取向紊乱；牙釉柱呈斜行；问题表现为贯穿整个牙釉质层的裂隙与具波浪样（锯齿样）边缘的空洞；由于低矿化导致有机基质浓度增加；微量元素（按质量分数）比例下降（F – 0.012% wt, Zn – 0.07% wt）；牙釉质层变薄（降至 0.43 ± 0.14 mm），同时柱间隙增宽（至 1.87 ± 0.36 μm；p < 0.05）；Ca/P摩尔系数为1.39，牙釉质中钙与磷的浓度分别为18.13% wt与13.07% wt。

结论：发生于第二乳牙合期、并伴随成牙本质细胞合成活性受抑、替代性牙本质缺乏以及牙釉质层结构与功能不稳定的退化性改变，均促发牙釉质表面相关问题的形成。长期的菌斑聚积、变薄牙釉质完整性受损、高比例且矿化较弱的有机成分、牙釉质层的侵蚀以及呈波浪样的釉–牙本质交界，均将降低乳牙对口腔内侵袭性因素的抵抗力，并使相关组织更易受龋病过程侵袭。

关键词：乳牙，牙釉质，抗龋性，牙釉质耐酸性，元素组成，X射线光谱分析，扫描电子显微镜。

利益冲突声明：作者声明不存在利益冲突。

资助声明：本研究由作者团队资助。

引用格式：Domenyuk D.A., Domenyuk S.D., Ostrovskaya L.Yu., Garus Ya.N., Solovyeva O.A., Arinina L.V. Ultrastructural arrangement and elemental composition of baby teeth enamel through physiological change period. Head and neck. Head and Neck. Russian Journal. 2025;13(3):89–104

Doi: 10.25792/HN.2025.13.3.89-104

作者声明：作者对所提供数据的原创性及插图（表格、图片、患者照片）的发表合法性负责。

Введение

Кариозные поражения зубов относят к наиболее распространённым хроническим заболеваниям среди различных возрастных групп детского населения, при этом кариес молочных (временных) зубов занимает существенную долю в структуре данной патологии [1]. Несмотря на активное внедрение современных технологий, разработку инновационных стоматологических материалов, повышение квалификации врачей, совершенствование лечебно-профилактических мероприятий, уровень тяжести и интенсивности раннего детского кариеса находится на высоком уровне и не имеет тенденции к снижению. По данным эпидемиологических исследований по унифицированным критериям ВОЗ, проведённых в различных субъектах РФ, распространённость кариеса временных зубов у 3-летних детей составляет 57,7%, у 4-летних – 64,2%, у 5-летних – 78,3%, у 6-летних – 85,4%, а интенсивность поражения (индекс кпу) у детей в возрасте трёх лет – 2,8, четырёх лет – 3,2, пяти лет – 4,8, шести лет – 5,2. Авторы отмечают, что у детей 7-9 лет встречаемость кариеса молочных зубов достигает 98,3%, при этом показатели интенсивности к 9 годам сокращаются до 3,8 исключительно из-за смены прикуса [2–3].

Кариес молочных зубов – сложное мультифакторное заболевание, при этом микрофлора зубной бляшки выступает в качестве основной причины развития кариеса. Обладающие высокой адгезионной способностью к поверхности зуба кариесогенные микроорганизмы, за счёт выработки кислот и внеклеточных полисахаридов, способствуют деминерализации эмали, образованию матрикса дентальной биоплёнки и гелеобразной среды, ограничивая проникновение слюны с возможностью нейтрализации ацидогенного воздействия. Среди других ключевых этиологических факторов развития кариеса у детей специалисты выделяют следующие: неправильное питание (избыточное употребление сахаросодержащих продуктов и напитков); нарушение режима естественного вскармливания; недостаток поступления в организм фторидов; неправильный гигиенический уход за ротовой полостью; нарушения общего здоровья, физического и психического развития; негативные воздействия в период антенатального развития; приём лекарственных препаратов; экстремальные воздействия (радиация, техногенные катастрофы); наследственная предрасположенность к кариесу; демографические, социально-экономические условия. К ведущим звеньям патогенеза кариеса, за счёт дисбаланса между процессами реминерализации / деминерализации, авторы отно-



Рис. 1. Внутриворотная фотография зубных рядов во фронтальном отделе пациентки О., 4 года 7 месяцев, нуждающейся в удалении 55 (V) зуба по клиническим показаниям (а). Вид второго молочного моляра с полностью сформированными корнями после экстракции (б).

Fig. 1. Intraoral photograph of the frontal dental arches of patient O., 4 years 7 months old, requiring extraction of tooth 55 (V) for clinical reasons (a). View of the second primary molar with fully formed roots after extraction (b).



Рис. 2. Внутриворотная фотография зубных рядов во фронтальном отделе пациента П., 9 лет 11 месяцев, нуждающегося в удалении 64 (IV) зуба по клиническим показаниям (а). Вид первого молочного моляра с резорбированными корнями после экстракции (б).

Fig. 2. Intraoral photograph of the frontal dental arches of patient P., 9 years 11 months old, requiring extraction of tooth 64 (IV) for clinical reasons (a). View of the first primary molar with resorbed roots after extraction (b).

сят нарушения защитных функций слюны в виде сокращения слюноотделения ($>0,7$ мл/мин), уменьшения буферной ёмкости слюны ($>4,45$ ммоль HCl), снижения саливарного минерализующего потенциала ($>2,1$ балла), увеличения вязкости ($<1,46$ ЕД) и кислотности ($pH < 6,8$) слюны [4–11].

Молочные зубы имеют большое значение в жизнедеятельности растущего детского организма за счёт влияния на развитие жевательной мускулатуры, правильности произношения звуков. Наличие у ребёнка множественного кариеса является причиной возникновения болевых ощущений, потери аппетита, ограничения в выборе продуктов, что ведёт к снижению веса, задержке роста и физического развития, снижению качества жизни. У детей с осложнённым кариесом повышается риск развития одонтогенных воспалительных процессов, а наличие очагов хронической инфекции способствует интоксикации / сенсibilизации организма, нарушению деятельности иммунной системы, увеличению рецидивов возникновения и тяжести протекания заболеваний [12–14].

Достоверно установлено, что при развитии воспаления в периапикальных тканях значительно повышается вероятность дисплазии зачатков постоянных зубов, а в некоторых случаях и их лизиса. Результатом ранней потери временных зубов, частота встречаемости которых составляет 18,7–45,4%, является дезинтеграция процессов роста и развития зубочелюстной системы, что инициирует механизмы возникновения вторичных

деформаций, аномалий развития зубов, зубных дуг и челюстей, а также нарушения нормального развития языка и сложности в фонетике [15–20]. По мнению авторов, сохранение целостности зубных дуг в периоде молочного прикуса позволяет снизить вероятность развития зубочелюстных аномалий и деформаций на 30–60% [21].

Данные исследователей указывают, что высокая подверженность молочных зубов кариесу обусловлена морфологическими и физиологическими особенностями строения и развития твёрдых тканей, а степень их минерализации – состоянием взаимоотношения минерального компонента и органического матрикса в данный момент времени [22–25]. Использование классических методик не позволяет в полном объёме изучить изменения на ультрамикроскопическом уровне, поэтому применение современного, высокоточного метода количественной оценки элементного состава эмали зубов, посредством неразрушающей энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на базе РЭМ, позволяет спрогнозировать уровень кариесрезистентности эмали в различные периоды молочного прикуса [26–30]. Полученные данные, имеющие персонафицированный и научно-обоснованный характер, могут быть применены для разработки современных методов профилактики и лечения кариозных поражений зубов.

Цель исследования: изучение особенностей микроскопического строения и содержания химических элементов эмали у детей в период физиологической смены зубов, определяющих низкий уровень резистентности к кариесу.

Материалы и методы

Клинико-лабораторные исследования проводились на базе хирургического отделения детской стоматологической поликлиники ФГБОУ ВО «СтГМУ» и кафедры стоматологии общей практики и детской стоматологии ФГБОУ ВО «СтГМУ». Материалом (объектом) исследования были 152 интактных молочных (временных) первых (IV), вторых (V) моляра верхней, нижней челюстей, которые удалены у детей в возрастной категории от 4 до 11 лет по клиническим показаниям (травматические повреждения, пародонтопатии и т.д.). Экстирпированные молочные зубы ($n=137$), с учётом гистоморфологических особенностей их развития и строения, распределены на две группы. В 1-ю группу включены временные моляры ($n=63$) детей в фазе окончательной минерализации со «зрелой» структурой эмали, дентина и полностью сформированными корнями (возраст 48–54 месяца), во 2-ю группу – моляры ($n=74$) детей в стадии инволютивных процессов со стороны твёрдых тканей молочных зубов и рассасывающимися (резорбированными) корнями (возраст 84–132 месяца) (рис. 1, 2).

Критерии включения детей в группы исследований: I («здоровые дети»), II («здоровые дети с функциональными и морфологическими отклонениями») группы здоровья (Ю.Е. Вельтищев, 1994); дети с «очень низкой» (кп, КПУ+кп $\geq 1,1$ балл) и «низкой» (кп, КПУ+кп $\geq 2,6$ баллов) интенсивностью кариозного процесса; дети с «хорошим» уровнем гигиены – менее 1,5 балла по индексу Ю.А. Федорова-В.В. Володкиной (1971) для 1-й группы, менее 0,6 баллов по OHI-S (I.G. Green, I.R. Vermillion, 1964) для 2-й группы. Критерии исключения детей из исследований: III-V группы здоровья (Ю.Е. Вельтищев, 1994); класс (K00) «Нарушения развития и прорезывания зубов», подклассы K00.0 – K00.9 по МКБ-10. Весь объём исследований у детей осуществлялся в строгом соответствии с этическими принци-

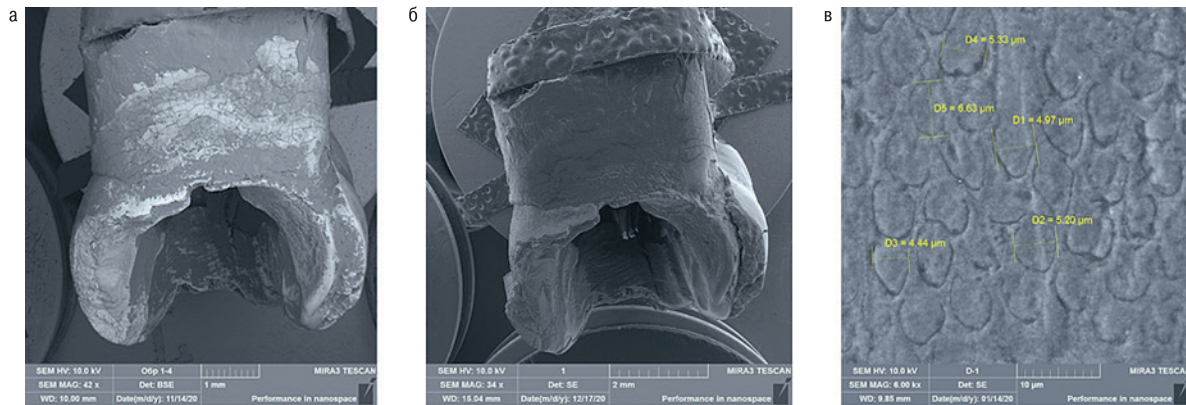


Рис. 3. Образец исследуемого первого верхнего молочного интактного моляра с резорбированными корнями в период физиологической смены: а – микрофотография, детектор BSE, РЭМ ($\times 42$); б – микрофотография, детектор SE, РЭМ ($\times 34$); в – микрофотография, морфометрические показатели эмалевых призм в поперечном сечении, РЭМ ($\times 6000$).

Fig. 3. A sample of the first upper intact primary molar with resorbed roots during the physiological change period: a – micrograph, BSE detector, SEM ($\times 42$); b – micrograph, SE detector, SEM ($\times 34$); c – micrograph, morphometric parameters of enamel prisms in cross section, SEM ($\times 6000$).

пами проведения медицинских научных изысканий с участием людей в качестве испытуемых, установленных World Medical Association Declaration of Helsinki (1964, 2000), и базовыми требованиями, изложенными в нормативных правовых актах РФ, регламентирующих проведение клинических исследований (ГОСТ Р 52379-2005; Приказ Минздрава РФ от 19.06.2003 № 266). От всех родителей (попечителей) детей, принимавших участие в исследовании, на основании ФЗ РФ № 323 (ред. от 22.12.2020) «Об основах охраны здоровья граждан в РФ», получены информированные добровольные согласия (Федеральный закон от 21.11.2011 № 323 – ФЗ (ред. от 02.07.2021); Приказ Минздрава РФ от 20.12.2012 № 1177 н (ред. от 17.07.2019)).

На первом этапе научно-исследовательской работы для определения структурно-функциональной резистентности эмали молочных моляров к HCl использовали ТЭР (тест эмалевой резистентности, В.Р. Окушко, 1984). Подлежащие удалению по клиническим показаниям зубы детей 1-й группы ($n=15$) очищались от дентального налёта воздушно-абразивным и ультразвуковым способами, высушивались, изолировались от слюны. Для оценки интенсивности окрашивания 1% р-ром метиленового синего протравленной 1Н р-ром HCl (рН 0,3-0,6) вестибулярной поверхности моляров использована градационная 10-польная полутоновая шкала синего цвета (Л.А. Аксамит, 1978). В соответствии с рекомендациями авторов, ТЭР для молочных зубов у детей 2-й группы с рассасывающимися корнями не использовалась ввиду отсутствия информативности. Интерпретация данных: высокая кислотоустойчивость (кариесрезистентность) эмали – 0–1 балл; средняя кислотоустойчивость эмали – 2–3 балла; низкая кислотоустойчивость эмали – 4–5 баллов.

Второй этап научно-исследовательской работы, включающий изучение ультраструктуры (рельефа) поверхности и химического состава с картой распределения элементов в эмали зубов, выполнялся на базе Лаборатории технологии перспективных материалов и лазерных сред Научно-лабораторного комплекса чистых зон ФГАОУ ВО «СКФУ» (заведующий доцент В.А. Тарала). Применялся сканирующий электронный микроскоп «TESCAN MIRA 3 LMH» («TESCAN®»), оборудованный рентгеновским энергодисперсионным анализатором для электронно-зондового микроанализа «AZtecEnergy Standart/Xmax 20» (standard

(«TESCAN®») со следующими параметрами: разрешающая способность 3,0 нм при ускоряющем напряжении 30 кВ; чувствительность – 0,1 ат. %; погрешность измерений ± 5 отн. %; сила тока – $5,0 \times 10^{-10}$ А; увеличение в режиме SEM – $\times 5$ – $\times 300\,000$; чувствительность детектора – 133 эВ/10 мм²; погрешность при элементном анализе – 0,25%; режим сканирования – resolution; скорость сканирования – 32.00 $\mu\text{s}/\text{pxl}$. Очищенные и подвергнутые предварительной дезинфекции 60 удалённых зубов для предотвращения артефактов, характерных при химической фиксации образцов, и остановки биохимических процессов, хранились в р-ре искусственной слюны (Т. Fusayama, 1975) в склянках из тёмного стекла с притертой пробкой (рН=7,0 $\pm$ 0,2; 2,0–4,0 $^{\circ}\text{C}$). При создании оптимальных условий для растровой микроскопии половина образцов (по 30 в каждой группе) с помощью двухстороннего электропроводящего скотча закреплялась на медных пластинах с последующим катодным напылением платиной (толщина 15 нм) для электропроводности в атмосфере аргона (0,2 мбар; $t=120$ сек), используя камеру высоковакуумного устройства для напыления «Leica EM SCD005». На этапах выполнения растровой микроскопии использованы детекторы SE, In-Beam SE, BSE и ПО MiraTC 4.2.18.0 build 1027. Для морфометрического анализа изображений в цифровом формате JPEG применялась программа «ImageJ» (Version 1.54h; Wayne Rasband: USA, 2025) (рис. 3).

Для установления микроэлементного состава методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ПО Aztec 3.1) с остальных образцов (по 30 в каждой группе) получены продольные шлифы путём вертикального распила зубов зуботехническим алмазным диском «Superflex» ($h=0,15$ мм; $\varnothing=22$ мм) со скоростью вращения 3×10^4 об/мин в мезио-дистальном направлении при обязательном воздушном, водяном охлаждении. Далее, шлифы погружались в пластиковые формы и заливались самотвердеющей пластмассой «Re-Fine Bright» («Yamahachi-Dental», Япония). Последующую шлифовку образцов выполняли на шлифовально-полировальном станке «MP-1B Grinder Polisher» кругами «Dexter» с восходящей зернистостью (800, 1000, 2500 grit), при этом на каждом цикле время обработки составляло не менее 1 минуты с охлаждением в дистиллированной воде, а толщина сошлифованной эмали –

0,5 мм. При завершающей шлифовке применялась паста ГОИ и полировальный круг из войлока. Далее, образцы очищались под струей дистиллированной воды не менее 2 минут, промывались для удаления загрязнений этиловым спиртом, высушивались феном ($T=36^{\circ}\text{C}$; $t=30$ сек) и подвергались катодному напылению платиной в универсальной высоковакуумной установке «Leica EM SCD005». По результатам энергодисперсионного микроанализа и EDS-картирования установлен минеральный состав эмалевой поверхностной в виде долевого соотношения в ней весовых (масс) количеств базовых макро- и микроэлементов кристаллов апатитов (гидроксиапатит, карбонапатит, хлорапатит, фторапатит, карбонат кальция, карбонат магния), входящих в состав зубной эмали (Ca, P, O, C, Cl, Na, Mg, K, S, F, Zn). Ранжирование EDS-карт основано на принципе информативности (высокий ранг имеют карты с хорошо визуализированными фигурами и высоким содержанием элемента), красный цвет присваивается наиболее структурированной карте, а дальнейшая цветовая кодировка распределяется с учётом степени приближения последующей карты к очертаниям контуров карты №1. При количественном рентген дисперсионном спектральном микроанализе использованы эталонные образцы, а расчёт массовых долей химических элементов выполнен методом «пик/фон» с учётом поправок на поглощение, флуоресценцию и атомный N.

Гистологическое исследование зубной эмали удалённых молочных зубов, включённое в третий этап научно-исследовательской работы, осуществлялось на базе патологоанатомического отделения ГБУЗ СК «СККВ» и кафедры патологической анатомии ФГБОУ ВО СГГМУ. Полученный материал (по 20 зубов в каждой группе) погружали в «Формалин 10% забуференный HistoSafe®» на 48 часов с последующим очищением от мягких тканей и зубных отложений. После предварительной фиксации проведена декальцинация (5–10% водный раствор трихлоруксусной кислоты с добавлением 10–20% раствора формалина) в течение 4–7 дней. Замену жидкости для декальцинации производили через каждые 24 часа с одномоментной проверкой препаровальной иглой уровня декальцинации (лёгкое прохождение иглы сквозь твёрдые ткани зубов при оптимальном размягчении). После декальцинации в течение 4 дней препараты промывали в 96% спирте, который менялся ежедневно. Далее объекты заливали в готовую гистологическую среду «Histomix» («БиоВитрум») на парафиновом заливочном блоке «Thermo Scientific Histo Star». Изготовление серийных срезов с блоков (толщина 2–3 мкм) выполнено на ротационном микротоме с ручным управлением «Leica RM2235» («Leica»). В последующем, срезы окрашивались готовыми гистологическими красителями (гематоксилином и эозином) на автоматическом мультитейнере «Leica ST5020-CV5030» («Leica») с использованием реагентов «Гематоксилин Гарриса» и «Эозин, водный р-р 1%» («Эрго Продакшн») по традиционному протоколу. Гистологическое исследование образцов осуществляли на исследовательском микроскопе «Leica DM4000 B LED» с камерой «Leica DFC7000 T» (ПО LAS v. 4.8) в режиме светлого поля при увеличении $\times 20$ – $\times 1000$. Статистическая обработка результатов проведена при помощи пакета программ IBM® SPSS® (Version 22.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA). С помощью критериев Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса, теста Шапиро-Уилка устанавливали соответствие выборочного распределения нормальному распределению. В качестве описательных статистик с нормальным распределением использовали M (среднее арифметическое значение), σ (среднее квадратичное отклонение), m (стандартная ошибка средней арифметической). Оценку достоверности

различий выявляли при помощи t-критерия Стьюдента для парных выборок (различия считали значимыми при $p \leq 0,05$). Для величин, параметры которых имели распределение, отличное от нормального, применяли медиану (Me), минимальное (Min) и максимальное (Max) значения, а также 10-й, 25-й (Q1), 75-й (Q3), 90-й перцентили. Достоверность различий устанавливали при помощи U-критерия Манна-Уитни (уровень значимости различий при $p \leq 0,05$). Дальнейший сравнительный анализ групп проводился с использованием U-критерия Манна-Уитни с поправкой Бонферрони.

Результаты исследования и обсуждение

Данные оценки функционального состояния зубной эмали в 1-й группе свидетельствуют, что величина ТЭР (В.Р. Окушко, 1984) составила $2,17 \pm 0,14$ балла ($p \leq 0,05$), что соответствует «средней» податливости эмали зубов к действию кислот в сочетании с «умеренной» кариесрезистентностью. По нашему мнению, «умеренная» кислотоустойчивость молочных зубов со структурной «зрелой» эмалью обусловлена превалированием процессов минерализации над деминерализацией, «низкой» проницаемостью эмали, резистентностью эмали к растворению по действием органических кислот, относительной сохранностью кристаллов гидроксиапатита $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$, фторапатита $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2]$, хлорапатита $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2]$, карбонапатита $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3(\text{OH})_2]$ и неапатитных форм вследствие поддержания резерва ионов Ca^{2+} и PO_4^{3-} в твёрдых тканях зуба.

Для большей части эмалевой поверхности в образцах 1-й группы, по данным РЭМ, характерна призматическая (волокнисто-кристаллическая) структура, с умеренной шероховатостью и пористостью, при этом головки эмалевых призм придают поверхности ячеистый вид за счёт формирования выступов (напылов) либо кратерообразных углублений (вдавливаний, ямок, ниш) (рис. 4).

На поверхности интактной эмали в форме ячеек «пчелиных сот» имеются эмалевые поры (отверстия), не превышающие в диаметре 2,5 мкм. Эмалевые поры представляют собой входные ворота «эмалевых туннелей», которые S-образно изгибаются параллельно пучков эмалевых призм, а в дальнейшем проникают в виде «эмалевых мостиков» в толщу дентина на глубину до 4–7 мкм. Содержание в «эмалевом мостике» «эмалевых туннелей» достигает 3–5, при этом диаметр каждого «эмалевого

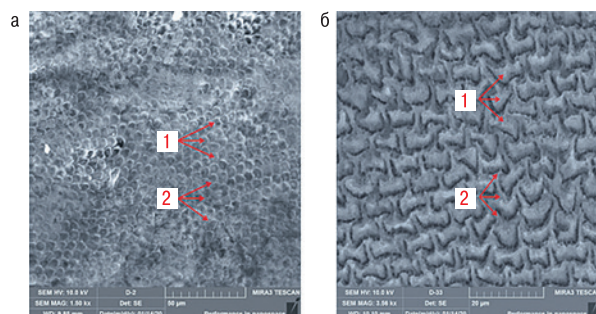


Рис. 4. Микрофотографии. Ультраструктура поверхности эмали молочного интактного моляра в период окончательной минерализации: 1 – эмалевые призмы; 2 – межпризменное вещество. РЭМ: а – $\times 1500$; б – $\times 3560$.

Fig. 4. Micrographs. Ultrastructure of the enamel surface of an intact primary molar during the final mineralization period: 1 – enamel prisms; 2 – interprismatic substance. SEM: a – $\times 1500$; b – $\times 3560$.

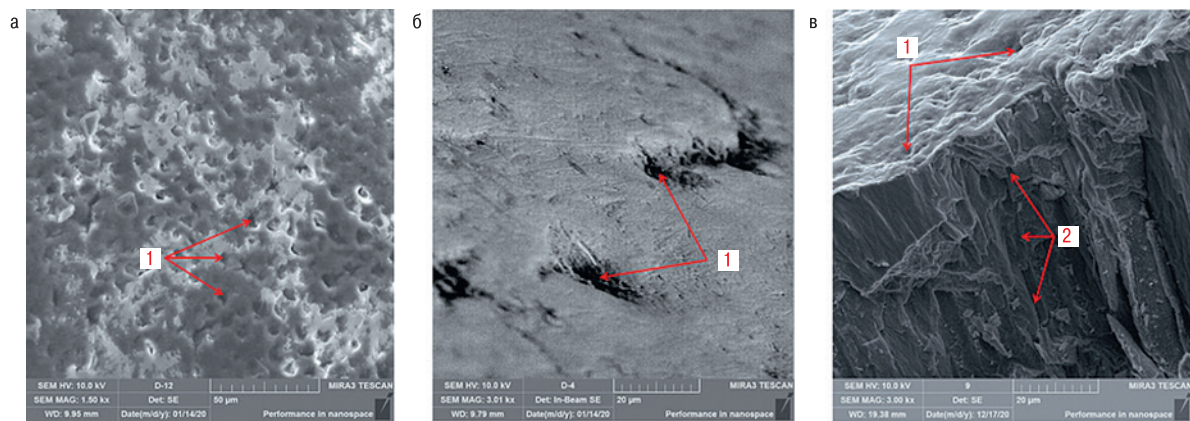


Рис. 5. Микрофотографии. Ультраструктура поверхности эмали молочного интактного моляра в период окончательной минерализации: 1 – эмалевые поры (отверстия); 2 – «эмалевые туннели». РЭМ: а – $\times 3010$; б – $\times 3000$.

Fig. 5. Micrographs. Ultrastructure of the enamel surface of an intact primary molar during the final mineralization period: 1 – enamel pores (openings); 2 – “enamel tunnels”. SEM: а – $\times 3010$; б – $\times 3000$.

туннеля» варьирует от $0,43 \pm 0,03$ мкм до $1,38 \pm 0,08$ мкм. Можно предположить, что обмен минеральных компонентов между дентином и эмалью осуществляется в «эмалевых туннелях», куда проникают отростки одонтобластов (рис. 5).

Образующая перикиматиями (высота $1,73 \pm 0,07$ – $4,28 \pm 0,29$ мкм; ширина $27,62 \pm 1,68$ – $119,53 \pm 4,81$ мкм) волнистость не имеет регулярности, опоясывает коронку зуба в виде параллельных горизонтальных линий с наибольшей выраженностью в пришеечной зоне и на контактных поверхностях. Более половины поверхности эмали зубов 1-й группы покрыта соединительнотканной фиброзной пелликулой, которая проникает на глубину 0,1–0,2 мкм в кристаллы апатитов наружного слоя. На поверхности эмали в образцах 1-й группы отсутствуют «прямолинейные» кристаллические волокна, формирующие наиболее плотный щёточно-каёмчатый слой, наличие которого в эмали зубов постоянного прикуса обеспечивает устойчивость к механическим нагрузкам (истиранию).

На продольных срезах толщина эмалевого слоя в образцах 1-й группы приравнена к $1,06 \pm 0,17$ мм, что более чем в 2,5 раза уступает толщине эмали постоянных зубов. Отчётливо визуализируемые на шлифах зубной эмали образцов 1-й группы в продольном направлении неонатальные линии представляют собой де- и гипоминерализованные зоны в виде характерных ступенчатых «разрывов», проходящих через всю толщину эмалевого слоя (рис. 6).

Начинающиеся от дентино-эмалевой границы и доходящие до жевательной поверхности эмалевые призмы концентрируются в пучки, имеют радиальную ориентацию (в пришеечной и центральной части – горизонтальную ориентацию), S-образную изогнутую форму. Диаметр эмалевых призм в области дентино-эмалевой границы ($2,46 \pm 0,27$ мкм) существенно уступает аналогичным показателям в области наружной поверхности зуба ($5,18 \pm 0,49$ мкм). На продольных шлифах, из-за S-образных изгибов эмалевых призм, одна часть призм рассечена продольно (светлые полосы / паразоны), другая часть – поперечно (тёмные полосы / диазоны). При последовательном чередовании диазон и паразон на шлифах в продольном направлении выявляются полосы Гунтера-Шрегера шириной $96,35 \pm 7,13$ мкм, включающие 8–12 эмалевых призм, перпендикулярных эмалевой поверхности. Линии Ретциуса на продольных шлифах расположены в

виде симметричных арок, пересекая полосы Гунтера-Шрегера под острым углом, в то время как на поперечных шлифах они представлены в виде концентрических кругов. Линии Ретциуса, как участки низкой минерализации, распространяются в косом направлении от дентино-эмалевой границы до эмалевой поверхности, где заканчиваются в виде валиков (перикиматий). Количество линий Ретциуса в образцах зубной эмали от 6 до 9, толщина – $178,6 \pm 11,9$ нм – $343,6 \pm 16,4$ нм, величина интервала между линиями – $14,36 \pm 0,51$ мкм – $18,06 \pm 0,82$ мкм. Линии Ретциуса с высокой минерализацией имеют двойное лучепреломление, а линии со слабой минерализацией псевдоизотропны. Окружающее эмалевые призмы округлой или ромбовидной форм межпризменное вещество выполняет разграничительную функцию, а при аркообразных формах призм межпризменная субстанция практически не выявлена. Средняя толщина межпризменного вещества – $0,96 \pm 0,09$ мкм. Кристаллы апатитов межпризменной субстанции ориентированы перпендикулярно по отношению к кристаллам пучков эмалевых призм, располо-

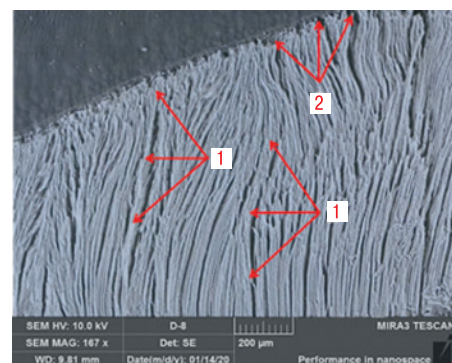


Рис. 6. Микрофотография. Шлиф эмали молочного интактного моляра в период окончательной минерализации. Сканирование параллельно ходу эмалевых призм: 1 – S-образные изгибы пучков эмалевых призм; 2 – неонатальные линии. РЭМ ($\times 167$).

Fig. 6. Micrograph. Enamel section of an intact primary molar during the final mineralization period. Scanning parallel to the course of enamel prisms: 1 – S-shaped bends of enamel prism bundles; 2 – neonatal lines. SEM ($\times 167$).

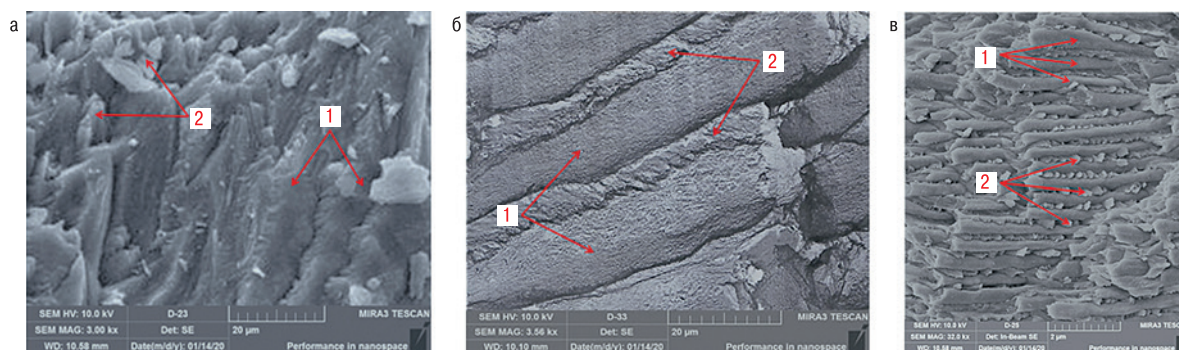


Рис. 7. Микрофотографии. Шлифы эмали молочных интактных моляров в период окончательной минерализации. Сканирование перпендикулярно (а) и параллельно (б, в) ходу эмалевых призм: 1 – пучки эмалевых призм; 2 – межпризменное вещество. РЭМ: а – $\times 3000$; б – $\times 3560$; в – $\times 32000$.

Fig. 7. Micrographs. Enamel sections of intact primary molars during the final mineralization period. Scanning perpendicular (a) and parallel (b, c) to the enamel prisms: 1 – enamel prism bundles; 2 – interprismatic substance. SEM: a – $\times 3000$; b – $\times 3560$; c – $\times 32000$.

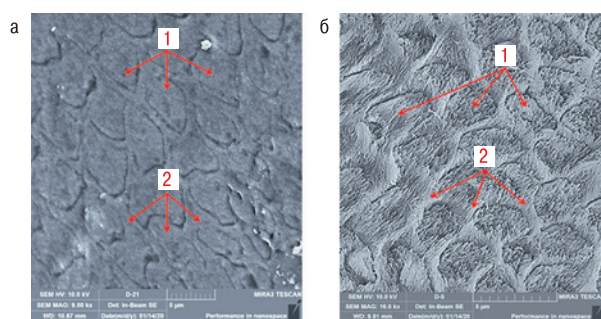


Рис. 8. Микрофотографии. Ультраструктура поверхности эмали молочного интактного моляра в период окончательной минерализации: 1 – эмалевые призмы; 2 – межпризменное вещество. РЭМ: а – $\times 9000$; б – $\times 16000$.

Fig. 8. Micrographs. Ultrastructure of the enamel surface of an intact primary molar during the final mineralization period: 1 – enamel prisms; 2 – interprismatic substance. SEM: a – $\times 9000$; b – $\times 16000$.

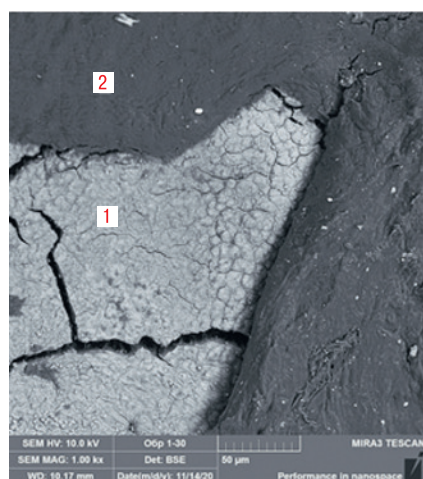


Рис. 9. Микрофотография. Зубная бляшка (2) на поверхности эмали (1) молочного моляра в период физиологической смены зубов. РЭМ ($\times 1000$).

Fig. 9. Micrograph. Dental plaque (2) on the enamel surface (1) of a primary molar during the physiological period of tooth replacement. SEM ($\times 1000$).

жение которых совпадает с направлением оси в призмах эмали, при этом уровень минерализации межпризменного вещества уступает аналогичным показателям эмалевых призм (рис. 7).

Преимущественно, призмы на поперечных шлифах имеют арочную шестигранную конфигурацию, где вышележащие эмалевые призмы расположены в интервалах между арками призм нижележащих слоёв, а выраженные отростки размещены между телами рядом стоящих призм. При аркообразной форме отчётливые контуры между призмами определяются в наиболее широкой части («головка» / «тело» призмы), в то время как в узких участках («хвост» призмы) границы не визуализируются. Меньшую встречаемость имеют призмы округлой (овальной), ромбовидной и полигональной форм, располагающиеся рядами, группами или черепицеобразно (рис. 8).

Сравнительная оценка морфоструктуры эмали в образцах 1-й и 2-й групп, по данным РЭМ, позволила систематизировать особенности микрорельефа поверхности и ультраструктуры эмали молочных зубов в период физиологической смены. Во-первых, наличие плотно фиксированной биоплёнки (зубной бляшки), способствующей микробной колонизации и формированию

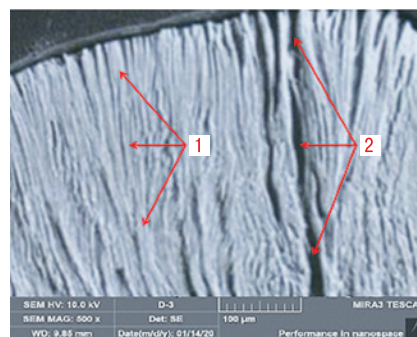


Рис. 10. Микрофотография. Шлиф эмали молочного моляра в период физиологической смены зубов (апроксимальная поверхность). Сканирование параллельно ходу эмалевых призм: 1 – S-образные изгибы пучков эмалевых призм; 2 – неонатальные линии. РЭМ ($\times 500$).

Fig. 10. Micrograph. Enamel section of a primary molar during the period of physiological tooth replacement (approximal surface). Scanning parallel to the course of enamel prisms: 1 – S-shaped bends of enamel prism bundles; 2 – neonatal lines. SEM ($\times 500$).

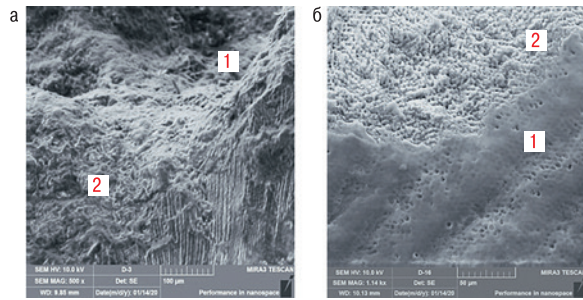


Рис. 11. Микрофотография. Сочетание участков гипо- и деминерализации (2) с участками нормальной минерализации (1) на поверхности эмали молочного моляра в период физиологической смены зубов. РЭМ: а – $\times 500$; б – $\times 1140$.

Fig. 11. Micrograph. Combination of hypo- and demineralization areas (2) with normal mineralization areas (1) on the enamel surface of a primary molar during the physiological period of tooth replacement. SEM: a – $\times 500$; б – $\times 1140$.

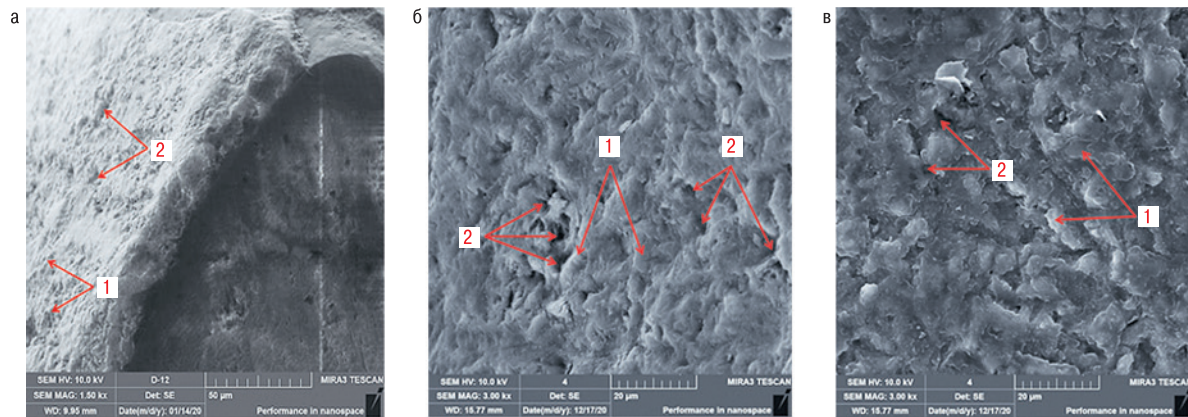


Рис. 12. Микрофотографии. Зернистый вид микрорельефа поверхности зон гипо- и деминерализованной эмали молочных зубов в период физиологической смены (а – РЭМ ($\times 1500$); б, в – РЭМ ($\times 3000$): 1 – сферические наплывы, валики, бугры; 2 – поры-отверстия, лакуны, впадины.

Fig. 12. Microphotographs. Granular appearance of the surface micro relief of hypo- and demineralized enamel zones of primary teeth during the physiological change (a – SEM ($\times 1500$); б, в – SEM ($\times 3000$): 1 – spherical build-ups, ridges, tubercles; 2 – pores-holes, lacunae, depressions.

кислой среды на поверхности зуба с последующей деминерализацией эмали (рис. 9).

Во-вторых, во всех исследуемых образцах 2-й группы эмаль зубов сохранена минимально, преимущественно на контактных поверхностях. Участки сохранённой эмали значительно истончены (толщина эмалевого слоя – $0,43 \pm 0,14$ мм), представлены в виде «островков», а параметры выявляемых на продольных шлифах неонатальных линий существенно превышают аналогичные величины в образцах 1-й группы (рис. 10).

В-третьих, в сохранённых «островках» эмали образцов 2-й группы выявляются морфологические изменения, проявляющиеся в виде нарушений структурной организации эмали, а также в её неоднородности при сочетании участков гипо- и деминерализации с участками нормальной минерализации (рис. 11).

В-четвёртых, участки гипо- и деминерализации эмали имеют «зернистую» поверхность с выраженной неравномерной порозистностью, пористостью, бугристостью и шероховатостью. Диаметр участков поражений варьирует от $1,76 \pm 0,12$ мкм до $3,87 \pm 0,29$ мкм при глубине зоны поражения – $1,14 \pm 0,09$ мкм (рис. 12).

В-пятых, в «островковых» зонах сохранившейся эмали определяются поверхностные дефекты в виде трещин и углублений (полостей) с фестончатыми краями, которые распространяются через всю толщину эмали до верхних слоёв дентина (рис. 13, 14).

В-шестых, в гипо- и деминерализованных участках сохранившегося эмалевого слоя в образцах 2-й группы ультраструктурные изменения выражаются в виде разрушения эмалевых призм,

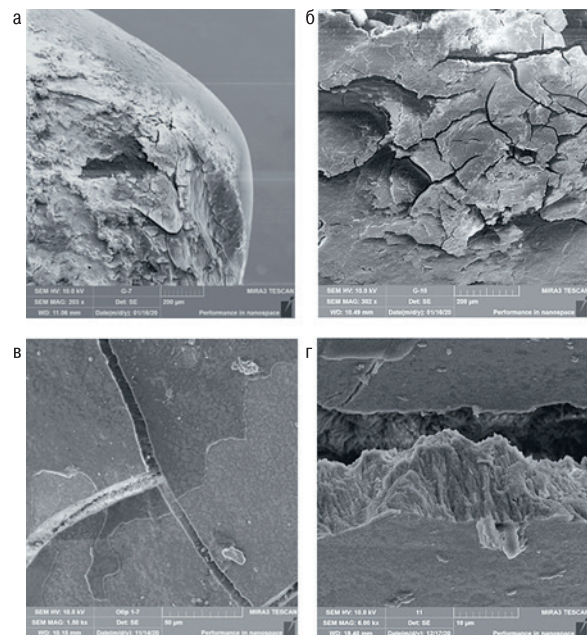


Рис. 13. Микрофотографии. Дефекты в виде трещин на поверхности эмали молочных зубов в период физиологической смены. РЭМ: а – $\times 203$; б – $\times 302$; в – $\times 1500$; г – $\times 6000$.

Fig. 13. Microphotographs. Defects in the form of cracks on the enamel surface of baby teeth during the period of physiological change. SEM: а – $\times 203$; б – $\times 302$; в – $\times 1500$; г – $\times 6000$.

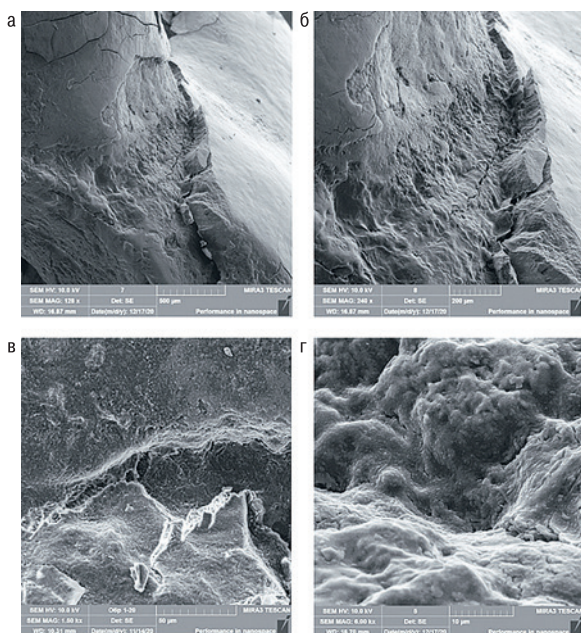


Рис. 14. Микрофотографии. Дефекты в виде углублений (полостей) на поверхности эмали молочных зубов в период физиологической смены. РЭМ: а – $\times 128$; б – $\times 240$; в – $\times 1500$; г – $\times 6000$.

Fig. 14. Microphotographs. Defects in the form of depressions (cavities) on the enamel surface of baby teeth during the period of physiological change. SEM: а – $\times 128$; б – $\times 240$; в – $\times 1500$; г – $\times 6000$.

деструкции межпризменного вещества эмали с нарушением ориентации кристаллов гидроксиапатита, скошенности эмалевых призм. Неравномерность процессов деминерализации представлена чередованием «тёмных» зон с высокой степенью разрушения эмалевых призм со «светлыми» зонами, где степень разрушения призм незначительна (рис. 15).

В-седьмых, микрорельеф поверхности в «островковых» зонах относительно сохранного слоя эмали в образцах 2-й группы отличается от поверхностного эмалевого слоя образцов 1-й группы существенным увеличением степени шероховатости за счёт повышения числа микропор-отверстий, что подтверждается приростом количества пор с образованием пустот на площади $10 \times 10^3 \text{ мкм}^2$ в $7,61 \pm 1,73$ раза ($p \geq 0,05$) (рис. 16).

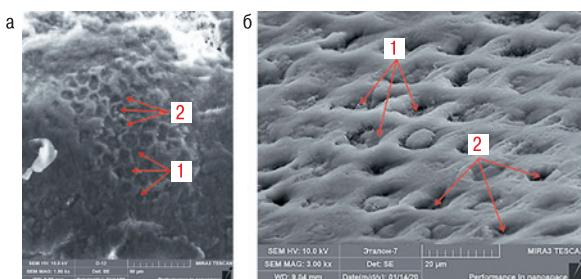


Рис. 16. Микрофотографии. Ультраструктура поверхности эмали молочных зубов в период физиологической смены: 1 – разрушенность эмалевых призм; 2 – микропоры-отверстия. РЭМ: а – $\times 1500$; б – $\times 3000$.

Fig. 16. Microphotographs. Ultrastructure of the enamel surface of primary teeth during the physiological change: 1 – destruction of enamel prisms; 2 – micropores-holes. SEM: а – $\times 1500$; б – $\times 3000$.

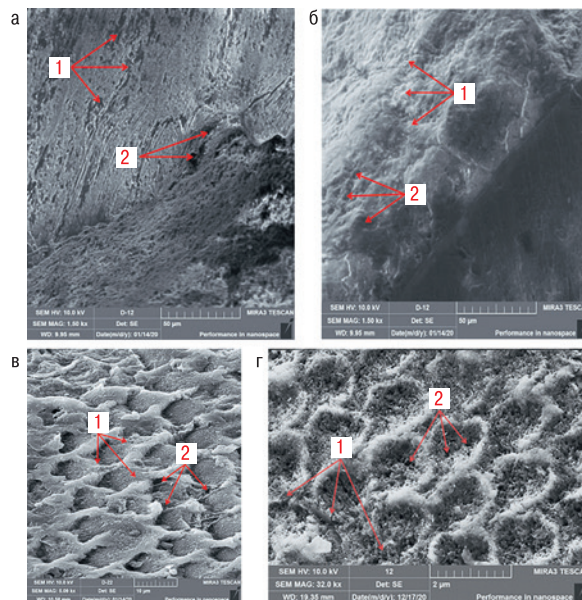


Рис. 15. Микрофотографии. Ультраструктура поверхности эмали молочных зубов в период физиологической смены: 1 – разрушенность эмалевых призм, деструкция межпризменного вещества; 2 – расширение естественных пор, межпризменные пустоты. РЭМ: а – $\times 1500$ (продольный шлиф); б – $\times 1500$; в – $\times 5090$; г – $\times 32000$ (поперечные шлифы).

Fig. 15. Micrographs. Ultrastructure of the enamel surface of primary teeth during the physiological change: 1 – destruction of enamel prisms, destruction of the interprismatic substance; 2 – expansion of natural pores, interprismatic voids. SEM: а – $\times 1500$ (longitudinal section); б – $\times 1500$; в – $\times 5090$; г – $\times 32000$ (transverse sections).

Результаты гистологических исследований с применением световой микроскопии подтвердили наличие неполноценной структуры зубной эмали в образцах 2-й группы. В сравнении с эмалью молочных зубов в фазу окончательной минерализации, в эмали временных зубов в период физиологической смены выявлен комплекс патоморфологических признаков: наличие на эмалевой поверхности дентальной бляшки (рис. 17); существенные изменения микрорельефа поверхности с образованием множественных бугров, шиповатых / игольчатых возвышений, платформ; превалирование зон с отсутствующим эмалевым слоем над участками с сохранённой эмалью; дезорганизация эмалевых призм в «островковых» сохранившихся зонах эмалевого слоя; истончение и нарушение структурной организации в «островках» сохранной эмали с приобретением эмалью характерного шероховатого (зернистого) вида (рис. 18); наличие дефектов (трещин, углублений) с фестончатыми краями в структуре сохранившейся эмали, проникающих до верхних слоёв дентина (рис. 19); структурные нарушения со стороны эмалевых призм (отсутствие контурированности, деформация, сморщивание), расширение межпризменных промежутков из-за распада межпризменной субстанции (склеивающего вещества), «размытость» гистологической структуры зубной эмали с потерей прозрачности и гомогенности (рис. 20).

Результаты количественного распределения макро- и микро-элементов в эмали образцов исследуемых групп, выполненные методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, представлены в табл. 1, 2 и на рис. 21, 22.

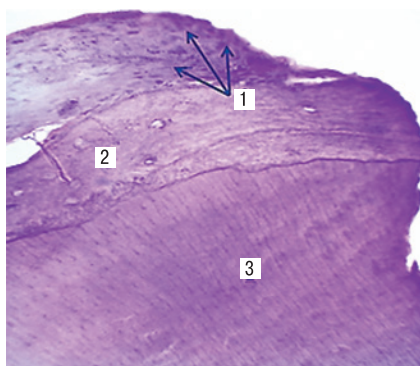


Рис. 17. Зубное отложение (бляшка) на поверхности молочного зуба в период физиологической смены: 1 – неоднородные включения в структуре дентальной бляшки; 2 – «островки» сохранившейся эмали; 3 – дентин. Окраска гематоксилином и эозином; $\times 400$.
Fig. 17. Dental deposit (plaque) on the surface of a baby tooth during the period of physiological change: 1 – heterogeneous inclusions in the structure of dental plaque; 2 – “islands” of preserved enamel; 3 – dentin. Hematoxylin and eosin staining; $\times 400$.

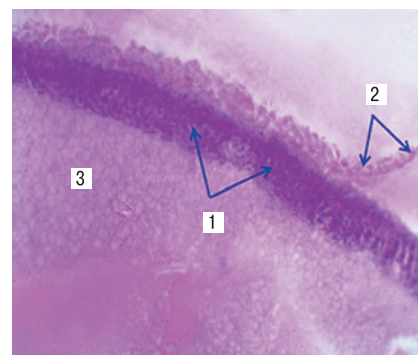


Рис. 18. Истончение, нарушение целостности эмали молочного зуба в период физиологической смены: 1 – «зернистый» вид эмалевых призм; 2 – деструкция, дезорганизация, прерывистость эмалевого слоя; 3 – дентин. Окраска гематоксилином и эозином; $\times 400$.
Fig. 18. Thinning, disruption of the enamel integrity of a baby tooth during the physiological change period: 1 – “granular” appearance of enamel prisms; 2 – destruction, disorganization, discontinuity of the enamel layer; 3 – dentin. Hematoxylin and eosin staining; $\times 400$.

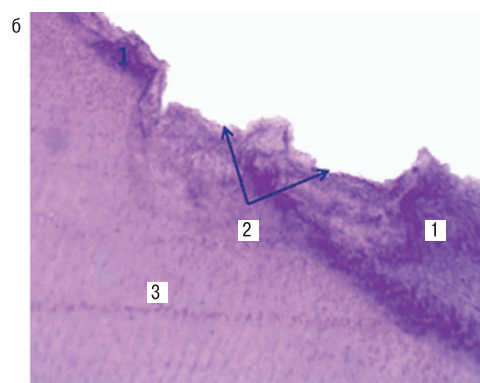
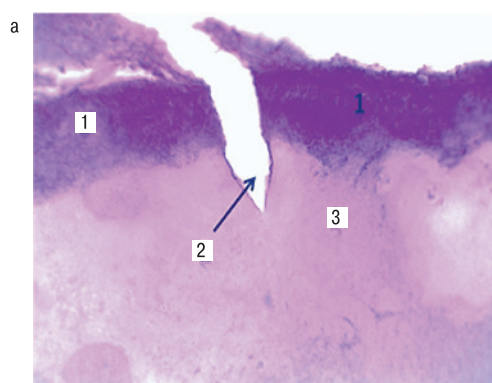


Рис. 19. Дефекты в форме трещин (а), углублений (б) в эмали молочных зубов в период физиологической смены: 1 – «островки» эмали; 2 – дефекты с распространением через всю толщину эмалевого слоя; 3 – дентин. Окраска гематоксилином и эозином; $\times 400$.
Fig. 19. Defects in the form of cracks (a), depressions (b) in the enamel of baby teeth during the period of physiological change: 1 – enamel “islands”; 2 – defects spreading through the entire thickness of the enamel layer; 3 – dentin. Stained with hematoxylin and eosin; $\times 400$.

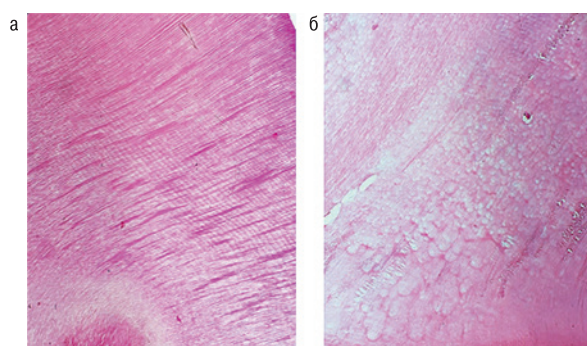


Рис. 20. Нарушение гистологической структуры эмали молочных зубов в период физиологической смены: а – расширение межпризменных промежутков ($\times 400$); б – зоны бесструктурной (размягчённой) эмали ($\times 200$). Окраска гематоксилином и эозином.
Fig. 20. Disruption of the histological structure of the enamel of primary teeth during the period of physiological change: а – widening of interprismatic spaces ($\times 400$); б – zones of structureless (softened) enamel ($\times 200$). Staining with hematoxylin and eosin.

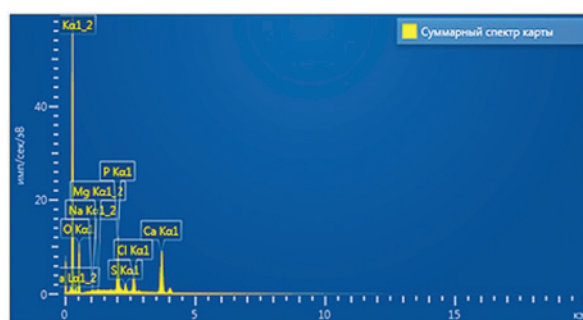


Рис. 21. EDS-спектр содержания элементов в образце эмали молочного интактного моляра пациентки Р., 9 лет 3 месяцев, удалённого в связи с физиологической сменой зубов.
Fig. 21. EDS spectrum of the content of elements in the enamel sample of the intact primary molar of patient R., 9 years 3 months old, removed due to physiological change of teeth.

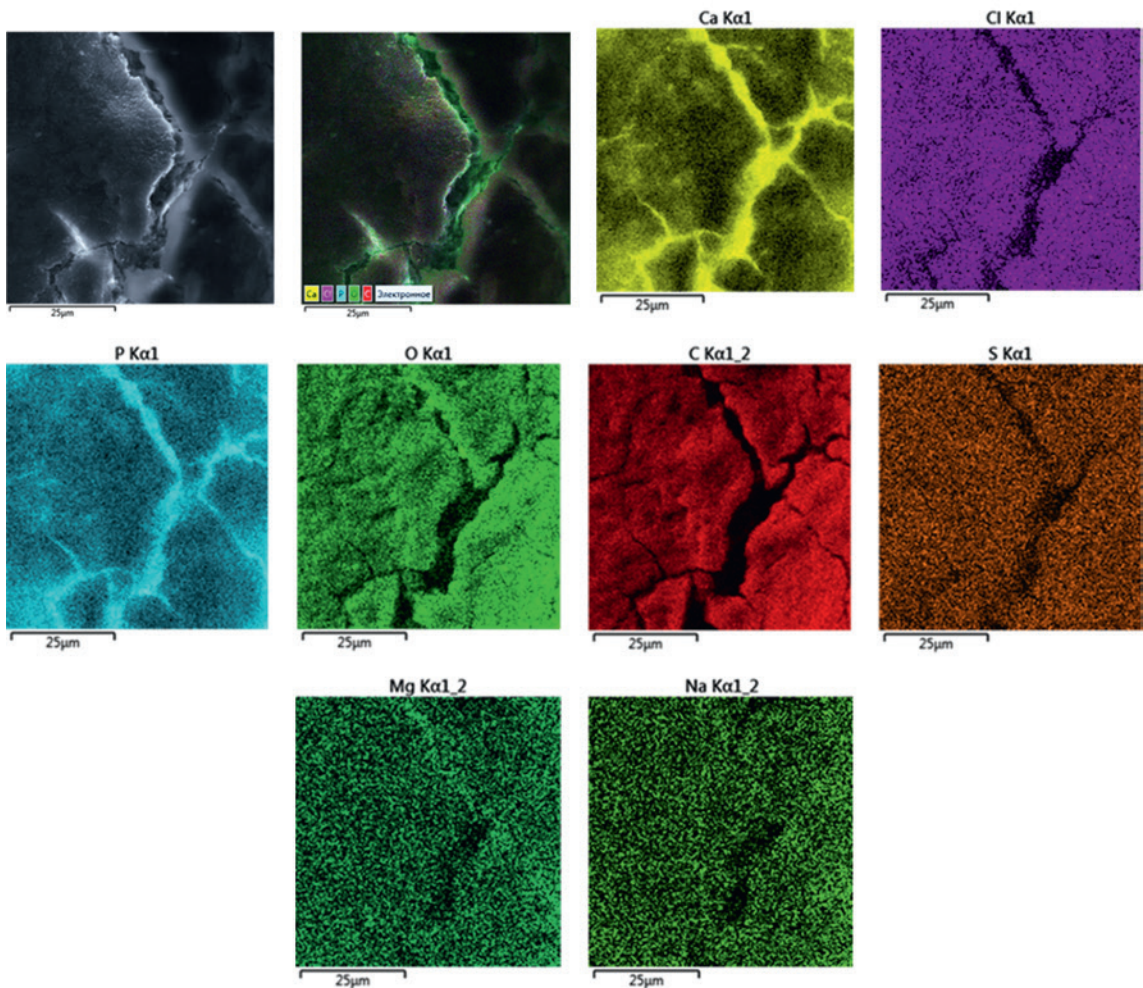


Рис. 22. Результаты элементного картирования образца эмали молочного интактного моляра пациентки Р., 9 лет 3 месяцев, с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS): а – электронное изображение; б – цветная многослойная EDS-карта с зонами распределения макро- и микроэлементов; в – монохромная элементная карта распределения Ca (19,40 масс. %); г – монохромная элементная карта Cl (0,37 масс. %); д – монохромная элементная карта P (14,15 масс. %); е – монохромная элементная карта O (58,07 масс. %); ж – монохромная элементная карта C (4,86 масс. %); з – монохромная элементная карта S (2,41 масс. %); и – монохромная элементная карта Mg (0,32 масс. %); к – монохромная элементная карта Na (0,42 масс. %).

Fig. 22. Results of elemental mapping of enamel sample of intact primary molar of patient R., 9 years 3 months old, using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS): a – electron image; b – color multilayer EDS map with distribution zones of macro- and microelements; c – monochrome elemental map of Ca distribution (19.40 wt. %); g – monochrome elemental map of Cl (0.37 wt. %); d – monochrome elemental map of P (14.15 wt. %); f – monochrome elemental map of O (58.07 wt. %); g – monochrome elemental map of C (4.86 wt. %); h – monochrome elemental map of S (2.41 wt. %); i – monochrome elemental map of Mg (0.32 wt. %); k – monochrome elemental map of Na (0.42 wt. %).

Таблица 1. Макро- и микроэлементный состав в эмали интактных моляров в период сформированного прикуса молочных зубов (весовое содержание, масс. %)
Table 1. Macro- and microelement composition in the enamel of intact molars during the period of formed occlusion of milk teeth (weight content, mass %)

Химические элементы Chemical elements	Me	Min	Max	Перцентили / Percentiles			
				Q-25	Q-75	Q-10	Q-90
Ca	21,06	17,94	24,24	19,29	22,84	18,38	23,83
P	13,85	12,91	14,97	13,16	14,47	13,04	14,80
Ca / P	1,52	1,39	1,62	1,46	1,58	1,41	1,61
O	55,29	52,57	58,08	52,91	57,66	52,73	57,94
C	3,42	3,03	3,84	3,09	3,75	3,05	3,79
Cl	1,13	0,27	2,36	0,79	1,48	0,44	1,82
Na	0,46	0,24	0,73	0,30	0,62	0,27	0,66
Mg	0,13	0,02	0,24	0,06	0,20	0,03	0,22
K	0,44	0,26	0,72	0,31	0,57	0,28	0,63
S	0,17	0,02	0,39	0,06	0,28	0,03	0,30
F	0,021	0,000	0,057	0,008	0,034	0,005	0,051
Zn	0,19	0,01	0,36	0,11	0,28	0,04	0,31

Таблица 2. Макро- и микроэлементный состав в эмали молочных интактных моляров в период физиологической смены зубов (весовое содержание, масс.%)
Table 2. Macro- and microelement composition in the enamel of intact primary molars during the physiological period of tooth replacement (weight content, mass%)

Химические элементы Chemical elements	Me	Min	Max	Перцентили / Percentiles			
				Q-25	Q-75	Q-10	Q-90
Ca	18,13	16,09	20,31	16,81	19,48	16,37	20,04
P	13,07	12,68	13,53	12,74	13,39	12,70	13,46
Ca / P	1,39	1,27	1,50	1,32	1,45	1,29	1,49
O	59,18	55,98	62,27	56,63	61,75	56,21	62,08
C	4,67	4,26	5,05	4,34	4,99	4,28	5,04
Cl	0,43 *	0,31 *	0,58 *	0,35 *	0,51 *	0,32 *	0,54 *
Na	0,78	0,19	1,14	0,51	1,05	0,26	1,08
Mg	0,38	0,12	0,97	0,19	0,56	0,14	0,68
K	0,32	0,24	0,41	0,28	0,36	0,25	0,39
S	2,31 *	1,07 *	3,39 *	1,85 *	2,76 *	1,38 *	3,04 *
F	0,012	0,000	0,033	0,005	0,019	0,002	0,027
Zn	0,07	0,00	0,19	0,04	0,11	0,02	0,14

Примечание: * – достоверность статистических различий на уровне $p \leq 0,05$ по критерию Mann-Whitney по отношению к первой группе.

Note: * – reliability of statistical differences at the level of $p \leq 0.05$ by the Mann-Whitney criterion in relation to the comparison group.

Данные рентгеноспектрального анализа зубной эмали в периоде молочного прикуса указывают, что в образцах исследуемых групп наибольшее весовое содержание (Me[Q1; Q3]) отмечается у кислорода (1-я группа – 55,29[52,91; 57,66] масс.%; 2-я группа – 59,18[56,63; 61,75] масс.%), кальция (21,06[19,29; 22,84] масс.%, и 18,13[16,81; 19,48] масс.%), фосфора (13,85[13,16; 14,47] масс.%, и 13,07[12,74; 13,39] масс.%), углерода (3,42 [3,09; 3,75] масс.%, и 4,67 [4,34; 4,99] масс.% соответственно).

Результаты оценки количественного распределения (% по массе) химических элементов в эмали зубов исследуемых групп (по Me) указывают, что в образцах 1-й группы, в сравнении с образцами 2-й группы, увеличен уровень кальция (в 1,16 раза; $p \geq 0,05$), фосфора (в 1,06 раза; $p \geq 0,05$), хлора (в 2,63 раза; $p \geq 0,05$), калия (в 1,38 раза; $p \geq 0,05$), фтора (в 1,75 раза; $p \geq 0,05$), цинка (в 2,71 раза; $p \geq 0,05$), при сокращении содержания кислорода (в 1,07 раза; $p \geq 0,05$), углерода (в 1,37 раза; $p \geq 0,05$), натрия (в 1,69 раза; $p \geq 0,05$), магния (в 2,92 раза; $p \geq 0,05$), серы (в 13,59 раза; $p \leq 0,05$).

По отношению к опубликованным отечественными (Леонтьев В.К., 1982; Боровский Е.В., 2001) и зарубежными (Jenkins G.N., 1978) авторами усреднённых величин содержания в кристаллах гидрокси-, фтор-, хлор- и карбонатитов эмали кариесрезистентного постоянного зуба кальция (37,8 масс.%) и фосфора (17,7 масс.%), сокращение уровня кальция в эмали (по Me) в образцах 1-й группы составило 1,79 раза, 2-й группы – 2,09 раза, а уменьшение количества фосфора – 1,28 и 1,35 раза соответственно. Установленное снижение содержания кальция, фосфора в эмали молочных зубов соответствует традиционным представлениям о разрушении формирующей жёсткий каркас апатитной кристаллической решетки зубной эмали. Важно отметить, что результатом происходящих одномоментно процессов деструкции кристаллов гидрокси- и фторapatитов из состава эмалевых призм, а также замещения межпризменных промежутков органической аморфной субстанцией, является нарушение минерализации эмали, повышение её проницаемости, снижение резистентности к действию кислот, сокращение микротвёрдости эмали.

Уровень молярного Ca/P соотношения в формирующих эмалевые призмы кристаллах гидроксиapatита $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$

является относительно постоянным (около 1,67), и выступает в качестве критерия эмалевой резистентности по отношению к действию кислотных факторов. При сокращении величины молярного индекса Ca/P (Me[Q1; Q3]) в образцах 1-й группы (1,52[1,46; 1,58]) и в образцах 2-й группы (1,39[1,32; 1,45]) создаются предпосылки для разрушения структуры кристаллов гидроксиapatита, за счёт выхода двух ионов Ca^{2+} без возможности их замещения другими ионами Ca^{2+} , а также исчерпания резервов по кальцию и неспособность эмали противостоять процессам декальцинации.

Выявленный в образцах эмали 2-й группы, в сравнении с аналогичными показателями 1-й группы, прирост содержания (по Me) кислорода (в 1,07 раза; $p \geq 0,05$), углерода (в 1,37 раза; $p \geq 0,05$), включённых в органическую субстанцию эмали «лёгких» элементов, а также натрия (в 1,69 раза; $p \geq 0,05$), в сочетании с сокращением уровня неорганических веществ, указывает на интенсификацию изоморфных замещений PO_4^{3-} -ионов CO_3^{2-} -ионами, наличии вакансий в позиции ионов Ca^{2+} в кристаллических структурах гидроксиapatита с последующим уменьшением молярного отношения Ca/P, нарушение сбалансированного равновесия со сдвигом в сторону деминерализации и последующего послойного растворения эмалевого слоя.

Заключение

ТЭР (В.Р. Окушко, Л.И. Косарева, И.К. Луцкая, 1984), как высокоинформативный, доступный, малозатратный, легко воспроизводимый, надёжный, инвазивный метод установления кислотоустойчивости эмали целесообразно использовать у детей с полностью сформированными корнями в первом периоде молочного прикуса, как для определения состояния кариесрезистентности при стоматологических обследованиях (индивидуальных, массовых), так и для оценки эффективности применения реминерализирующих средств в профилактике и терапии кариозных поражений временных зубов.

Доказано, что «умеренная» кислотоустойчивость интактной зубной эмали у детей с полностью сформированными корнями в первом периоде временного прикуса достигается сочетанием следующих факторов: сглаженным микрорельефом поверх-

ности вследствие наличия «тонкой» органической субстанции; призмной структурой поверхностного слоя эмали с незначительной микропористостью и микрошероховатостью; упорядоченной структурной организацией с относительно плотной упаковкой кристаллов апатитов в эмалевых призмах; накоплением микроэлементов (по Me) (F – 0,021 масс.%, Zn – 0,19 масс.%) на поверхности эмали; толщиной эмалевого слоя – $1,06 \pm 0,17$ мм ($p \leq 0,05$) при величине межпризменных пространств – $0,96 \pm 0,09$ мкм ($p \leq 0,05$); значением (по Me) молярного индекса Ca/P – 1,52 при содержании в зубной эмали кальция и фосфора – 21,06 масс.% и 13,85 масс.% соответственно.

Снижение кислотоустойчивости эмали интактных зубов у детей с рассасывающимися корнями во втором периоде молочного прикуса обусловлено следующими изменениями морфологии и элементного состава: наличие плотно фиксированной зубной бляшки; нарушение структурной организации в «островках» сохранной эмали (наличие участков гипо- и деминерализации; «зернистость», порозиюность, пористость поверхности; разрушение эмалевых призм; деструкция межпризменного вещества; дезориентация кристаллов апатитов; скошенность эмалевых призм; дефекты в виде трещин и полостей с фестончатыми краями, распространяющиеся на всю толщину эмали; увеличение концентрации органического матрикса из-за недостаточной минерализации), уменьшение доли микроэлементов (по Me) (F – 0,012 масс.%, Zn – 0,07 масс.%; сокращение толщины эмали до $0,43 \pm 0,14$ мм ($p \leq 0,05$) при расширении межпризменных промежутков до $1,87 \pm 0,36$ мкм ($p \leq 0,05$); величиной (по Me) молярного коэффициента Ca/P – 1,39 при концентрации в эмали кальция и фосфора – 18,13 масс.% и 13,07 масс.% соответственно.

Результаты изучения ультраструктуры, химического состава эмали позволили выделить факторы, устанавливающие повышенную кариесвосприимчивость зубов в различные периоды молочного прикуса, по отношению к постоянным зубам: отсутствие плотного щёточно-каемчатого слоя; недостаточная выраженность связующих соединительнотканых волокон базального слоя; сокращение толщины зубной эмали; рост числа микротрещин в подповерхностном слое эмали; деформация эмалево-дентинной границы с нарушением барьерной функции между дентином и эмалью; снижение степени минерализации твёрдых тканей зубов; сокращение числа ростовых линий (Ретциуса); увеличение количества гипоминерализованных, с большим содержанием органических компонентов эмалевых пластинок, пучков и веретён; прирост доли карбонатитов эмали при уменьшении количества гидроксиапатитов; увеличение микропористости эмалевого слоя.

Расширение научных знаний о структуре, элементном составе эмали зубов в различные периоды молочного прикуса будет способствовать созданию новых и совершенствованию имеющихся средств реминерализующей терапии (пасты, лаки, плёнки, гели, полоскания, аппликации, физиотерапевтические методы), направленных на восстановление состава / структуры основных минеральных компонентов эмали и повышение резистентности эмалевого слоя к кариесогенным факторам с учётом физико-химических процессов, протекающих при де- и реминерализации твёрдых тканей зубов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Детская терапевтическая стоматология / под ред. Леонтьева В. К., Кисельниковой Л. П. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. 952 с. [Pediatric

- therapeutic dentistry / edited by Leontiev V.K., Kiselnikova L.P. Moscow: GEOTAR-Media, 2021. 952 p. (In Russ.).]
2. Кузьмина Э.М. Профилактика стоматологических заболеваний. М.: Тонга-Принт, 2003. 216 с. [Kuzmina E.M. Prevention of dental diseases. Moscow: Tonga-Print, 2003. 216 p. (In Russ.).]
3. Кузьмина Э.М. Стоматологическая заболеваемость населения России. Состояние твердых тканей зубов. Распространенность зубочелюстных аномалий. Потребность в протезировании. М.: МГМСУ, 2009. 236 с. [Kuzmina E.M. Dental morbidity of the population of Russia. Condition of hard dental tissues. Prevalence of dentoalveolar anomalies. Need for prosthetics. Moscow: MGMSU, 2009. 236 p. (In Russ.).]
4. Alm A., Wendt L.K., Koch G., Birkhed D. Oral hygiene and parent-related factors during early childhood in relation to approximal caries at 15 years of age. Caries Res. 2008;42(1):28-36. DOI: 10.1159/000111747.
5. Карслиева А.Г., Быков И.М., Кочконян А.С. Оценка кариесогенной ситуации у детей с зубочелюстными аномалиями по микробиологическим и биофизическим показателям ротовой жидкости. Кубанский научный медицинский вестник. 2014;(5):36-46. [Karslieva A.G., Bykov I.M., Kochkonian A.S. Evaluation of cariogenic situation in children with dentoalveolar anomalies based on microbiological and biophysical indicators in oral liquid. Kuban Scientific Medical Bulletin. 2014;(5):36-46. (In Russ.).]
6. Berg J.H., Slayton R.L. Early Childhood Oral Health. - Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2009. 320 p.
7. Леонтьев В.К., Пахомов Г.Н. Профилактика стоматологических заболеваний. М., 2006. 410 с. [Leontiev V.K., Pakhomov G.N. Prevention of dental diseases. M., 2006. 410 p. (In Russ.).]
8. Ведешина Э.Г., Дмитриенко С.В., Калашникова С.А. Качественная и количественная оценка кристаллографии ротовой жидкости в норме и при зубочелюстной патологии. Кубанский научный медицинский вестник. 2016;(5):38-47. [Vedeshina E.G., Dmitrienko S.V., Kalashnikova S.A. Qualitative and quantitative crystallographic evaluation of oral liquid under normal conditions and in dentofacial pathology. Kuban Scientific Medical Bulletin. 2016;(5):38-47. (In Russ.).]
9. Alm A., Wendt L.K., Koch G., Birkhed D., Nilsson M. Caries in adolescence - influence from early childhood. Community Dent Oral Epidemiol. 2012 Apr;40(2):125-33. DOI: 10.1111/j.1600-0528.2011.00647.x.
10. Ведешина Э.Г., Базиков И.А., Зеленский В.А. Полуколичественная оценка кариесогенной микрофлоры у детей с зубочелюстными аномалиями при различной интенсивности морфофункциональных нарушений. Медицинский вестник Северного Кавказа. 2015;3(10): 238-241. DOI 10.14300/mnnc.2015.10055 [Vedeshina E.G., Bazikov I.A., Zelensky V.A. Semiquantitative evaluation of caries microflora in patients with dental and alveolar abnormalities and different severity of morphofunctional disturbances. Medical News of North Caucasus. 2015;3(10): 238-241. DOI 10.14300/mnnc.2015.10055. (In Russ.).]
11. Bellini H.T., Arneberg P., von der Fehr F.R. Oral hygiene and caries. A review. Acta Odontol Scand. 1981;39(5):257-65. DOI: 10.3109/00016358109162287.
12. Warren J.J., Weber-Gasparoni K., Marshall T.A. Factors associated with dental caries experience in 1-year-old children. J Public Health Dent. 2008 Spring;68(2):70-5. DOI: 10.1111/j.1752-7325.2007.00068.x.
13. Clinical Pediatric Dentistry / Ed. F. Garcia-Gdoy. - Berlin: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG, 2008. 300 p.
14. Declercq D., Leroy R., Martens L., Lesaffre E., Garcia-Zattera M.J. Factors associated with prevalence and severity of caries experience in preschool children. Community Dent Oral Epidemiol. 2008 Apr;36(2):168-78. DOI: 10.1111/j.1600-0528.2007.00385.x.
15. Casanova-Rosado A.J., Medina-Solis C.E., Casanova-Rosado J.F. Dental caries and associated factors in Mexican schoolchildren aged

- 6-13 years. *Acta Odontol Scand.* 2005 Aug;63(4):245-51. DOI: 10.1080/00016350510019865.
16. Доменюк Д.А., Кочконян Т.С., Чуков С.З. Гистологические и морфометрические особенности костной ткани альвеолярных отростков челюстей у лиц с признаками дисплазии соединительной ткани. *Head and neck. Голова и шея. Российский журнал.* 2024;12(2):9-18. DOI: 10.25792/HN.2024.12.2.9-18 [Domenyuk D.A., Kochkonian T.S., Chukov S.Z. Histological and morphometric specifics of jaws alveolar process bone tissue in individuals with connective tissue dysplasia symptoms. *Head and neck.* 2024;12(2):9-18. DOI: 10.25792/HN.2024.12.2.9-18. (In Russ.)].
 17. Давыдов Б.Н., Кочконян Т.С., Дмитриенко Т.Д. Морфометрические особенности зубных дуг в периоде сменного прикуса. *Медицинский алфавит.* 2022;(2):53-62. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-2-53-62> [Davydov B.N., Kochkonian T.S., Dmitrienko T.D. Morphometric features of dental arches in the period of mixed dentition. *Medical alphabet.* 2022;(2):53-62. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-2-53-62>. (In Russ.)].
 18. Kochkonian T.S., Domenyuk D.A., Shkarin V. V. Morphological features of dental arch shape and size within baby teeth bite period. *Archiv EuroMedica.* 2022;12(3):23. <https://doi.org/10.35630/2199-885X/2022/12/3.23>.
 19. Ohlund I., Holgerson P.L., Backman B., Lind T., Hernell O. Diet intake and caries prevalence in four-year-old children living in a low-prevalence country. *Caries Res.* 2007;41(1):26-33. DOI: 10.1159/000096102.
 20. Fejerskov O., Kidd E.A.M. *Dental Caries. The disease and its clinical management.* - 2nd ed. - Wiley-Blackwell, 2008. 640 p.
 21. McDonald R.E., Avery D.R., Dean J.A. *Dentistry for the Child and Adolescent* - 10th ed. - Mosby, 2015. 720 p.
 22. Доменюк Д. А., Чуков С. З., Арутюнова А. Г. Оценка кариесрезистентности зубной эмали по результатам исследования химического состава и микроструктуры поверхности в период физиологического созревания. *Кубанский научный медицинский вестник.* 2019; 26(2): 26-41. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2019-26-2-26-41> [Domenyuk D. A., Chukov S. Z., Arutyunova A. G. Evaluation of the Caries Resistance of Tooth Enamel According to a Study on the Chemical Composition and Microstructure of the Tooth Surface during Its Physiological Maturation. *Kuban Scientific Medical Bulletin.* 2019; 26(2): 26-41. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2019-26-2-26-41>. (In Russ.)].
 23. Быков И.М., Гильмиярова Ф.Н. Оценка кариесогенной ситуации у детей с сахарным диабетом первого типа с учётом минерализующего потенциала ротовой жидкости и эмалиевой резистентности. *Кубанский научный медицинский вестник.* 2018; 25(4): 22-36. DOI: 10.25207/1608-6228-2018-25-4-22-36 [Bykov I.M., Gilmyarova F.N. Evaluation of cariogenic situation in children with type 1 diabetes mellitus given the mineralizing potential of saliva and enamel resistance. *Kuban Scientific Medical Bulletin.* 2018; 25(4): 22-36. DOI: 10.25207/16086228-2018-25-4-22-36 (In Russ.)].
 24. Cameron A.C., Widmer R.P. *Handbook of Pediatric Dentistry.* - 3rd ed. - Edinburgh: Mosby, 2008. 482 p.
 25. Доменюк Д.А., Чуков С.З., Анфиногенова О.И. Применение компьютерной микротомографии в изучении морфоструктурных особенностей твёрдых тканей зубов при ранних формах кариозных поражений. *Кубанский научный медицинский вестник.* 2018; 25(6): 57-67. DOI: 10.25207/1608-6228-2018-25-6-57-67 [Domenyuk D.A., Chukov S.Z., Anfinogenova O.I. Application of computer microtomography in the study of morphostructural peculiarities of hard tissues of teeth in early forms of carious lesions. *Kubanskij nauchnyj medicinskij vestnik.* 2018; 25(6): 57-67. DOI: 10.25207/16086228-2018-25-6-57-67 (In Russ.)].
 26. Porfyriadis M.P., Domenyuk D.A., Arutyunova A. G. Scanning electron microscopy and X-ray spectral microanalysis in studying dental tissue resistance. *Archiv EuroMedica.* 2019;9(1): 177-185. <https://doi.org/10.35630/2199-885X/2019/9/1/177>.
 27. Sooksompien P., Sirimaharaj V., Wanachantararak S. Carbonated Soft Drinks Induced Erosive Changes on Enamel Surfaces of Primary Teeth: SEMEDS Analysis. *Journal of International Dental and Medical Research.* 2022;15(3):1046-1052. DOI: 10.3390/nu15071785.
 28. Adabache-Ortiz A. Comparison of Chemical Elements on Carious & Normal Premolar's Enamel Layers Using Energy Dispersive X Ray Spectrometer (X Ray-EDS). *Microscopy Research.* 2014;2:81-91. DOI: 10.4236/mr.2014.24010.
 29. Sabel N., Karlsson A., Sjölin L. XRMA analysis and X-ray diffraction analysis of dental enamel from human permanent teeth exposed to hydrogen peroxide of varying pH. *J Clin Exp Dent.* 2019 Jun 1;11(6):e512-e520. DOI: 10.4317/jced.55618.
 30. Taubee F., Steiniger F., Nietzsche S., Norén J.G. Scanning electron microscopic and X-ray micro analysis on tooth enamel exposed to alkaline agents. *Swed Dent J.* 2010;34(3):129-37.

Поступила 17.08.2025

Получены положительные рецензии 01.09.25

Принята в печать 05.09.25

Received 17.08.2025

Positive reviews received 01.09.25

Accepted 05.09.25

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования — Д.А. Доменюк. Сбор и обработка материала — С.Д. Доменюк, Я.Н. Гарус, О.А. Соловьева. Статистическая обработка данных — Л.В. Аринина, С.Д. Доменюк. Написание текста — Д.А. Доменюк. Редактирование — Л.Ю. Островская. **Contribution of the authors.** Research concept and design — D.A. Domenyuk. Data collection and processing — S.D. Domenyuk, Ya.N. Garus, O.A. Solovieva. Statistical data processing — L.V. Arinina, Domenyuk. Text writing — D.A. Domenyuk. Editing — L. Yu. Ostrovskaya.

Информация об авторах:

Доменюк Дмитрий Анатольевич — д.м.н., доцент, профессор кафедры стоматологии общей практики и детской стоматологии Ставропольского государственного медицинского университета. Адрес: 355017, Ставрополь, ул. Мира, д. 310; e-mail: domeniyukda@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4022-5020>

Доменюк Станислав Дмитриевич — студент Северо-Кавказского федерального университета. Адрес: 355017, Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1; e-mail: sdomenyuk@bk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-4601>

Островская Лариса Юрьевна — д.м.н., профессор, заведующая кафедрой стоматологии терапевтической Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского. Адрес: 410012, Саратов, ул. Большая Казачья, д. 112; e-mail: ost-lar@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8674-1931>

Гарус Яна Николаевна — д.м.н., профессор, профессор кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний Ставропольского государственного медицинского университета. Адрес: 355017, Ставрополь, ул. Мира, д. 310; e-mail: garus_an@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3139-753X>

Соловьева Оксана Александровна — д.м.н., доцент, профессор кафедры терапевтической стоматологии Ставропольского государственного медицинского университета. Адрес: 355017, Ставрополь, ул. Мира, д. 310; e-mail: terstom@stgmu.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1343-2959>

Аринина Людмила Владимировна — к.м.н., доцент, доцент кафедры стоматологии терапевтической Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского. Адрес: 410012, Саратов, ул. Большая Казачья, д. 112; e-mail: lulu81@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1873-4965>

Information about the authors:

Domenyuk Dmitry Anatolyevich — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of General Dentistry and Pediatric Dentistry, Stavropol State Medical University. Address: 310 Mira str., Stavropol, 355017; e-mail: domenyukda@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4022-5020>

Domenyuk Stanislav Dmitrievich — Student at North Caucasus Federal University. Address: 1 Pushkin str., Stavropol, 355017; e-mail: sdomenyuk@bk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-4601>

Ostrovskaya Larisa Yurievna — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Therapeutic Dentistry, Saratov State Medical University name V.I. Razumovsky. Address: 410012, Saratov, st. Bolshaya Kazachya, 112; e-mail: ost-lar@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8674-1931>

Garus Yana Nikolaevna — Doctor of Medical Sciences, Professor, professor of the Department of Propaedeutics of Dental Diseases of the Stavropol State Medical University. Address: 310 Mira St., Stavropol, 355017; e-mail: garus_an@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3139-753X>

Solovieva Oksana Alexandrovna — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Therapeutic Dentistry, Stavropol State Medical University. Address: 310 Mira St., Stavropol, 355017; e-mail: terstom@stgmu.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1343-2959>

Arinina Lyudmila Vladimirovna — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Therapeutic Dentistry, Saratov State Medical University name V.I. Razumovsky. Address: 410012, Saratov, st. Bolshaya Kazachya, 112; e-mail: lulu81@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1873-4965>