

Горбунова И.Л., Михейкина Н.И.

Элементный состав, морфология и текстура интактной эмали зубов лиц различных возрастных групп

ГБОУ «Омская государственная медицинская академия» МЗ РФ, г. Омск

Gorbunova I.L., Mikheykina N.I.

Elemental composition, morphology and structure of intact dental enamel in different age groups persons

Резюме

Целью исследования стало определение физико-химических особенностей интактной эмали лиц различных возрастных групп. Проведён анализ качественного элементного состава интактной зубной эмали лиц различных возрастных групп с применением атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Установлено, что элементный состав интактной эмали зубов лиц различных возрастных групп количественно одинаков, но меняется количественное содержание тех или иных элементов в пределах каждой возрастной группы. У молодых пациентов отмечается более пористая структура интактной эмали зубов.

Ключевые слова: зубная эмаль, элементный состав, пористость, гидроксиапатит зубной эмали

Summary

The aim of the study was the determination of physico-chemical characteristics intact enamel persons of different age groups persons. Qualitative elemental composition analysis of intact dental enamel in different age groups persons was carried out using atomic emission spectroscopy with inductively coupled plasma. It has been specified that elemental composition of intact dental enamel in different age groups persons was the same, but quantitative content of certain elements within each age group was found to be changed. In young patients more porous structure of intact dental enamel was observed.

Key words: dental enamel, elemental composition, porosity, hydroxyapatite dental enamel

Введение

Несмотря на огромное количество работ, посвященных изучению этиологии и патогенеза кариеса зубов эта проблема остается до сих пор актуальной [7, 11]. Согласно последним статистическим данным, полученные по результатам отчетов министерства здравоохранения, в нашем регионе среди стоматологической патологии кариес занимает одно из ведущих мест [8]. Известно, что кариес зубов инициируется микрофлорой зубной бляшки. Видовой состав микроорганизмов, роль которых в инициации кариозного процесса уже доказана, изучен достаточно хорошо [2, 3]. Это, прежде всего, такие штаммы, как *S. Mutans*, *S. Sanguis*, *S. Mitis*, *S. Salivarius*, *Actinomyces Viscosus*. Вместе с тем на течение и прогрессирование заболевания оказывает влияние огромное количество факторов как локальных, так и системных, на фоне изменённой или неизменённой резистентности полости рта [13]. Все это позволяет отнести кариес к разряду мультифакториальных заболеваний.

Согласно современным представлениям в основе кариозного процесса лежит деминерализация эмали [1]. Но скорость наступления деминерализации у всех лю-

дей различна [13]. Не секрет, что с возрастом активность кариозного процесса значительно снижается. Так, для некоторых молодых людей достаточно незначительной кариесогенной атаки, чтобы кариозный процесс реализовался. В тоже время, отмечено, что некоторые люди, находящиеся в более зрелом возрасте, допускают погрешности в гигиене полости рта и употребляют кариесогенные продукты, однако развития кариеса при этом не происходит. В этой связи мы предположили, что деминерализация эмали, а, следовательно, и развитие кариозного процесса зависит от структуры самой зубной эмали, которая, по-видимому, различна в разные возрастные периоды жизни человека [11].

В этой связи нами была определена цель исследования - Определить физико-химические особенности интактной эмали лиц различных возрастных групп.

Для достижения цели исследования поставлены следующие задачи:

1. Определить качественный и количественный элементный состав интактной эмали лиц различных возрастных групп.

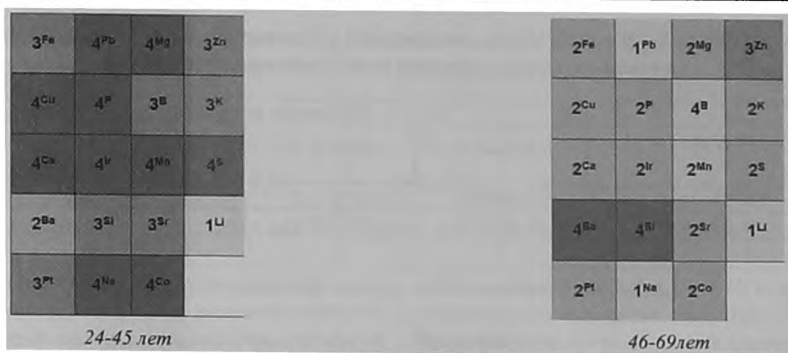


Рис.1. Относительные показатели содержания исследуемых химических элементов в образцах интактной эмали лиц различных возрастных групп.

2. Определить кристалло-химические особенности строения гидроксиапатита интактной эмали лиц различных возрастных групп.

3. Определить текстуру интактной эмали лиц различных возрастных групп (пористость, удельный объем пор, распределение пор по поверхности).

Материалы и методы

В соответствии с поставленными задачами нами проведено исследование 300 образцов эмали интактных премоляров верхних челюстей у лиц двух возрастных групп: от 25 до 45 лет и от 46 до 60 лет. Распределение по группам осуществлялось согласно Международной статистической классификации возрастов человека, рекомендованной Европейским региональным бюро Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) для международных сравнений 10-го пересмотра по распределению обследованного контингента в медико-биологических исследованиях (Женева, 1995). Согласно этим рекомендациям, выделяют следующие возрастные периоды взрослой жизни человека: 15-24 года – юность; 25-45 лет – молодость; 46-60 лет – период зрелости; 61-75 лет – престарелые; 76-90 лет – долгожители. Зубы были удалены по ортодонтическим показаниям, по поводу хронического пародонтита или в связи с острой травмой у лиц, постоянно проживающих в городе Омске.

С целью сохранения зуба как объекта лабораторного исследования, производилось щадящее удаление, со стремлением не допустить нарушения целостности поверхностного слоя эмали при наложении и фиксации щечек шпидов на коронковую часть зуба. После удаления зубы промывались проточной водой, освобождались от мягких тканей и хранились в 0,9% изотоническом растворе NaCl в стеклянной таре с притёртой крышкой при температуре не выше -10°C. При этом тара для хранения была индивидуальной для каждого отдельного зуба. На склянки наклеивались этикетки, на которых были указаны фамилия и инициалы, паспортные данные и уровень резистентности пациента к карнесу, а также показания к удалению и дата его проведения.

Набор материала производился на базе лечебно-профилактических учреждений г.Омска: ГКСП № 1, Городской детской стоматологической поликлиники № 1,

стоматологических отделений городских многопрофильных поликлиник, а также некоторых частных стоматологических клиник г.Омска.

Свежеудаленные зубы перед исследованием подвергались специальной подготовке, которая заключалась в разделении коронковой и корневой частей алмазным диском. После этого выделялся чистый препарат эмали путем механического освобождения последней от подлежащих тканей (дентин, пульпа). Морфологические характеристики зубной эмали изучали в Омском региональном научном центре коллективного пользования на базе Омского научного центра СО РАН НИИ проблем переработки углеродов (директор – чл.-корр. РАН В.А. Лихолобов). Нами был проведен анализ качественного элементного состава интактной зубной эмали лиц различных возрастных групп с применением атомно-эмиссионной спектроскопии и индуктивной связанной плазмой на ICP-спектрометре «Оптим 3000». Удельный объем пор, средний размер пор и распределение пор по размерам исследовали адсорбционно-капиллярным и ртутно-порометрическими методами [6, 16].

Результаты и обсуждение

В ходе исследования было выявлено, что эмаль у лиц возрастной группы от 25 до 46 лет и лиц от 46 до 60 лет не отличается по качественному элементному составу, однако количество тех или иных элементов в пределах каждой возрастной группы различно. Для относительной оценки содержания элементов в эмали зубов лиц различных возрастных групп, нами была введена условная четырёхбалльная шкала обозначений. Суть её состоит в следующем. Наибольшая степень включения того или иного элемента в эмаль зубов какой-либо возрастной группы оценивалась нами в 4 балла, наименьшая - в 1 балл. Между этими двумя значениями существовало два промежуточных, которые оценивались в 2 и 3 балла. Следует признать, что наибольшую балльную оценку содержания элементов имели образцы эмали людей в возрасте от 45 до 60 лет (рис.1). Так, в этом возрасте наивысшую концентрацию - 4 балла имели такие элементы, как кальций, фосфор, медь, свинец, магний, марганец, иридий, натрий, кобальт, сера. Несколько меньшими (3 балла) были концентрации железа, цинка, бора, калия, кремния, стронция, платины.

Таблица 1. Сравнительная характеристика содержания кальция и фосфора в эмали интактных зубов лиц различных возрастных групп

Возраст	Исследуемые показатели		
	кальций %	фосфор %	Ca/P мольный коэффициент
25-45 лет	37,64±0,07	18,70±0,37	1,57±0,01
46-60 лет	38,25±0,32	18,73±0,24	1,58±0,02

В возрасте от 25 до 45 лет эмаль интактных зубов, напротив, имеет достаточно низкие относительные концентрации изучаемых элементов по предложенной нами системе (рис.1).

Известно, что Ca и P являются основными элементами в составе зубной эмали, так как они определяют состав и структуру кристаллов гидроксипапитов [4,10], являющимися "фундаментом" этой биологической системы. Изменение содержания этих элементов и их соотношения (Ca/P=1,66 для структуры Ca10(PO4)6(OH)2) может указывать на протекание процессов де- и реминерализации. Поэтому, в нашем исследовании мы изучили и сравнили количественное содержание Ca и P, а также их соотношения в образцах интактной эмали лиц различных возрастных групп.

Анализ показателей, характеризующих процентное содержание кальция и фосфора в эмали интактных зубов лиц различных возрастных групп представлено в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что по процентному содержанию фосфора образцы лиц в возрасте 23-45 лет и 46-60 лет значимо не различались, а значения показателя, характеризующего концентрацию кальция в эмали, имели тенденцию к снижению ($p>0,05$). Так, если в эмали интактных зубов лиц в возрасте 25-45 лет содержание кальция было в пределах 37,64±0,07%, то в возрасте 46-60 лет оно составило 38,25±0,32%. Кроме того, отмечается тенденция к незначительному снижению Ca/P мольного коэффициента в эмали интактных зубов лиц в возрасте 23-45 лет за счет снижения концентрации кальция и достаточно высоких значений показателя, характеризующего содержание фосфора ($p>0,05$).

Так как известно, что основой кристаллических призм зубной эмали является фаза состава Ca10 \cdot n(PO4) \cdot 6 \cdot m(OH)2 \cdot x, причём существуют различия в строении её кристаллической структуры и текстуры, мы предположили, что для каждой возрастной группы характерна своя кристалло-химическая формула, отражающая строение гидроксипапитата [5,9,12,14,17]. Для подтверждения или опровержения этой гипотезы образцы интактной эмали лиц с различным уровнем устойчивости к кариесу были изучены с помощью метода рентгено-фазового анализа. В результате проведённого исследования выяснилось, что приповерхностный слой эмали толщиной 1,2-1,5 мм интактных зубов, удаленных по ортодонтическим показаниям у лиц различных возрастных групп, содержит кристаллиты со структурой, близкой к структуре гидроксипапитата Ca10(PO4)6(OH)2. Таким образом, установлено, что интактная эмаль лиц изучаемых возрастных групп не имеет существенных отличий в строении кристаллической

фазы. Но отдельные различия свойств эмали лиц разных возрастов, возможно, могут быть обусловлены разницей в текстуре вещества при одинаковой кристаллической решётке. То есть, при наличии фазы гидроксипапитата определённого состава реализуется различная упаковка кристаллов в эмали, что должно определять разную пористость исследуемых образцов.

Известно [1,15], что деминерализация эмали, играющая важную роль в возникновении и развитии кариеса, зависит не только от химического и фазового состава, но и от геометрического строения эмали, то есть от морфологии и текстуры вещества. Под текстурой понимается совокупность таких структурно-геометрических характеристик, как удельная поверхность частиц, удельный объем пор, размер частиц и пор, пористость, и др., количественно отражающих геометрическое строение (морфологию) вещества [15].

Мы предположили, что эмаль зубов лиц изучаемых возрастных периодов имеет некоторые различия в текстуре, что должно обуславливать их отличие по пористости (проницаемости), дисперсности (размер частиц) и адсорбционной способности изучаемых образцов. На наш взгляд, это может определять разный характер устойчивости к кариесу эмали в разные возрастные периоды жизни человека.

В таблице 2 представлены основные текстурные характеристики исследуемых образцов зубной эмали лиц различных возрастных групп.

Прежде всего, отметим, что полученные значения удельной поверхности и удельного объема мезопор в образцах достаточно малы. Так площади удельной поверхности имеют значения на уровне ≈ 1 м²/г, а значения удельного объема пор находятся в интервале 0,004-0,007 см³/г. Это указывает, что по данным адсорбции исследуемые объекты являются грубодисперсными и малопористыми веществами.

Видно, что средние величины площади удельной поверхности уменьшаются с увеличением возраста обследуемых. Так, если для образцов эмали лиц в возрасте 25-45 лет значение площади удельной поверхности пор соответствует 1,30±0,11 м²/г, то для эмали лиц в возрасте 46-60 лет показатель этого значения равен 0,79±0,09 м²/г. Аналогично с повышением возраста обследуемых пациентов снижаются и средние значения удельного объема пор, которые составляют 0,007 \square 0,001 см³/г и 0,004 \square 0,001 см³/г соответственно. В то же время рассчитанные величины среднего размера пор практически не меняются с учетом статистических разбросов и соответствуют величине примерно 20 \pm 5 нм.

Таблица 2. Значения удельной поверхности ($S_{\text{БЭТ}}$), удельного объёма пор (V_p), среднего размера пор ($D_{\text{пор}}$) и среднего размера частиц ($D_{\text{чст}}$) образцов зубной эмали различного возраста по данным адсорбции

Возраст	$S_{\text{БЭТ}}$, м ² /г	$V_p \times 10^3$, м ³ /г	$D_{\text{пор}}$, нм	$D_{\text{чст}}$, нм
25-45 лет	1,30 ± 0,11	7,00 ± 0,69	23,4 ± 3,30	1140 ± 100
46-60 лет	0,79 ± 0,09	4,24 ± 1,16	21,5 ± 5,90	1870 ± 210

Примечание: В таблице указаны только достоверные значения.

На основании полученных данных можно заключить, что для образцов интактной эмали лиц в возрасте 25-45 лет характерно образование более мелких кристаллитов (более высокая удельная поверхность), вероятно более разориентированных в пространстве, то есть хуже упорядоченных, чем в образцах эмали лиц в возрасте 46-60 лет. Это приводит к увеличению мезопористости в образцах эмали лиц в возрасте 25-45 лет, обусловленной, по-видимому, прежде всего пространством между кристаллитами (межкристаллическая пористость). Причем, так как размер пор не увеличивается ($D_{\text{пор}} \approx 20 \approx 5$ нм), то увеличение пористости связано с увеличением числа таких пор. Важно отметить, что, так как значения удельного объема мезопор в образцах интактной эмали очень низкое, то количество таких мезопор крайне мало и их образование следует, по-видимому, рассматривать как результат формирования (по каким-либо причинам) "дефектных областей" в целом упорядоченной кристаллической структуре эмали. Существенно то, что по данным многих авторов, развитие начальных стадий кариеса характеризуется именно увеличением в приповерхностных слоях межкристаллических пространств за счет частичного растворения кристаллов в областях граници призм и даже в их сердцевине [1,5,15]. В результате пораженная эмаль имеет значительно меньшие размеры, чем интактная. Полученные нами результаты указывают, что образцы даже интактной эмали, но в различные возрастные периоды жизни человека имеют разные предпосылки для возможной деминерализации, обусловленные различием их мезотекстуры.

Заключение

Проведённые исследования позволили установить, что качественный элементный состав эмали зубов лиц возрастной группы от 25 до 45 и от 46 до 60 лет одинаков, однако меняется количественное содержание тех или иных элементов в пределах каждой возрастной группы.

Эмаль зубов лиц в возрасте от 25 до 45 лет и от 46 до 60 лет имеют одинаковую структуру гидроксипатита, соответствующую формуле $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

Эмаль зубов лиц от 25 до 45 лет и от 46 до 60 лет имеет различия в текстурных характеристиках, а именно удельной поверхности и удельного объема пор. Зубная эмаль лиц возрастом от 25 до 45 лет имеет более однородную, более пористую текстуру в отличие от эмали лиц возрастной группы от 46 до 60 лет. Суммарная пористость и удельная поверхность исследуемых образцов интактной эмали лиц различных возрастных групп отличается и достаточно закономерно уменьшается от молодых к пациентам зрелого возраста ■

И.Л. Горбунова, доктор медицинских наук, ассистент кафедры терапевтической стоматологии ГБОУ «Омская государственная медицинская академия» МЗ РФ, г. Омск; Н.И. Михейкина, ассистент кафедры терапевтической стоматологии ГБОУ «Омская государственная медицинская академия» МЗ РФ, г. Омск; Автор, ответственный за переписку - Н.И. Михейкина, г. Омск ул. Туополева 2-102. Электронный адрес: nataly2711@mail.ru

Литература:

- Боровский Е.В. Биология полости рта / Е.В. Боровский В.К. Леонтьев. – М.: Медицина, 1991. – 302 с.
- К характеристике микробной флоры при кариесе зубов / В.Ф. Кустикова, Е.А. Земская, Л.В. Морозова // География кариеса зубов.- М., 1966.- С.176-187.
- Левицкий А.П., Мизина И.К. Зубной налцт.- Киев: Здоров'я, 1987.- 80с.
- Новик И.О. О содержании микроэлементов в интактных и кариозных зубах / И.О. Новик // Труды IV Всесоюзного съезда стоматологов. – М., 1964. – С. 146.
- Результаты исследования морфологического строения, химического состава и параметров кристаллической решетки апатитов твёрдых тканей зубов / А. В. Цимбалистов [и др.] // Институт стоматологии. – 2004. – ч 2 (23). – С. 60-63.
- Савранский Ф.З. Физико-химические и структурные особенности строения эмали зуба человека, изученные методом электронного парамагнитного резонанса / Ф.З. Савранский // Новое в терапевтической, детской и хирургической стоматологии. – М., 2004. – С. 78-79.
- Стоматологическая заболеваемость населения России / под ред. Э. М. Кузьминой. – М.: Информэлектро, 1999. – 228 с.
- Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики Омской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.omsk.gks.ru.
- Antonakos A. Micro-Raman and FTIR studies of synthetic and natural apatites / A. Antonakos, E. Liarakapis, T. Leventeuiri // Biomaterials. – 2007. – Vol. 28. – P. 3043-3054.

10. Assessment of enamel chemistry composition and its relationship with caries susceptibility / L. K. A. Rodrigues [et al.] // *Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE*. – 2005. – Vol. 5687, ч 28. – P. 132-139.
11. Chen M. Oral health status by social group / M. Chen, R. Andersen // *Comparing oral health care system: a second International Collaborative Study*. – Geneva, 1997. – P. 149-163.
12. Comparative tem study of dental tissue hydroxyapatite with chemically obtained apatite / C. Stefanov [et al.] // *Romanian in Biotechnological Letters*. Printed in Rumania. All rights reserved. Original paper. – 2010. – Vol. 15, ч 3. – P.117-125.
13. Domăjjean-Orliaguet S. Caries risk assessment in an educational environment / S. Domăjjean-Orliaguet, S. A. Gansky, J. D. Featherstone // *J. of dental education*. – 2006. – Vol. 70, ч 12. – P. 1346-1354.
14. Electron spin relaxation of radicals in irradiated tooth enamel and synthetic hydroxyapatite / H. Sato [et al.] // *Radiation Measurement*. – 2007. – Vol. 42. – P. 997-1004.
15. FT- Raman investigation of human dental enamel surfaces [Electronic resource] / Mihály J. [et al.] // *J. of Raman Spectroscopy*. – 2009. – Access mode\$ www.interscience.wiley.com/journal/jrs.
16. He L. H. Understanding the mechanical behavior of human enamel from its structural and compositional characteristics / L. H. He, M. V. Swain // *J of the Mechanical behavior of biomedical materials*. – 2008. – Vol. 1. – P. 18-29.
17. Shellis R. P. Apparent solubility distributions of hydroxyapatite and enamel apatite / R. P. Shellis, R. M. Wilson // *J. of Colloid and Interface Science*. – 2004. – Vol. 278. – P. 325-332.