

Особенности минерализации дентина в интактных постоянных зубах у детей

П.Е. ПАНФИЛОВ*, д.ф.м.н., профессор

А.В. КАБАНОВА*, аспирант

Ю.П. ИВАНОВ**, к.ф.м.н.

З. ЗАНГ**, приват-доцент, руководитель группы

Л.П. КИСЕЛЬНИКОВА***, д.м.н., профессор, зав. кафедрой

М.А. ШЕВЧЕНКО***, к.м.н., ассистент

*Институт естественных наук УрФУ, г. Екатеринбург

**Институт материаловедения им. Э. Шмида, г. Леобен, Австрия

***Кафедра детской стоматологии

ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава РФ

The peculiarities of dentin mineralization in children's intact permanent teeth

P.E. PANFILOV, A.V. KABANOVA, Yu.P. IVANOV, Z. ZANG, L.P. KISELNIKOVA, M.A. SHEVCHENKO

Резюме

Изучение морфологии и минерализации коронкового и корневого дентина у детей в первых постоянных премолярах, удаленных по ортодонтическим показаниям в возрасте 13-14 и 16-18 лет, проводилось с помощью метода трансмиссионной электронной микроскопии. Выявлено, что у детей в возрасте 13-14 лет коронковый и корневой дентин в первых постоянных интактных премолярах находится в аморфном состоянии. В возрасте 16-18 лет установлено наличие коллагеновых волокон в дентине, формирование нанокристаллической фазы гидроксиапатита кальция в матрице дентина. В 13-14-летнем возрасте определяется незначительное присутствие фосфора в корневом дентине премоляров. Концентрация Са в коронковом и корневом дентине первых премоляров находится практически в равных соотношениях. Структура дентина (коронкового и корневого) в постоянных зубах у детей проходит длительный этап формирования и минерализации.

Ключевые слова: трансмиссионная электронная микроскопия, минерализация дентина, содержание кальция и фосфора в постоянных зубах у детей.

Abstract

Studying the morphology and mineralization of the crown and root dentin in children's first permanent premolars, removed according to the orthodontic indications at the age of 13-14 and 16-18 years old, was carried out using the transmission electron microscopy method. It was found out that the crown and root dentin in the first permanent intact premolars in children of 13-14 years old is in the amorphous state. At the age of 16-18 years, presence of collagen fibres in the dentin and formation of nanocrystalline phase of calcium hydroxyapatite in the dentin matrix were determined. At the age of 13-14 years, a slight presence of phosphorus in the root dentin of premolars is found out. The Ca concentration in the crown and root dentin of the first premolars is practically in the equal ratio. The structure of the dentin (crown and root) in the children's permanent teeth goes through a long stage of formation and mineralization.

Key words: transmission electron microscopy, mineralization of dentin, content of calcium and phosphorus in children's permanent teeth.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее установлен факт, что постоянные зубы у детей прорезываются с незаконченными

процессами минерализации твердых тканей. Минерализация эмали происходит за счет реминерализующего потенциала ротовой

жидкости [2]. Известно, что минерализация дентина в постоянных зубах у детей происходит центробежным путем через пульпу и

заканчивается через два-три года после прорезывания, однако не изучены характеристики минерализации дентина в постоянных зубах у детей интактных и пораженных кариесом [5, 4, 9].

Образование, дифференцировка и созревание тканей зуба – единый физиологический процесс, который начинается на 6-7 неделе внутриутробного развития и заканчивается в постнатальном периоде после прорезывания зубов. Прорезывание – одна из стадий развития зуба. Этот процесс связан с ростом и развитием всего организма ребенка. Прорезывание зубов происходит медленно и связано с групповой принадлежностью зуба [6, 1].

Прорезывание постоянного первого премоляра происходит в 10-11 лет, а формирование корня зуба заканчивается к 13-14 годам. Как правило, данный период формирования корней совпадает с периодом минерализации твердых тканей зубов [7]. Известно, что просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) является единственным экспериментальным методом, который позволяет непосредственно наблюдать морфологию дентина в нанометровом масштабе [8].

Известно, что течение кариеса различно в зубах у пациентов разного возраста. У детей кариес развивается стремительно, сопровождается наличием большого количества размягченного дентина в кариозной полости, у взрослых течение кариеса носит более компенсированный характер, дентин более плотный, пигментированный. Возможно, что данные особенности течения кариеса у пациентов разного возраста связаны с отличиями в степени минерализации дентина [3].

В связи с вышеизложенным, целью данной работы является изучение морфологии и этапов минерализации коронкового и корневого дентина на нанометровом уровне в первых премолярах у лиц в возрасте 13-14 лет, 16-18 лет с помощью просвечивающей электронной микроскопии.

Задачи исследования:

1. Определение элементного состава дентина в постоянных зубах у детей (первых премолярах у детей в возрасте 13-14 лет, удаленных по ортодонтическим показаниям). 2. Изучение особенностей минерализации дентина в первых постоянных премолярах у детей в

возрасте 13-14 лет, 16-18 лет, удаленных по ортодонтическим показаниям с помощью метода электронной микроскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использовались 12 интактных постоянных премоляров, которые были удалены по ортодонтическим показаниям у лиц 13 и 14 лет, 16-18 лет. Исследование первых премоляров проводилось в соответствии с Этическим протоколом Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова (Выписка из протокола заседания №6 от 31 марта 2009 года) (Россия). Исследование было проведено в Институте естественных наук и математики Уральского федерального университета (город Екатеринбург) и в Институте материаловедения им. Э. Шмида (город Леобен, Австрия). Образцы для ПЭМ-исследования разрезали обычно перпендикулярно длинной оси зуба из средних частей коронки и корня с помощью алмазной дисковой пилы под водным орошением (толщина образцов ~ 1 мм). Абразивные бумаги с разными размерами зерен использовались для утонения образцов из начального состояния до толщины 0,15 мм.

Каждый образец, имеющий форму поперечного сечения коронки или корня, разрезали на четыре полоски шириной 2 мм, которые использовались в качестве заготовок тонкой фольги для ПЭМ. Полоски были установлены в картридж из полиметилметакрилата (ПММА) с отверстием (2 мм в диаметре) в средней части. Образцы в картриджах были химически отполированы методом «окна» в потоке концентрированной ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) в течение 40 минут. После этого картриджи с полосками промывали в проточной воде и сушили на воздухе. Металлографическое исследование показало, что поверхность тонкой фольги дентина была однородно утонена и не содержала точечной коррозии, в то время как образец никогда не завивался при сушке. Тонкие фольги дентина были наклеены на стандартные медные картриджи для держателя на растяжение Gatan™, что позволило предотвратить скручивание образца дентина под электронным пучком в колонне. Для определения элементного состава дентина был

выполнен электронно-дисперсионный анализ (EDXA).

Использовался микроскоп TEM / STEM JEOL2100, работающий на напряжении 200 кВ, снабженный CS-корректором изображений и фильтром изображений (Tridiem™). Выравнивание CS-корректора было выполнено с использованием программного обеспечения CEOS на основе измерений аберрации, выведенных из таблиц Zemlin. В конечном счете аберрации были достаточно малы. Все изображения ПЭМ были записаны на ПЗС-камере с разрешением 2k × 4k пикселей с разрешением 12k ~ 60K, и использовался минимальный ток накала. Используемый метод «окна» гарантирует подготовку тонких фольг дентина с электронно-прозрачными полями вблизи края. Геометрия тонкой фольги и техника ее крепления в держателе предотвратили скручивание образцов под электронным пучком. Не наблюдалось явного горения образцов дентина в колонке ПЭМ из-за низкого тока накала. ПЭМ исследования полосок показало, что только 10% из них были прозрачными для 200 кВ электронного пучка при увеличении от 50 K и выше.

Хорошо известно, что биологические ткани имеют слабую контрастность в ПЭМ, потому что в основном состоят из таких легких элементов, как водород, кислород и углерод. Стандартные методы повышения контрастности изображения в ПЭМ, которые используются для металлов и керамики, не могут быть применены к биологической ткани, поскольку она горит под электронным пучком. В результате качество ПЭМ-изображений биологических тканей значительно ниже, чем для неорганических материалов металлов и керамики. Поэтому изображения должны обрабатываться с помощью цифрового фильтра, интегрированного в устройство, до исследования структуры ткани, особенно на нанометровом масштабе. Наличие кальция и фосфора улучшает контрастность ПЭМ-изображений дентина, но они по-прежнему остаются очень слабо контрастными по сравнению с металлами и керамикой. Поэтому необходимо провести дополнительную цифровую обработку изображений с помощью специализированного программного обеспечения. ПЭМ-изображения дентина получают в режиме «поглощения», поскольку тонкие фольги

находятся в аморфном состоянии. Следует отметить, что изображения дентина в зубах у 16-летних детей более контрастные и четкие по сравнению с изображениями дентина в зубах у 13-14 летних пациентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

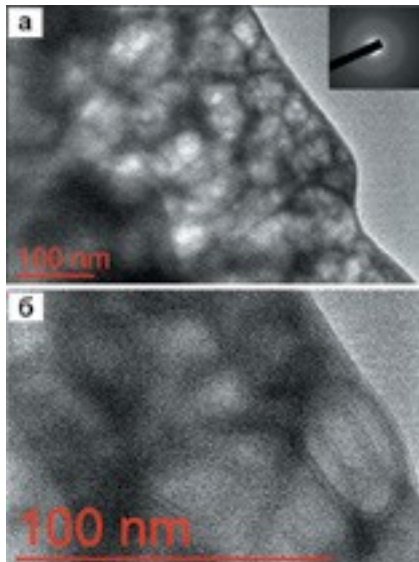


Рис. 1. Структура коронкового дентина, пациента возраста 13 лет, на наномасштабе: а – увеличение x100K; б – увеличение x300K

На рисунке 1а показано ПЭМ изображение коронкового дентина 13 лет на наноуровне (x 100 K) с дифракцией в верхнем правом углу. Диффузное гало на дифракции означает, что тонкая фольга дентина находится в аморфном состоянии. Изображения были получены в режиме контрастного поглощения, и поэтому все они были нерезкими даже после интенсивной цифровой обработки. Как обычно, электронные прозрачные области фольги расположены вблизи края, в то время как образец становится непрозрачным по мере удаления вглубь. Исследование показало, что образцы дентина имеют слоистую морфологию: тонкая фольга представляет собой стопку слоев толщиной 100 нм каждый. Светлые области относятся к первому единственному слою, тогда как темные области расположены в том месте, где второй одиночный слой покрывает первый. В слое имеются светлые концентрические ячейки размером 50-100 нм. Между ячейками расположены темные границы

шириной 10-20 нм. Иногда большие ячейки имеют более сложную геометрию, чем концентрическая. Большие ячейки имеют подструктуру, состоящую из меньших концентрических областей, разделенных нечеткими темными границами. Наблюдения, проведенные под большим увеличением, позволяют уточнить морфологию биоорганической матрицы дентина. Структура тонкой фольги дентина под большим увеличением (x200K) приведена на рисунке 1б. Было показано, что границы между ячейками имеют края, которые позволяют измерять их ширину 5-10 нм. В этих границах тонкой структуры не наблюдалось. Ячейки относятся к тонкой структуре: они состоят из концентрических областей, разделенных тонкими границами шириной 5-10 нм. Структура коронкового дентина у детей в возрасте 14 лет показана на рисунке 2. Тонкая фольга имеет слоистую морфологию, как и коронковый дентин в возрасте 13 лет: четыре слоя хорошо видны на рисунке 2а. Такой дентин находится в аморфном состоянии, поскольку на дифракции отчетливо виден диффузное гало (см. правый верхний угол на рисунке 2а). Ячеистая структура также обнаружена в тонкой фольге дентина. Их характеристики, включая диаметр ячеек и ширину границ, остаются теми же самыми для коронкового дентина в 13-летнем возрасте (рис. 2б). Особенности подструктуры тонкой фольги изучаются с помощью изменения фокуса в изображении. Изображение структуры на рисунке 2б, сфокусированное на краю фольги изображение, приведено на рисунке 2в. В этом случае

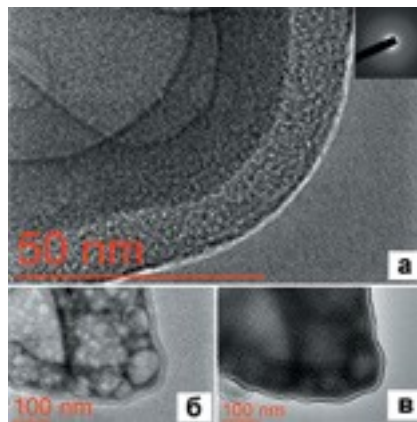


Рис. 2. Структура коронкового дентина, пациента возраста 14 лет, на наномасштабе: а – увеличение x100K; б, в – увеличение x300K

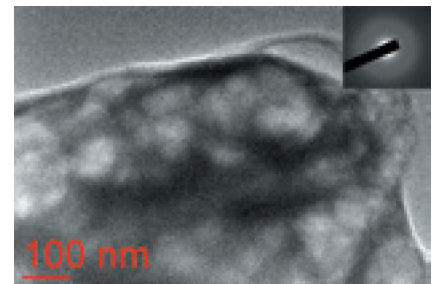


Рис. 3. Структура корневого дентина, пациента возраста 13 лет, на наномасштабе (увеличение x100K)

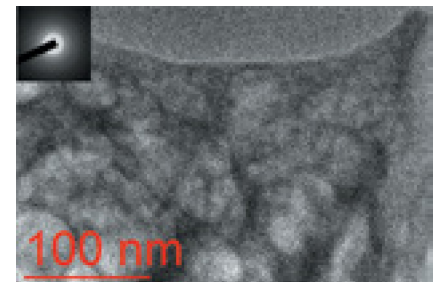


Рис. 4. Структура корневого дентина, пациента возраста 14 лет, на наномасштабе (увеличение x100K)

ячейки круглой формы наблюдаются в одиночных слоях фольги. Их диаметр варьируется от 20 нм до 50 нм, тогда как ширина границ между ячейками составляет 5-10 нм. Тонкая структура не наблюдалась ни внутри круглых ячеек, ни в границах ячеек. Однако иногда перекрытие ячеек в соседних слоях можно представить, как существование субструктуры в некоторых ячейках. Изображения корневого дентина в первых премолярах у детей в 13 и 14 лет показаны на рисунках 3 и 4. Не обнаружено достаточных различий между тонкими фольгами корневого дентина в зубах у детей в возрасте 13 и 14 лет. Толщина тонкой фольги корневого и коронкового дентина равна. Первое, на что следует обратить внимание: корневой дентин обладает самым слабым контрастом даже по сравнению со слабо контрастным коронковым дентином у детей в 13 лет. Диффузное гало на дифракции подтверждает, что коронковый дентин находится в аморфном состоянии в зубах у детей в возрасте 13 и 14 лет. Тонкая фольга корневого дентина имеют сходную с коронковым дентином слоистую морфологию. В тонкой фольге корневого дентина имеются концентрические ячейки диаметром 50-100 нм, окруженные нечеткими темными границами (ширина 20-40 нм). Ячейки,

принадлежащие к разным слоям, не могут быть разрешены из-за слабой контрастности изображений. Сильное размытие изображений делает невозможным наблюдение тонкой структуры внутри ячеек в одном слое фольги. Известно, что кальций и фосфор являются основой для синтеза гидроксиапатита кальция во время дентиногенеза. В результате контраст ПЭМ-изображений дентина в премолярах у детей в 13-14 лет должен зависеть от концентрации этих элементов в тонкой фольге. Согласно экспериментальным данным, ПЭМ-изображения коронкового дентина являются более контрастными, чем изображения корневого дентина. Следовательно, можно предположить, что концентрации Са и Р в тонких фольгах коронкового дентина выше, чем в корневом дентине.

Процедура приготовления образца включает химическую полировку тонкой фольги в ортофосфорной кислоте в течение 45 минут. Результаты травления должны зависеть от исходного биохимического содержания матрицы дентина. ПЭМ-адсорбционный контраст дентина зависит от двух причин. Первая – это различная толщина прозрачных участков тонкой фольги, а вторая – неоднородное распределение химических элементов в тонкой фольге. По-видимому, первая причина должна быть проигнорирована, поскольку при приготовлении тонкой фольги дентина в концентрированной ортофосфорной кислоте питтинг не наблюдался. Следовательно, неоднородный адсорбционный контраст тонкой фольги возникает из-за неоднородности химического состава дентина. Известно, что твердые ткани зубов содержат значительные количества кальция и фосфора, которые являются основой для неорганической (гидроксиапатитной) фазы. Естественно, что такие тяжелые элементы как Са и Р поглощают электроны более интенсивно, чем легкие элементы биологических тканей, такие как С, О, Н. Элементный анализ EDXS тонкой фольги подросткового дентина проводился для исследования концентраций кальция и фосфора в коронке и корне зубов. Анализ показал, что тонкая фольга, полученная из коронкового дентина первых премоляров содержит значительное количество Са и Р в равной пропорции (табл. 1). При этом фосфор практически отсутствует в тонких фольгах

Таблица 1. Содержание Р и Са в коронковом дентине, пациента возраста 13 лет (по данным EDX анализа)

Elenent	Peak Area	Area Sigma	k Factor	Abs Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
P K	718	49	0.992	1.000	66.98	2.46	72.41
Ca K	375	33	0.935	1.000	33.02	2.46	27.59

Таблица 2. Содержание Р и Са в коронковом дентине, пациента возраста 14 лет (по данным EDX анализа)

Elenent	Peak Area	Area Sigma	k Factor	Abs Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
P K	1071	64	0.992	1.000	54.69	2.06	60.97
Ca K	940	55	0.935	1.000	45.31	2.06	39.03

Таблица 3. Содержание Р и Са в корневом дентине, пациента возраста 13 лет (по данным EDX анализа)

Elenent	Peak Area	Area Sigma	k Factor	Abs Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
P K	31	16	0.992	1.000	0.00	0.00	0.00
Ca K	1177	58	0.935	1.000	100.00	0.00	100.00

Таблица 4. Содержание Р и Са в корневом дентине, пациента возраста 14 лет (по данным EDX анализа)

Elenent	Peak Area	Area Sigma	k Factor	Abs Corr.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
P K	40	16	0.992	1.000	7.55	2.82	9.56
Ca K	521	40	0.935	1.000	92.45	2.82	90.44

корневого дентина, а концентрация Са сравнима с его концентрацией в тонкой фольге коронкового дентина (табл. 1). Вероятно, это связано с тем, что биоорганические соединения фосфора в корневом дентине полностью растворяются при химическом утонении тонкой фольги в концентрированной ортофосфорной кислоте.

ПЭМ-исследование показало, что дентин в зубах у детей в 13-14 лет находится в аморфном состоянии. Дентин представляет собой стопку тонких слоев, которые ориентированы обычно перпендикулярно основной оси зуба. В одиночном слое имеются ячейки с наноразмерами без подструктуры. Каждая ячейка отделена от дентинной матрицы узкими границами, которые не имеют тонкой структуры. ПЭМ-изображения коронкового дентина являются более контрастными, чем ПЭМ-изображения корневого дентина, поскольку концентрация такого тяжелого элемента, как фосфор, падает до нуля в тонкой фольге корневого дентина по сравнению с коронковым дентином. В предыдущей работе [11] изучалась структура коронкового дентина в первых постоянных премолярах у пациентов в 16-18 лет на нанометровом масштабе.

Эта твердая ткань находилась в аморфном состоянии и имела слоистую морфологию. Было выявлено небольшое количество гексагонально зернистых наноразмерных частиц в тонкой фольге дентина первых премоляров у пациентов в 16-18 лет. Это означает, что нанокристаллическая фаза гидроксиапатита кальция начинает формироваться в матрице дентина в этом возрасте. Концентрические ячейки, окруженные узкими темными границами, располагались в тонких фольгах, как это имело место в дентине у детей в 13-14-летнем возрасте. Однако в отличие от дентина в 13-14-летнем возрасте, темные границы между ячейками в коронковом дентине в 16-18-летнем возрасте обладали тонкой структурой. Было показано, что эти границы состоят из темных волокон толщиной 5 нм, которые имеют тенденцию переплетаться между

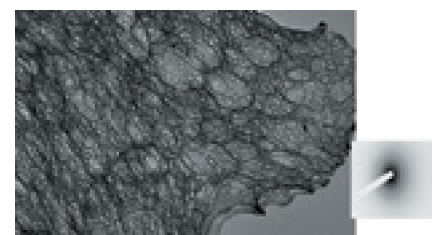


Рис. 5. Сетка коллагеновых волокон в подростковом коронковом дентине (16 лет)

собой (рис. 5). Было сделано заключение, что темные волокна являются коллагеновыми волокнами. Ранее было показано, что белковые волокна появляются в некоторых биоорганических матрицах в процессе эволюции [10]. Поэтому можно предположить, что коллагеновые волокна формируются в матрице дентина после появления постоянных зубов. Одновременно минеральная фаза начинает появляться в дентине первых премоляров в возрасте 16-18 лет, несмотря на то что твердая ткань находится в аморфном состоянии. С возрастом структура, состоящая из нанокристаллитов гидроксиапатита кальция, формируется в дентине зубов в возрасте 30-40 лет, а структурное состояние зрелого дентина становится рентгеноаморфным [7]. Следует отметить, что средний размер кристаллита гидроксиапатита кальция (40 нм) близок к размеру круглой ячейки в дентине премоляров у детей. Между дентином у лиц 16-18 лет и дентином у лиц в возрасте 30-40 лет, где наблюдается гидроксиапатитная фаза, не

было обнаружено различия в химическом травлении концентрированной ортофосфорной кислотой. Однако попытка применить разработанную методику для получения тонкой фольги из эмали зуба, которая состоит из 97% гидроксипатита кальция, не привела к успеху, поскольку эмаль растворялась в кислоте в течение нескольких секунд. Причина того, что зрелый дентин, содержащий 50% гидроксипатита кальция, не растворяется в кислоте подобно зубной эмали, может быть то, что нанокристаллиты гидроксиапатита кальция расположены между соседними отдельными слоями биоорганической дентинной матрицы, которые защищают его от агрессивной среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Дентин в постоянных зубах у детей в возрасте 13-14 лет (первых премолярах) находится в аморфном состоянии.

Коронковый и корневой дентин в первых постоянных премолярах у детей в возрасте 13-14 лет имеют слоистую морфологию.

Выявлено незначительное присутствие фосфора в корневом дентине премоляров в возрасте 13-14 лет. Концентрация Са в коронковом и корневом дентине первых премоляров находится практически в равных соотношениях. Выявлено, что концентрические ячейки в дентине первых постоянных премоляров (в возрасте 16-18 лет) окружены узкими темными границами. Эти границы (в отличие от первых постоянных премоляров в возрасте 13-14 лет) состоят из темных волокон толщиной 5 нм, которые имеют тенденцию переплетаться между собой являются коллагеновыми волокнами. Таким образом, установлено, что структура дентина (коронкового и корневого) в постоянных зубах у детей проходит длительный этап формирования и минерализации, что необходимо учитывать при планировании тактики лечения кариеса в постоянных зубах у детей.

Благодарность: Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-19-10007, ППЕ) и РФФИ (грант № 15-08-04073а, КАВ).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бимбас Е. С., Сайпеева М. М., Шишмарева А. С. Сроки прорезывания постоянных зубов у детей младшего школьного возраста // Проблемы стоматологии. 2016. Т. 12. №2. С. 111-115.
2. Bimbas E. S., Sajpееva M. M., Shishmareva A. S. Sroki prorezyvaniya postojannyh zubov u detej mladshogo shkol'nogo vozrasta // Problemy stomatologii. 2016. T. 12. №2. S. 111-115.
3. Гарифуллина А. Ж., Скрипкина Г. И., Солоненко А. П., Колобова Д. О., Тимирбаева Э. Р. Клиническая оценка эффективности воздействия профилактического неокрашенного лака с аминфторидом на минерализацию эмали фиссур постоянных зубов у детей // Стоматология детского возраста и профилактика. 2016. Т. 15. №2 (57). С. 23-25.
4. Garifullina A. Zh., Skripkina G. I., Solonenko A. P., Kolobova D. O., Timirbaeva E. R. Klinicheskaja ocenka jeffektivnosti vozdejstvija profilakticheskogo neokrashennogo laka s aminofloridom na mineralizaciju jemali fissur postojannyh zubov u detej // Stomatologija detskogo vozrasta i profilaktika. 2016. T. 15. №2 (57). S. 23-25.
5. Леонтьев В. К., Кисельникова Л. П. Детская терапевтическая стоматология. Национальное руководство. – М., 2017. – 950 с.
6. Leont'ev V. K., Kisel'nikova L. P. Detskaja terapevticheskaja stomatologija. Nacional'noe rukovodstvo. – M., 2017. – 950 s.
7. Николаев А. И., Романов А. М., Доченко А. В., Лобовкина Л. А., Галанова Е. И. Биологические аспекты лечения кариеса жевательных зубов с незрелым дентином // Стоматология детского возраста и профилактика. 2018. №2. С. 54-58.
8. Nikolaev A. I., Romanov A. M., Docenko A. V., Lobovkina L. A., Galanova E. I. Biologicheskie aspekty lechenija kariesa zhevatel'nyh zubov s nezrelym dentinom // Stomatologija detskogo vozrasta i profilaktika. 2018. №2. S. 54-58.
9. Степанова Т. С., Кузьминская О. Ю., Степанов С. В. Применение классических стеклоиономерных цементов для сэндвич-техники в постоянных зубах с незавершенной минерализацией твердых тканей у детей // Стоматология детского возраста и профилактика. 2018. №1. С. 21-25.
10. Stepanova T. S., Kuz'minskaja O. Ju., Stepanov S. V. Primenenie klassicheskikh stekloionomernyh cementov dlja sandwich-tehniki v postojannyh zubah s nezavershennoj mineralizaciej tverdyh tkanej u detej // Stomatologija detskogo vozrasta i profilaktika. 2018. №1. S. 21-25.
11. Янушевич С. О., Гюева Ю. А., Гордина Е. С., Порохина Е. В., Дроботко Л. Н. Оценка влияния стадий формирования корней постоянных зубов на изменение лицевого черепа у пациентов с мезиальной окклюзией в возрасте с 6 до 15 лет // Ортодонтия. 2017. №2. С. 22-26.
12. Janushevich S. O., Gioeva Ju. A., Gordina E. S., Porohina E. V., Drobot'ko L. N. Ocenka vlijanija stadij formirovaniya kornej postojannyh zubov na izmenenie licevogo cherepa u pacientov s mezial'noj okkluziej v vozraste s 6 do 15 let // Ortodontija. 2017. №2. S. 22-26.
13. Arvind Jain, Vandana Jain, Sheenu Malik Suri, Ashish Saxena. The study of Teeth eruption in female children of Malwa Region A Correlation with age // International Archives of Integrated Medicine. 2015. Vol. 2. Issue 2. P. 108-111.
14. Hirsch P. B. Electron microscopy of thin crystals. – Krieger Publishing Company, 1977.
15. Kiselnikova L., Shevchenko M. The degree of circum-pulpal dentine mineralization in permanent teeth of children and adults // Zbornik Radova 6. Kongress Stomatologa Vojvodine. 2015. P. 52-53.
16. Lyles R. L., Wilsdorf H. GG. R. Microcrack nucleation and fracture in silver crystals // Acta Metallurgica. 1975. №23 (2). P. 269-277. – doi: 10.1016/0001-6160(75)90192-3.
17. Panfilov P., Zaytsev D., Antonova O. V., Alpatova V., Kiselnikova L. P. The difference of structural state and deformation behavior between teenage and mature human dentin // International journal of biomaterials. 2016. – doi: 10.1155/2016/6073051.

Поступила 19.10.2018

Координаты для связи с авторами:
620026, г. Екатеринбург,
ул. Куйбышева, д. 48
E-mail: shevchemaksim@yandex.ru