

более чем на 95% состоит из минералов, в верхних слоях аморфна. По мере приближения к эмалево-дентинной границе минерализация эмали и ее плотность уменьшаются, что позволяет ей более активно компенсировать напряжения. Дентин коронковой части содержит до 72% минеральных веществ.

Созданный природой минеральный состав и морфологическая ориентация материалов, образующих твердые ткани зуба, сформировались под действием нагрузки на зубы – дробление и пережевывание пищи. При любой нагрузке от пищевого комка включается механизм компенсации напряжений и деформаций от эмали зуба до губчатого вещества челюстей и черепа. Нагрузка на зуб вызывает напряжения и деформации,

передаваемые от кристаллов эмали к призме, затем через дентиноэмалевую границу к дентину и т. д. На ультра-, микро- и макроуровнях включается новый механизм компенсации напряжений, что не позволяет разрушиться всей зубочелюстной системе. Такое строение твердых тканей зуба препятствует возникновению на границах между ними паразитарных, а в последующем разрушающих напряжений и сохраняет твердые ткани зуба в течение многих лет. Задача стоматолога – подобрать такой пломбирочный материал, который бы встраивался в сложившуюся систему и адекватно выполнял свою функцию.

Поступила 11.09.12

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2014
УДК 616.314.13-076.5

Г.И. Рогожников¹, К.П. Казымов², В.А. Четвертных¹, Н.Б. Асташина¹, А.Е. Спиридонова¹, А.Г. Рогожников¹

МОРФОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ СТИРАЕМОСТИ

¹ГБОУ ВПО «Пермская государственная медицинская академии им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава России, Пермь; ²ГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь

Представлены результаты оценки морфологических изменений, формирующихся в твердых тканях зубов в различных стадиях повышенной стираемости зубов, с помощью электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа. Результаты исследования показали, что морфологически четкой грани между физиологической стираемостью и начальной степенью повышенной стираемости твердых тканей зубов не существует. При 2-й и 3-й степени стираемости достаточно быстро развиваются необратимые изменения структуры тканей зуба. Усредненные значения Ca/P-коэффициента в эмали всех образцов были меньше величины 1,67, характерной для стехиометрического гидроксиапатита, что подтверждает дефицит кальция в эмали с повышенной стираемостью.

Ключевые слова: повышенная стираемость зубов; электронная микроскопия; микронзондовый анализ; морфологическая структура тканей зуба.

G.I. Rogozhnikov, K.P. Kazymov, V.A. Chetvertnykh, N.B. Astashina, A.E. Spiridonova, A.G. Rogozhnikov

MORPHOSTRUCTURAL CHANGES OF HARD TISSUES OF TEETH WITH VARYING DEGREES OF ABRASION

¹Acad. E.A. Wagner State Educational Institution of Higher Professional Education «Perm, State Medical Academy. Russian Ministry of Health», Perm, ²State Educational Institution of Higher Professional Education «Perm State National Research University»

The article presents the results of morphological changes which are formed in tooth tissues at different stages of increased dental abrasion development. As a result of the conducted research, no morphologically distinct boundary between physiological abrasion and the early stage of increased hard tissues dental abrasion was determined. Irreversible changes in the structure of hard dental tissues and pulp take place at the second and the third stages. Averaged values of Ca / P-ratio of all the samples in the enamel is less than 1.67 of the stoichiometric hydroxyapatite characteristic that confirms calcium deficiency with increased abrasion of the enamel.

Key words: increased dental abrasion; electron microscopy; electron microprobe analysis; morphological structure of the dental tissues.

Введение

В настоящее время распространенность некариозных поражений зубов, возникающих после прорезывания, составляет от 64,4 до 72,9% [1]. Наиболее частыми причинами повышенной стираемости зубов являются морфологическая неполноценность, функциональная недостаточность твердых тканей зубов, перегрузка зубов, химическое воздействие, профессиональные вредности [2–4].

В современной литературе подробно описана клиническая картина повышенной стираемости твердых тканей зубов [1, 5–8], при этом определен инте-

рес специалистов вызывают возможности применения современных методов исследования для оценки морфофункционального состояния зубочелюстной системы при локализованной повышенной стираемости твердых тканей зубов.

Цель исследования – изучить наибольшие в морфологическом отношении изменения твердых тканей при повышенной стираемости зубов с помощью электронной микроскопии и электронно-зондового микроанализа.

Задачи исследования состояли в изучении изменения структуры твердых тканей зубов в зависимости

от степени их стирания и оценке химического состава зубов с повышенной стираемостью посредством рентгеноспектрального локального анализа.

Электронно-микроскопические исследования выполнены на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390LV («Jeol», Япония) с электронно-зондовыми приставками для локального рентгеноспектрального анализа INCA Energy 350 («Oxford Instruments», Великобритания).

Проанализировано 10 электронных микрофотографий поверхностей зубов с различными стадиями повышенной стираемости твердых тканей при увеличении исследуемого объекта в 500–2000 раз. Поверхность зубов напылялась углеродом на установке JEE 420 («Jeol», Япония).

Материал и методы

Для оценки состояния твердых тканей зубов нами применен комплекс методов, позволяющий получить наиболее полную характеристику объектов исследования [9, 10] и включающий растровую электронную микроскопию и локальный электронно-зондовый (рентгеноспектральный) анализ.

Все электронно-зондовые методы исследования основаны на анализе сигналов, которые возникают при попадании электронного пучка (так называемого электронного зонда) в объект. При этом наблюдаются явления упругого и неупругого рассеяния электронов падающего пучка. Энергия падающего пучка для растрового электронного микроскопа (РЭМ) – от 5 до 50 кэВ.

В РЭМ тонкий пучок высокоэнергетических электронов фокусируют на поверхность образца и затем сканируют по поверхности. Наиболее часто для получения изображения используют сигнал низкоэнергетических вторичных электронов, выбиваемых из поверхности образца пучком первичных электронов (неупругое рассеяние).

Вторичные электроны собираются с очень высокой степенью эффективности (близкой к 100%) управляющей сеткой (запирающим напряжением) и направляются на детектор вторичных электронов. С него полученный сигнал после усиления трансформируется в изображение на экране монитора. Благодаря малому размеру сфокусированного электронного пучка (электронного зонда) разрешение РЭМ (до 3 нм) и большая глубина резкости позволяют получить контрастные изображения морфологических элементов объектов размером 1–10 мкм.

На поверхность образца для увеличения электропроводности (снятия электростатического напряжения) напыляется тонкопроводящий слой из углерода.

Электронно-зондовый микроанализ, или рентгеноспектральный локальный анализ (РЛА), в настоящее время является одним из основных методов изучения вещества. Он позволяет проводить количественное определение химического состава минералов в диапазоне элементов от В ($Z=4$) до U ($Z=92$). Объемная локальность метода – несколько микрометров в кубе. Абсолютная чувствительность метода составляет 10^{-8} – 10^{-15} г. При выбивании электрона с внутренних электронных оболочек атомов (K-, L- или

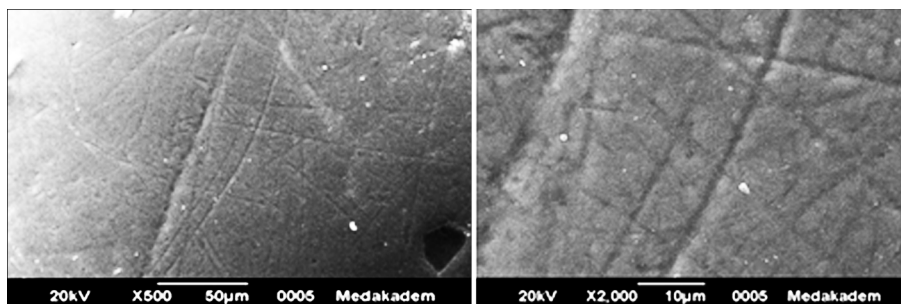


Рис. 1. Эмаль без признаков повышенной стираемости.

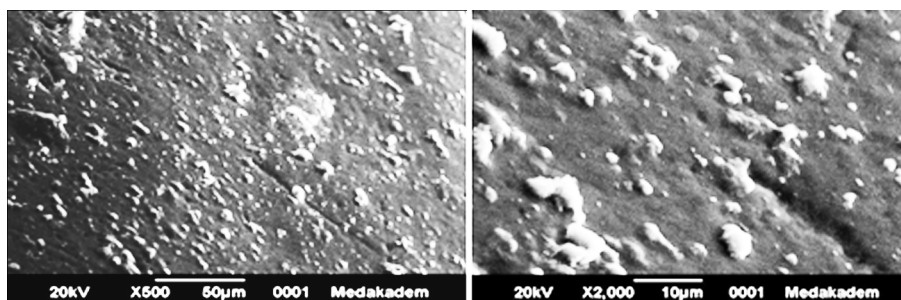


Рис. 2. Повреждение эмали с образованием дефектов различных размеров и глубины – стираемость 1-й степени.

М-оболочек) атом переходит в возбужденное состояние. Затем электронная вакансия заполняется одним из наружных электронов, а выделившаяся при этом энергия преобразуется в характеристическое рентгеновское излучение. Каждый химический элемент имеет строго определенную энергию и длину волны рентгеновского излучения. На этом основан количественный РЛА с дисперсией по энергиям (электродвижущая сила).

Таким образом, растровая электронная микроскопия, на наш взгляд, позволит определить наиболее ранние деструктивные изменения, появляющиеся при деминерализации в поверхностных слоях твердых тканей зубов, и изменение химического состава поверхностной зоны зубов.

Электронно-микроскопический и электронно-зондовый анализы выполнены на базе геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета на кафедре минералогии и петрографии.

Результаты и обсуждение

Электронно-микроскопические снимки поверхности эмали и дентина с различной степенью повышенной стираемости имеют следующие особенности.

Поверхность эмали без признаков стирания имеет сглаженный рельеф, хотя на ней присутствуют выпуклые и вогнутые участки (рис. 1). На этом рисунке показана ровная поверхность зуба с плотной, массивной структурой, но со следами довольно сильного механического воздействия – бороздами, царапинами, мелкими углублениями, кавернами. Результатов химического разрушения не наблюдается. Химический состав стехиометрически весьма близок чистому апатиту (см. таблицу, зуб 1.1) [11]. Пониженные значения содержания кальция обусловлены замещением последнего на стронций и натрий (гетеровалентный изоморфизм) в исходном субстрате зуба.

На поверхности зуба с 1-й степенью стираемости (рис. 2) в области эмали сформирована тонкофибрил-

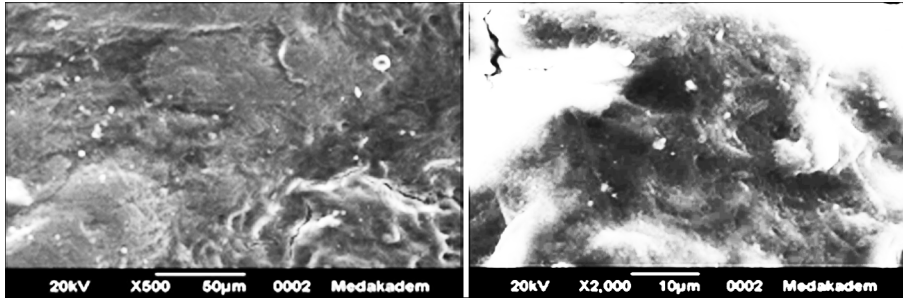


Рис. 3. Трещины, идущие в различных направлениях, – стираемость 2-й степени.

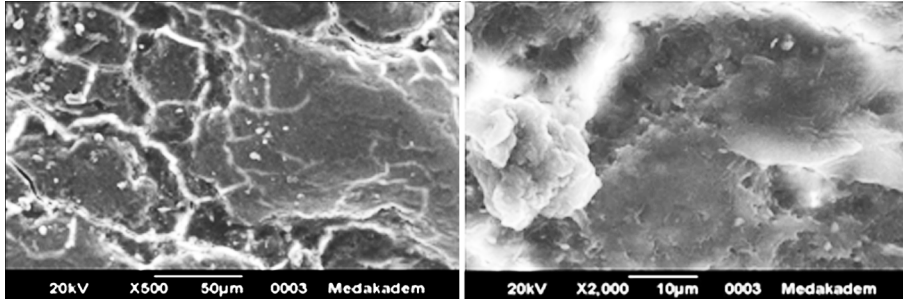


Рис. 4. Участки дентина со значительным его повреждением и отсутствием эмали – стираемость 3-й степени.

лярная сеть, повторяющая ход эмалевых призм. Отмечается рыхлая структура ткани, что объясняется частичным нарушением структуры самих призм и межпризменных пространств. Это приводит к раннему разрушению фибриллярных структур с кристаллами гидроксиапатита, в результате образуются зоны просветления эмали. Структура поверхности зуба при 1-й степени стираемости (см. рис. 2) относительно плотная, массивная, при малых увеличениях (500), но

обретая вид истонченных полосок. Эмалевые пучки, имеющие в норме вид мелких конусовидных образований, обращенных узкой частью к дентину, изменяются в строении и напоминают отдельные скопления фибрилл. В химическом составе поверхности зуба заметных изменений не наблюдается. Стронций и натрия замещают кальций в структуре апатита. Стехиометрическое соотношение главных компонентов апатита CaO и P₂O₅ сохраняется (см. таблицу, зуб 3.1).

Таблица 1. Химический состав неорганических компонентов твердых тканей зубов (в масс.%)

Компоненты	Номер зуба (номер анализа)									
	1.1	2.1	2.2	2.3	3.1	4.1	4.2	4.3	4.4	
Na ₂ O	1,23	1,78	1,64	1,33	1,84	0,00	3,48	4,24	5,13	
MgO	0,37	0,6	0,67	0,63	0,64	1,31	1,39	2,95	6,30	
Al ₂ O ₃	0,14	0,12	0,07	0,08	0	0,34	0	0	0	
P ₂ O ₅	46,24	47,28	45,58	45,47	48,87	45,39	49,32	52,17	42,07	
SO ₃	0	0	0	1,33	0	0,58	0,46	4,72	12,29	
K ₂ O	0	0	0,13	0,00	0	0,10	0	0	0	
CaO	47,92	49,89	48,46	46,01	44,52	46,46	38,86	32,13	30,13	
Rb ₂ O	0,75	0	0,67	0,7	0,81	0,22	0	0,31	0	
SrO	2,46	0	2,31	2,39	2,51	0,68	0	0	0	
Cs ₂ O	0	0	0	0	0	2,27	0	0	0	
FeO	0	0	0	0	0	0	0,21	0	0	
ZrO ₂	0	0	0	0	0	0	2,21	0	0	
WO ₃	0	0	0	0	0	0	2,05	3,05	0	
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CoO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	4,09	
Сумма	99,11	99,67	99,53	97,94	99,19	97,35	97,98	99,57	100,01	

При 3-й степени стираемости (рис. 4) изменения в тканях становятся необратимыми. В зонах, где сохранялась эмаль, отмечается мелкоглыбчатый распад призм. В ряде участков призма неразличима, заметна отслойка эмали от дентина. Стертость первичного дентина настолько велика, что достигает значений вторичного дентина. Заметно истончение цемента, что, возможно, связано с общими явлениями деминерализации зубов при стирании и нарушении структуры периодонта. На рис. 4 показана поверхность зуба с серьезными морфологическими изменениями кристаллов гидроксиапатита. Хорошо различима субгексагональная структура микрокристаллов, оконтурированных белым межкристаллическим веществом. Размер микрокристаллов ≈ 50 мкм (×500). При большом увеличении (2000) наблюдается микрочешуйчатое отслоение микрокристаллов гидроксиапатита с глубокими каналами химического травления и резорбированными гранями микрокристаллов.

По данным рентгеноспектрального микрозондового анализа среднее со-

держание химических элементов в исследованных образцах эмали колеблется в следующих пределах (в масс.%): кальций – 31,82–37,66, фосфор – 18,02–19,33, магний – 0,2–0,84, натрий – 0,97–2,58, фтор – 0,2–0,35, хлор – 0,22–0,63 (см. таблицу).

Выводы

1. Усредненные значения Са/Р-коэффициента в эмали всех образцов меньше величины 1,67, характерной для стехиометрического гидроксипатита, что подтверждает дефицит кальция в эмали с повышенной стираемостью.

2. Морфологически четкой грани между физиологической стираемостью и начальной степенью повышенной стираемости твердых тканей зубов не существует. При 2-й и 3-й степени стираемости достаточно быстро развиваются необратимые изменения структуры тканей зуба.

3. Разработка методов профилактики и эффективного ортопедического лечения пациентов с повышенной стираемостью зубов – актуальная задача современной стоматологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макеева И.М., Бякова С.Ф., Чуев В.П., Шевелюк Ю.В.* Электронно-микроскопическое исследование твердых тканей зуба при клиновидных дефектах. *Стоматология*. 2009; 4: 39–42.
2. *Цимбалитов А.В., Пихур О.Л., Франк-Каменецкая О.В., Голубцов В.В., Плоткина Ю.В.* Результаты исследования морфологического строения, химического состава и параметров кристаллической решетки апатитов твердых тканей зубов. *Институт стоматологии*. 2004; 2: 60–3.
3. *Рогожников Г.И., Леонова Л.Е., Щербakov А.С.* Повышенная стираемость твердых тканей зубов. М.: 1995.
4. *Radz G.M.* Enhancing the esthetics through addition: Noprep porcelain veneers. *Oral Health J.* 2009; 3: 23–30.
5. *Рогожников Г.И., Щербakov А.С., Асташина Н.Б.* и др. Реставрация твердых тканей зубов вкладками. М.: «Медицинская книга»; 2002.
6. *Цимбалитов А.В., Войтяцкая И.В., Пихур О.Л.* Повышенная стираемость твердых тканей зубов. Клиническая картина, морфологическое и кристаллохимическое строение. *Клиническая стоматология*. 2005; 2: 12–4.
7. *Кузьмина Э.М.* Повышенная чувствительность зубов. М.: 2003.
8. *Johansson A.K.* On dental erosion and associated factors. *Swedish Dental J. Suppl.* 2002; 156: 1–77.
9. *Боровский Е.В., Леонтьев В.К.* Биология полости рта. Медицинская книга. М.; 2001.
10. *Каламкарров Х.А.* Ортопедическое лечение повышенной стираемости твердых тканей зубов. Медицинская книга. М.; 2004.
11. *Мандра Ю.В., Ронь Г.И., Вотяков С.Л.* Экспериментально-клиническое обоснование выбора материалов и метода эстетико-функциональной реставрации зубов при повышенной стираемости. *Научные исследования в стоматологии*. 2008; 4: 72–3.

REFERENCES

1. *Makeeva I.M., Bjakova S.F., Chuev V.P., Sheveljuk Yu.V.* *Stomatologiya*. 2009; 4: 39–42 (in Russian).
2. *Tsimbalistov A.V., Pikhur O.L., Frank-Kameneckaya O.V., Golubtsov V.V., Plotkina Yu.V.* Results of the study of the morphological structure, chemical composition and lattice parameters of apatite hard tissues of teeth. *Institut stomatologii*. 2004; 2: 60–3 (in Russian).
3. *Rogozhnikov G.I., Leonova L.E., Shcherbakov A.S.* Increased abrasion of hard dental tissues. Moscow; 1995 (in Russian).
4. *Radz G.M.* Enhancing the esthetics through addition: Noprep porcelain veneers. *Oral Health J.* 2009; 3: 23–30.
5. *Rogozhnikov G.I., Shcherbakov A.S., Astashina N.B.* Restoration of hard dental tissues tabs. М.: «Medicinskaja kniga». Moscow; 2002 (in Russian).
6. *Tsimbalistov A.V., Voytyatskaya I.V., Pikhur O.L.* P Increased abrasion of hard dental tissues. The clinical picture, morphology and crystal structure. *Klinicheskaya stomatologiya*. 2005; 2: 12–4 (in Russian).
7. *Kuz'mina Ye.M.* Tooth sensitivity. Moscow; 2003 (in Russian).
8. *Johansson A.K.* On dental erosion and associated factors. *Swedish Dental J. Suppl.* 2002; 156: 1–77.
9. *Borovskiy E.V., Leont'ev V.K.* Oral biology. *Medicinskaja kniga*. М.; 2001: 304.
10. *Kalamkarov Kh.A.* Orthopaedic treatment increased abrasion of hard tissues of the tooth. *Medicinskaja kniga*. 2004.
11. *Mandra Yu.V., Ron' G.I., Votyakov S.L.* Experimental and clinical rationale for the choice of materials and the method of aesthetic and functional restorations at high abrasion. 2008; 4: 72–3.

Поступила 05.12.13