

УДК 616.311.2-002

*А.В. Цимбалистов, О.Л. Пихур, М.А. Дубова, Р.А. Садиков, О.В. Франк-Каменецкая,
О.А. Голованова, Л.В. Бельская*

МОРФОЛОГИЯ И СОСТАВ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ И ЗУБНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИ ГЕНЕРАЛИЗОВАННОМ ПАРОДОНТИТЕ*

Система поддержания гомеостаза организма сложна по механизмам и строится на практически бесконечном разнообразии его компенсаторно-приспособительных реакций [1]. Их изучают в различных аспектах — физиологическом, морфологическом, биохимическом, иммунологическом, генетическом. За последние 20–30 лет в связи со значительным прогрессом методов структурного анализа процессов жизнедеятельности и с расширением спектра применяемых методов исследования учение о компенсаторно-приспособительных реакциях организма стало существенно меняться, все более наполняясь морфологическим содержанием и утрачивая свой былой, односторонне функциональный характер [2]. Результаты этих исследований стали важным вкладом в теорию адаптации организма к меняющимся условиям окружающей среды.

Имеющиеся литературные данные о характере изменений твердых тканей зубов при генерализованном пародонтите крайне скудны [3]. В большинстве работ по изучению морфологических изменений при этом заболевании основное внимание уделяется изучению окружающих зуб мягких тканей [4, 5 и др.].

В ряде работ отражены результаты исследования морфологических изменений в пульпе зуба при заболеваниях пародонта [6–9 и др.]. Многие авторы делают вывод, что в терминальной стадии развития заболевания выявляется массовая гибель клеточных элементов пульпы и отростков одонтобластов. Подобные изменения неминуемо нарушают транспортные процессы в одонтоблестах, что приводит к нарушению минерализации дентина. Следствием этого является некроз пульпы, который, по мнению большинства авторов, часто протекает асептически. Известно, что при генерализованном пародонтите тяжелой степени в корневой канал зуба могут проникать микроорганизмы, способные сохраняться там независимо от проведенной антибактериальной терапии [10].

Данные о морфологической структуре твердых тканей зубов при генерализованном пародонтите, как отмечалось ранее, в литературных источниках встречаются редко. Некоторые авторы [11] отмечают повышение микротвердости эмали при прогрессировании заболевания.

Практически всеми исследователями подчеркивается, что при заболеваниях пародонта происходит отложение над- и поддесневого зубного камня [12]. Некоторые авторы

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 03-05-65278).

© А.В. Цимбалистов, О.Л. Пихур, М.А. Дубова, Р.А. Садиков, О.В. Франк-Каменецкая, О.А. Голованова, Л.В. Бельская, 2006

в своих работах дают представление о составе зубных камней и механизмах камнеобразования [13, 14], но такие исследования немногочисленны.

Материал и методы исследования. В качестве материала исследования использованы зубы пациентов обоего пола в возрасте 40–65 лет (76 образцов), удаленные по медицинским показаниям (III степень подвижности и обострение пародонтита), и зубные камни больных генерализованным пародонтитом (85 образцов). Изучение морфологического строения, минерального и химического состава твердых тканей зубов проводили методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), рентгеновской порошковой дифрактометрии, ИК-спектроскопии, рентгеноспектрального микрозондового анализа (РМА) и другими методами химического анализа. Для исследования минерального и элементного химического состава зубных камней использовали методы рентгенофазового анализа (РФА), ИК-спектроскопии, рентгеновской флуоресценции. Аминокислотный состав зубных камней определяли на основе классического гидролиза по методу Мура и Штейна с последующим хроматографированием полученного гидролизата, предварительно прошедшего стадию дериватизации [15].

Результаты и их обсуждение. Методом РЭМ проведено последовательное изучение поверхности твердых тканей зубов в области жевательной поверхности (режущего края), экватора и эмалево-цементной границы. В результате проведенного исследования значительных изменений на поверхности эмали по сравнению с интактными зубами не обнаружено. На отдельных образцах в области жевательной поверхности встречаются фасетки стертости, на которых видны следы повреждений механического происхождения в виде мелких сколов, царапин и т. д. Поверхность зуба в области экватора (рис. 1) выглядит чистой и достаточно ровной даже при значительном увеличении (ув. $\times 700$ – 2000). Эмалевые призмы не определяются. Однако безпризмennyй рисунок поверхности эмали является типичным и для образцов без признаков патологических изменений.

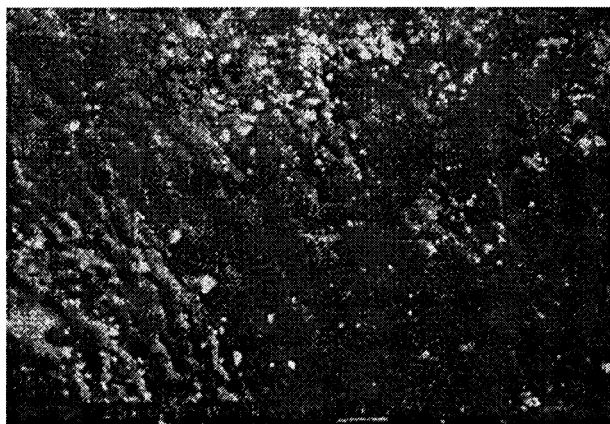


Рис. 1. Поверхность эмали в области экватора зуба при генерализованном пародонте (РЭМ, ув. $\times 200$).

В большинстве наблюдений по мере приближения к анатомической шейке зуба на поверхности эмали обнаруживаются зубные камни различной степени выраженности. Они радиально опоясывают зуб в области шейки и корня, прикрепляясь как к эмали, так

и к цементу. Зубные отложения имеют рыхлую и пористую структуру (рис. 2). Кроме зубных камней на поверхности эмали в ряде наблюдений преимущественно с язычной (небной) стороны поверхности коронок определяется зубной налет (рис. 3). При исследовании области эмалево-цементной границы не выявлено значительных изменений. Граница представляет собой плавный переход от эмали к цементу без признаков деструкции эмали или дентина.

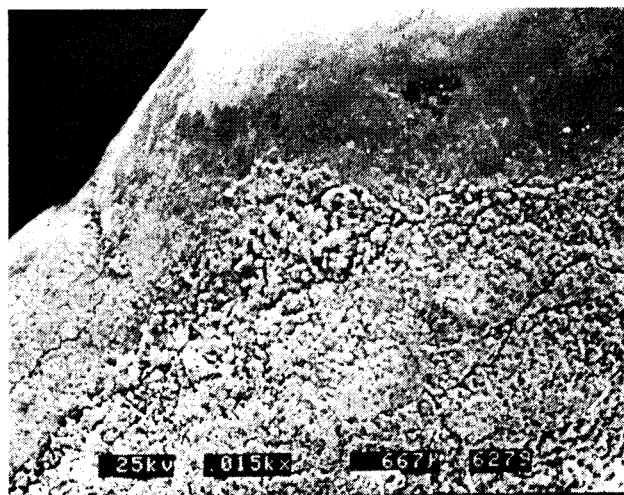


Рис. 2. Зубные отложения при генерализованном парадонте (РЭМ, ув. $\times 150$).

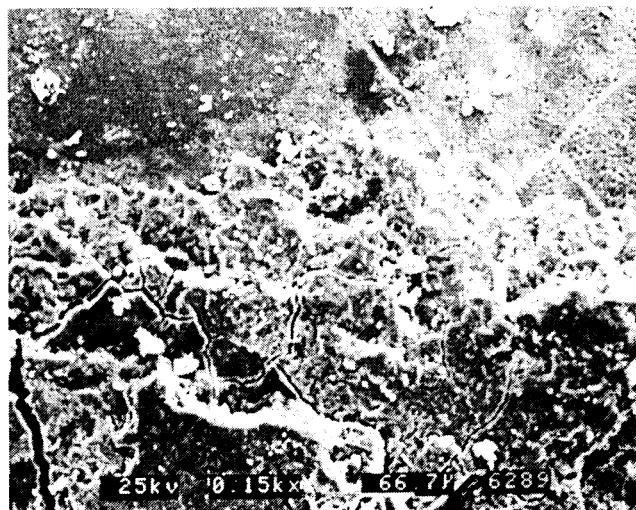


Рис. 3. Зубной налет на эмали с язычной стороны зубов (РЭМ, ув. $\times 150$).

Использование метода РМА позволило определить уровень минерализации эмали и дентина зубов при генерализованном пародонтите (табл. 1). В поверхностном слое эмали средние значения минерализации в области жевательной поверхности или режущего края составляют $93,03 \pm 0,26$ масс.%, в пришеечной области — $93,46 \pm 0,42$; в подлежащем слое эмали — $90,70 \pm 0,51$ и $89,93 \pm 0,99$ масс.% соответственно. Таким образом, поверхностный слой эмали более минерализован, чем подлежащий. Достоверного изменения уровня минерализации поверхностного и подлежащего слоев эмали не происходит.

Исследование уровня минерализации дентина показывает, что при генерализованном пародонтите происходит снижение минерализации плащевого дентина относительно околопульпарного, которое наиболее выражено со стороны жевательной поверхности

Таблица 1

Средние значения уровня минерализации (масс. %) дентина зубов при генерализованном пародонтите

Локализация	Дентин	
	плащевой	околопульпарный
Область жевательной поверхности (режущего края)	$66,48 \pm 0,64$	$70,21 \pm 0,46$
Область экватора	$68,43 \pm 0,71$	$65,82 \pm 0,56$
Пришеечная область	$68,60 \pm 0,49$	$67,69 \pm 0,39$

или режущего края ($65,82 \pm 0,56$ и $70,21 \pm 0,46$ масс. % соответственно). В области экватора зуба уровень минерализации околопульпарного дентина несколько снижается ($66,48 \pm 0,64$ и $67,69 \pm 0,39$ масс. % соответственно), а в пришеечной области эти показатели практически сравниваются ($68,61 \pm 0,49$ и $68,43 \pm 0,71$ масс. % соответственно).

По данным микронзондового анализа среднее содержание кальция в эмали изученных зубов составляет 36,26 масс. %, фосфора — 17,17, натрия — 0,79, магния — 0,24, калия — 0,03, хлора — 0,31, фтора — 0,21, алюминия — 0,02, серы — 0,11, стронция — 0,06 масс.%. Величина коэффициента Ca/P, являющегося критерием кариесрезистентности твердых тканей зубов, варьирует от 1,61 до 1,63.

В дентине среднее содержание кальция — 27,43 масс. %, фосфора — 13,31, магния — 0,83, натрия — 0,65, хлора — 0,05, фтора — 0,01, алюминия — 0,16, серы — 0,12 масс. %. Среднее значение Ca/P-коэффициента в дентине составляет 1,59. Таким образом, усредненные значения Ca/P-коэффициента эмали и дентина всех образцов меньше 1,67, что подтверждает дефицит кальция в апатитах твердых тканей зубов.

Значения параметров элементарной ячейки исследованных апатитов эмали зубов существенно отличаются от значений, характерных для стехиометрического гидроксил-апатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$: $a = 9,418$ Е; $c = 6,884$ Е (ICPDF card 9-432). Величина параметра a варьирует от 9,441 до 9,457 Е; параметра c — от 6,877 до 6,891 Е. Апатиты дентина значительно хуже окристаллизованы по сравнению с апатитами эмали, что проявляется на рентгенограммах снижением интенсивности и увеличением полуширины дифракционных отражений. Значения параметров кристаллической решетки апатитов дентина составляют: $a = 9,445$ Е, $c = 6,886$ Е (погрешность определения $\pm 0,001$ Е).

Результаты химических анализов и ИК-спектроскопии указывают на то, что в структуре изученных апатитов эмали наряду с увеличением доли вакансий в позициях кальция растет число молекул воды, двухвалентных анионов CO_3^{2-} и HPO_4^{2-} , а также анионов

фтора, что характерно для апатитов зубов пациентов старшей возрастной группы. На основе проведенных исследований установлено, что основным минеральным компонентом твердых тканей изученных зубов является нестехиометрический кальцийдефицитный карбонатсодержащий гидроксилapatит, характеризующийся смешанным А–В-типом замещения, т. е. в его структуре часть PO_4 -ионов, а в ряде случаев и OH -групп замещена CO_3 -ионами. Кроме того, в кристаллическую структуру апатита могут изоморфно входить примеси двухвалентных (магния, стронция, вария), одновалентных (натрия, калия) и других катионов, а также одновалентных анионов (фтора, хлора).

Из данных РФА зубных камней следует, что минеральная составляющая большинства из них представлена также гидроксилapatитом. Только в трех образцах вместе с апатитом в подчиненном количестве (5–10 %) обнаружен брушит. На рентгенограммах двух образцов наблюдается существенное повышение фона в малоугловой области, что свидетельствует о значительном количестве в них рентгеноаморфной компоненты. Преобладающее содержание гидроксилapatита в составе зубных отложений можно объяснить более высоким значением pH ротовой жидкости. В исследуемой группе пациентов среднее значение pH слюны составляет $7,28 \pm 0,23$, тогда как брушит образуется при pH 6,5.

Кроме того, по результатам РФА было установлено, что апатиты зубных камней различаются по степени кристалличности. На рентгенограммах большинства образцов (примерно 90 %) наблюдается четкое разделение рефлексов 211, 122 и 300. Апатиты остальных образцов окристаллизованы хуже, и эти рефлексы дают один широкий пик. Вероятно, степень окристаллизованности апатита зависит от содержания органической компоненты и примесей в составе зубных камней.

Данные ИК-спектра (рис. 4) подтверждают фосфатный состав неорганической компоненты зубных камней. На спектрах всех образцов присутствуют полосы поглощения, соответствующие колебаниям P-O -связей (1090 , 1030 , 960 и 630 , 600 и 560 см^{-1}). Линий, характеризующих наличие OH -групп (640 , 3600 см^{-1}), обнаружено не было, что указывает на их дефицит в структуре гидроксилapatита. На всех ИК-спектрах наблюдаются так-



Рис. 4. Типичный ИК-спектр зубного камня.

же полосы С—О-связи: 1460, 1420 и 1550 см⁻¹. Следовательно, исследуемые апатиты являются карбонатсодержащими. Наличие полос 1420, 1460 см⁻¹ говорит о замещении карбонат-ионами PO₄-тетраэдров (замещение В-типа), а полосы 1550 см⁻¹ — о замещении ими OH-групп в каналах структуры апатита (замещение А-типа). По соотношению интенсивностей соответствующих полос на ИК-спектрах число карбонат-ионов, замещающих тетраэдры, в структурах исследуемых апатитов приблизительно в два раза больше, чем OH-групп. Таким образом, с помощью РФА и ИК-спектроскопии установлено, что основная минеральная составляющая зубных камней представлена плохо окристаллизованным кальцийдефицитным карбонат-гидроксилапатитом смешанного типа.

В проанализированных образцах зубных камней были обнаружены 14 микроэлементов (Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Zr, Ag, Sn, I, Ba), содержание которых варьирует от 10⁻⁴ до 10⁻² масс. % (табл. 2). Характерный для апатита широчайший спектр как изовалентных, так и гетеровалентных замещений [16] позволяет предположить вхождение этих примесей в кристаллическую структуру апатита зубных камней. Полученные экспериментальные данные по микроэлементному составу зубных камней подтверждают его зависимость от условий окружающей среды.

Таблица 2

**Элементный химический состав зубных камней
по данным рентгеновской флуоресценции**

Химический элемент	Содержание элемента, масс. %
Fe	0,0178±0,017
Ti	0,0062±0,0103
V	0,0026±0,0032
Ag	0,00026±0,00022
Mn	0,0018±0,00092
Ni	0,0028±0,0023
Cu	0,0033±0,0032
Zn	0,045±0,031
Sn	0,00018±0,00016
I	0,00017±0,00010
Ba	0,0034±0,0049
Br	0,00038±0,00015
Rb	0,0113±0,00308
Zr	0,00014±0,000076

О наличии протеина в органической составляющей исследуемых зубных камней свидетельствуют полосы деформационных колебаний СО- и NH-групп полипептидной цепи 1650 и 1540 см⁻¹ на ИК-спектрах. В составе органической составляющей образцов камней выявлены 15 аминокислот: глутаминовая, аланин, аспарагиновая, аргинин, лизин, лейцин, изолейцин, фенилаланин, тирозин, глицин, серин, валин, треонин, гистидин и метионин. Их суммарное содержание в зубных камнях составляет 4,46–7,62 масс. %.

В целом полученные результаты подтверждают важную роль органического вещества в процессе формирования зубных камней. Известно, что слюна представляет собой структурированную биологическую жидкость, весь объем которой распределен между мицеллами — коллоидными образованиями [17]. Их ядра состоят из молекул фосфата кальция и окружены водно-белковыми оболочками. Последние, проявляя защитное действие по отношению к коллоидным системам, значительно повышают их устойчивость. В случае нарушения защитной функции мицеллы теряют устойчивость и коагулируют, что может привести к камнеобразованию в полости рта [18]. Выявленное в процессе работы более высокое содержание белка в зубных отложениях может быть связано с тем, что аминокислоты легко образуют комплексы с рядом тяжелых металлов, что, в свою очередь, ведет к извлечению значительного количества аминокислот из общего кругооборота обмена и повышению отложения их в зубных камнях. Вероятно, этот факт обусловлен интенсивным взаимодействием аминокислот с гидроксилapatитом.

Таким образом, в результате комплексного исследования твердых тканей зубов при генерализованном пародонтите не обнаружено нарушений морфологической структуры и минерализации эмали. Однако в дентине выявлено снижение уровня минерализации в плащевом слое, причем выраженность деминерализации возрастает по мере приближения к жевательной поверхности или режущему краю.

В норме плащевой дентин имеет более высокую минерализацию относительно околопульпарного дентина, что подтверждено многими исследователями [19, 20]. Околопульпарный дентин, составляющий большую часть коронки зуба, выполняет роль связующего звена между пульпой и другими твердыми тканями. Для этого слоя характерно наличие огромного количества дентинных трубочек ($30\text{--}55 \text{ тыс.}/\text{мм}^2$), что составляет 30 % его объема. По данным Л.И. Фалина [21], вблизи пульпы на 1 мм^2 дентина приходится около 75 тыс. дентинных трубочек. Диаметр дентинных трубочек составляет 2–3 мкм, а может достигать до 40 мкм, по данным В.Л. Быкова [22]. Количество дентинных трубочек в плащевом дентине значительно меньше — $15\text{--}20 \text{ тыс.}/\text{мм}^2$, т.е. всего 4 % его объема, а их диаметр снижается до 0,5–1,0 мкм.

По-видимому, выявленные отклонения в уровне минерализации разных слоев дентина возникают в результате изменений в пульпе зуба, развивающихся при генерализованном пародонтите. Изменения в пульпе приводят к снижению трофики дентина, вследствие этого меняется его минерализация. При этом в первую очередь страдает плащевой дентин, который имеет меньшее количество дентинных трубочек меньшего диаметра, чем околопульпарный.

Отсутствие нарушений в микроструктуре и минерализации эмали при генерализованном пародонтите позволяет использовать адгезионные технологии при шинировании зубов на этапах комплексного лечения пациентов с генерализованным пародонтитом. Вместе с тем выявленные нарушения минерализации дентина заставляют задуматься о необходимости депульпирования зубов как меры, позволяющей исключить прогрессирование процессов деминерализации плащевого и гиперминерализации околопульпарного дентина.

Summary

Tsimbalistov A.V., Pikhur O.L., Dubova M.A., Sadikov R.A., Frank-Kamenetskaya O.V., Golovanova O.A., Belskay L.V. Morphology and composition of human dental hard tissues and dental stones with the general parodontite.

The study of the morphological structure, mineral and chemical compositions of human dental hard tissues and dental stones with the general parodontite have been carried out. In result of research of

human dental hard tissues with the general parodontite testify to the absence of imperfection of enamel structure and mineralization. Decrease of mineralization in the covering (external) dentin layer are detected. In composition of dental stones the 14 trace chemical elements (contents about 10^{-4} – 10^{-2} масс. %) and 15 amino acids are determined. It is shown, that calcium-deficient carbon bearing hydroxyapatite is the main mineral component of the investigated dental hard tissues and most dental stones.

Keywords: general parodontite, human dental hard tissues, enamel, dentin, dental stones, hydroxyapatite.

Литература

1. Давыдовский И.В. Проблема причинности в медицине (этиология). М., 1969. 238 с.
2. Струков А.И., Хмельницкий О.К., Петленко В.П. Морфологический эквивалент функции. М., 1983. 208 с.
3. Пенькова Н.И. Особенности морфологического строения пульпы при некариозных поражениях зубов: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 1990. 21 с.
4. Данилевский Н.Ф., Колесова Н.А. Структурно-метаболические основы развития клинических проявлений пародонтоза // Стоматология. 1980. Т. 59. № 6. С. 4–7.
5. Жижина Н.А., Прохончуков А.А. Инициальная роль функциональных изменений сосудов пародонта в патогенезе пародонтоза // Стоматология. 1981. Т. 60. № 4. С. 81–86.
6. Кодола Н.А., Хомутовский О.А., Центило Т.Д. Пародонтоз. Ультраструктура десны и пульпы. Киев, 1980. 319 с.
7. Фролова Т.А. Ультраструктура пульпы зуба человека при пародонтозе: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1975. 19 с.
8. Ковалев Е.В., Савин В.Р. Структурные проявления клеточных защитных реакций пульпы зубов человека при пародонтите // Стоматология. 1987. Т. 66. № 3. С. 13–15.
9. Цимбалистов А.В., Шторина Г.Б., Сурдина Э.Д., Авдеев Ю.Л. Морфофункциональное состояние пульпы зубов у больных генерализованным пародонтитом тяжелой степени // Матер. конф. «Современные проблемы клинической патоморфологии». СПб., 2005. С. 196–197.
10. Цимбалистов А.В., Шторина Г.Б., Сурдина Э.Д., Яковлева О.М. Микробиологическое исследование пульпы зубов при генерализованном пародонтите тяжелой степени // Матер. конф. «Современные проблемы клинической патоморфологии». СПб., 2005. С. 193–195.
11. Ремизов С.М. Определение микротвердости для сравнительной оценки зубной ткани здоровых и больных зубов человека // Стоматология. 1965. № 3. С. 33–37.
12. Пилят Т. Л. Зубной камень и его влияние на ткани пародонта // Там же. 1984. № 3. С. 12–14.
13. Голованова О.А., Бельская Л.В. Влияние органических веществ на процесс образования зубных и слюнных отложений // Матер. II Рос. совещ. по органической минералогии. Петрозаводск, 2005. С. 117–119.
14. Голованова О.А., Воронкова Л.В., Казанцева Р.В. и др. Изучение процессов образования зубных камней // Матер. VI научн. семин. «Минералогия техногенеза». Миасс, 2005. С. 153–156.
15. Стыскин Е. Л., Ицкисон Л.Б., Брауде Е.В. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография. М., 1986. 112 с.
16. Pan Y., Fleet M. Compositions of the apatite-group minerals: Substitution mechanisms // Rev. Mineral. Geochem. Vol. 48. Washington, 2002. P. 234–241.
17. Леонтьев В.К., Галулина М.В. О мицеллярном состоянии слюны // Стоматология. 1991. № 5. С. 23–25.
18. Голованова О.А., Немчинова Е.А., Борисенко М.А. и др. Факторы, влияющие на изменение состава слюны и образование зубных камней // Матер. VI науч. семин. «Минералогия техногенеза». Миасс, 2005. С. 149–153.
19. Goracci G., Mori G., Casa de Martinis L., Bazzucchi M. An ultrastructural analysis of the peritubular dentin and of the tubular lumen in healthy teeth // Minerva Stomatol. 1993. Vol. 42. № 5. P. 205–216.
20. Pashley D.H. Dynamics of the pulpo-dentin complex // Crit. Rev. Oral Biol. Med. 1996. Vol. 7. № 2. P. 104–133.
21. Фалин Л.И. Гистология и эмбриология полости рта и зубов. М., 1963. 219 с.
22. Быков В.Л. Гистология и эмбриология органов полости рта человека. СПб., 1996. 248 с.

Статья поступила в редакцию 28 ноября 2005 г.