

гингивитом в основной и контрольной группах до лечения и в сроки наблюдения указаны в табл. 1.

Показатели индексной оценки у пациентов с хроническим генерализованным пародонтизом легкой степени до лечения и в контрольные сроки указаны в табл. 2.

Показатели индексной оценки у пациентов с хроническим генерализованным пародонтизом средней степени до лечения и в контрольные сроки указаны в табл. 3.

Через 10 дней после начала консервативного лечения пациенты во всех группах отмечали улучшение субъективных ощущений, эффективность проводимого лечения. При объективном исследовании выявлено уменьшение воспалительных явлений в пародонте, после проведения профессиональной гигиены — уменьшение или отсутствие зубных отложений.

Однако 62% пациентов контрольных групп отметили появление гиперэстезии твердых тканей зубов, чувство дискомфорта после профессиональной гигиены полости рта, сохранявшееся от 3-5 дней до 1 недели. В исследуемых группах данные жалобы предъявляли всего 20% больных, которые отметили исчезновение неприятных ощущений уже после второй процедуры динамической электронной стимуляции. Также необходимо отметить, что в исследуемых группах показатели РМА, кровоточивость были достоверно ниже, чем в контрольной во все сроки наблюдения.

В целом, результаты консервативного лечения пациентов с заболеваниями пародонта во всех группах можно оценить, как удовлетворительные. Улучшилась гигиена полости рта, уменьшились признаки воспаления.

## Вывод

Результаты нашего исследования свидетельствуют об эффективности применения ДЭНС-терапии в комплексном лечении заболеваний пародонта. Быстро наступающий обезболивающий эффект в процессе лечения дает возможность пациентам полноценно осуществлять гигиену полости рта, ощущение комфорта. Обладая обезболивающим, противовоспалительным действием ДЭНС-терапия позволяет сократить прием медикаментозных препаратов, сократить сроки лечения пациентов с заболеваниями пародонта.

## Литература

1. Лукиных Л. М., Жулев Е. Н., Чупрунова И. Н. «Болезни пародонта. Клиника, диагностика, лечение и профилактика» Рук-во. Изд-во НГМА. Н. Новгород 2005; 322 с.
2. Лукиных Л. М., Успенская О. А. «Физиотерапия в практике терапевтической стомат.» Н. Новгород, 2006; 36 с.
3. Муравьянникова Ж. Г. Основы стоматологической физиотерапии. Ростов-на-Дону, Феникс, 2003; 320 с.
4. Орехова Л. Ю., Кучумова Е. Д., Стюф Я. В. и др. Основы профессиональной гигиены полости рта: методические указания «Поли Медиа Пресс». С-П. 2004; 56 с.
5. Власов А. А., Малахов В. В., Николаева Н. Б., Сафронов А. А., Умникова М. В. «ДиаДЭНС». Руководство по динамической электронной стимуляции аппаратами ДиаДэНС-Т и ДиаДэНС-ДТ. Екатеринбург. 2005; 284 с.

# Современные диагностические подходы в изучении микроэлементного состава твердых тканей зубов при повышенной стираемости

Ю. В. Мандра, С. Л. Вотяков, Д. В. Киселева

ГОУ ВПО УГМА Росздрава: кафедра пропедевтики и физиотерапии стоматологических заболеваний, кафедра терапевтической стоматологии институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО АН РФ, г. Екатеринбург

## Резюме

*Результаты проведенного экспериментального исследования 128 образцов зубов жителей Уральского региона с проявлениями повышенной стираемости методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и электронно-зондового микроанализа свидетельствуют о выраженных изменениях анионного и катионного состава эмали и дентина пораженных зубов по сравнению с интактными. Динамика химического растворения образцов свидетельствуют о понижении резистентности к химическому воздействию эмали зубов с повышенной стираемостью, что может быть следствием нарушения кристаллической структуры и ослабления связи минерал-органическая матрица. Выявленные особенности микроэлементного состава необходимо учитывать при выборе пломбировочных материалов для эстетико-функциональной реставрации зубов с повышенной стираемостью.*

**Ключевые слова:** повышенная стираемость, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, электронно-зондовый микроанализ.

К изучению микроэлементного состава твердых тканей зубов в настоящее время проявляется большой интерес, обусловленный как их уникальными свойствами, так и желанием прогнозировать, моделировать и корректировать изменения под влиянием патологических факторов с целью достижения стабильных результатов профилактики и лечения основных стоматологических заболеваний [1, 2, 3].

Апатиты эмали и дентина зубов человека характеризуются переменным химическим составом, который зависит от множества факторов (биохимические условия местности, экологические и профессиональные факторы, возраст пациентов, сопутствующие соматические заболевания, диета и др.). Особенности строения эмали и дентина в существенной степени определяют физико-химические и физиологические свойства, такие, например, как прочность, проницаемость, процессы обмена, деминерализации и реминерализации, склерозирования [4]. Морфологическое строение, химический состав и структура эмали являются ведущими факторами, обеспечивающими кариесрезистентность или кариесвосприимчивость зубов [1].

Тем не менее, закономерности изменения химического состава и параметров кристаллической решетки гидроксипатитов эмали и дентина при повышенной стираемости зубов остаются на сегодняшний день практически не изученными [3, 4].

В настоящее время существует большое количество методов исследований неорганической фракции эмали и дентина. Среди тестов *in vivo* наибольшее распространение получила методика кислотной биопсии поверхностного слоя эмали по В. К. Леонтьеву с последующим определением элементов в биоптате комплексометрическим, спектрофотометрическим методами, витальное окрашивание по Л. А. Аксамит [1]. В последние годы совершенствование методик и техники позволили расширить возможности экспериментального изучения твердых тканей зубов, несмотря на трудности их морфологической и кристаллохимической структуры: малый размер объек-

та, высокая минерализация, сложности строения и т.д. Такие лабораторные методы исследования минералов *in vitro*, как рентгеноструктурный анализ, спектральный анализ, электронное микронзондирование, инфракрасная спектроскопия, электронный парамагнитный резонанс, масс-спектральные методы анализа являются высокочувствительными и также широко применяются при исследовании минералов. С помощью данных методов стало возможным изучение на количественном уровне микропримесей в кристаллической структуре гидроксипатитов разного строения, в том числе и входящих в состав твердых тканей зубов [1, 2, 3, 4, 5]. Однако в настоящее время не существует общепризнанных биокристаллохимических представлений и элементов-биоиндикаторов условий образования и преобразования зубных тканей. Очевидно, что процесс необратимого изменения зубных тканей, их «деградации» при повышенной стираемости развивается в организме пациента достаточно индивидуально: он зависит от его возраста, биогеохимических условий местности проживания, экологических и профессиональных факторов, сопутствующих соматических заболеваний и др.

## Материал и методы экспериментального исследования

Материалом для экспериментального исследования служили образцы 30 зубов (128 образцов) пациентов различных возрастных групп, проживающих в Уральском регионе и имеющих проявления повышенной стираемости зубов первой-третьей степени; контрольную группу составили образцы интактных зубов, удаленных по ортопедическим и ортодонтическим показаниям.

**Исследование основного элементного состава (Ca, P, S, F, Mg, Na, Cl) и вариаций их содержания** в продольных сечениях зубов проводилось на электронно-зондовом микроанализаторе SX 100 (фирма Cameca). Для проведения анализа специальные шашки с зафиксированными в эпоксидной смоле пришлифованными продольными сечениями зубов напылялись углеродом; анализ выполнен при ускоряющем напряжении 15 кВ и силе тока 40 нА; в качестве стандартных образцов использовались природные минералы — фторит и хлорapatит, доломит, альбит и ангидрит. Микрофотографии различных участков зубных тканей получены с использованием режима вторичных электронов с напряжением 20 кВ.

**Исследование микропримесного элементного состава образцов** методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой

Ю. В. Мандра — к. м. н., доцент, зав. кафедрой пропедевтики и физиотерапии стоматологических заболеваний ГОУ ВПО УГМА Росздрава;

С. Л. Вотяков — член-корреспондент РАН, профессор, д. г.-м. н., зав. лабораторией физико-химических методов исследования Института геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого Уральского Отделения РАН;

Д. В. Киселева — к. г.-м. н., научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования Института геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого Уральского Отделения РАН.

Таблица Экспериментальные данные по химическому растворению эмали

№ пробы	Характеристика пробы	№ слоя	Навеска, мг	Время растворения, мин	Толщина слоя эмали, мкм	Скорость растворения, мкм/мин
1	Интактный резец	1	31,8	3	133	44
		2	59,3	5	282	56
		3	54,7	5	360	73
2	Резец с проявлениями стираемости первой степени	1	38,4	3	182	60
		2	54,5	5	360	72
		3	48,0	5	400	80
3	Резец с проявлениями стираемости второй степени	1	62,7	3	143	47
		2	103,3	5	285	57
		3	79,6	5	530	106
		4	56,2	5	936	186

(ИСП-МС) проводилось на приборе ELAN 9000 (фирма PerkinElmer). Для изучения особенностей пространственного распределения микроэлементов в эмали была разработана методика послыонного кислотного растворения зубной эмали и последующего ИСП-МС-анализа [5].

Масс-спектрометрический и электронно-зондовый микроанализ (ЭЗМА) выполнены на базе Института геологии и геохимии УрО РАН (руководитель — член-корреспондент РАН, д. г.-м. н. Вотяков С. Л., г. Екатеринбург).

### Результаты экспериментального исследования

В образцах интактных резцов и резцов с повышенной стираемостью исследованы четыре основные зоны, хорошо выделяющиеся визуально и представляющие наибольший интерес в связи с происходящими в них изменениями при развитии процесса склерозирования: I — эмаль, II — поверхностный (плащевой) дентин, III — глубинный (околопульпарный) дентин, IV — новообразованный склерозированный дентин, развивающийся в полости зуба при повышенной стираемости.

Особенности элементного состава эмали и дентина по данным электронно-зондового микроанализа. ЭЗМА выполнен по профилям от поверхностных слоев эмали к центру через эмалево-дентинную границу; полученные результаты по вариациям содержания кальция, фосфора, магния, натрия, фтора, хлора и серы приведены на рис. 1.

Анализ полученных данных позволяет выявить некоторые закономерности по вариациям содержания основных элементов. Из рис. 2 видно, что кальций, фосфор и натрий распределены по эмали и дентину достаточно равномерно, с уменьшением их концентрации при переходе через дентин-эмалевую грани-

цу (Ca — с 39 до 34-35%, P — с 18,7 до 16-17%); различия между содержаниями натрия, кальция, фосфора и молярными отношениями Ca/P в интактном зубе и зубе с повышенной стираемостью незначимы. Концентрация магния в эмали равномерно возрастает в направлении дентин-эмалевой границы и в дентине увеличивается почти в 3 раза; различия в содержании магния в интактном зубе и зубе с повышенной стираемостью также практически незначимы. Содержание хлора уменьшается в направлении от внешнего края эмали через дентин-эмалевую границу к плащевому дентину; в околопульпарном дентине его среднее содержание увеличивается до 0,14%, а для точек, прилежащих к пульпарному каналу, характерно самое низкое содержание хлора — 0,05%; для эмали зуба с повышенной стираемостью характерно несколько более высокое содержание хлора. Внешние слои эмали заметно обеднены серой по сравнению с дентином, где величина ее концентрации возрастает примерно в 6 раз. Содержание фтора резко увеличивается в околопульпарном дентине; эмаль зуба с повышенной стираемостью сильно обеднена фтором, так же как и дентин. Для склерозированного дентина характерно пониженное содержание кальция и фосфора (32,85 и 15,71% соответственно), магния (1,15%) и пониженное содержание хлора (0,04%).

Особенности динамики химического растворения и микроэлементного состава эмали и дентина по данным ИСП-МС. Для исследования физико-химических свойств эмали разработан ряд стоматологических тестов как *in vivo*, так и *in vitro*, основанных на воздействии на нее химических реагентов (в частности, кислот) [1, 4]. В настоящей работе для разложения зубных тканей *in vitro* и последующего микроэлементного ИСП-МС анализа раство-

ров предложено использовать трехмолярную (3М) хлорную кислоту, которая хорошо окисляет органические компоненты эмали и дентина, при этом дает низкий фон контрольного опыта при ИСП-МС анализе [5]. Данные по временной динамике растворения эмали зубов представлены в таблице и на рис. 2. Видно, что в серии зубов, расположенных в порядке убывания их сохранности (1-2-3) наблюдается монотонное увеличение скорос-

ти растворения глубинных слоёв эмали от 73 до 80 и 186 мкм/мин, соответственно. Это свидетельствует о понижении резистентности к химическому воздействию эмали зубов с повышенной стираемостью, что может быть следствием нарушения кристаллической структуры, увеличения размеров кристаллов гидроксиапатита, а также ослабления связи минерал-органическая матрица.

На рис. 3 представлены ИСП масс-спектрометрические данные по содержанию и распределению ряда микроэлементов (Mn, Pb, Sr, Cd, Ba, Se и др.) в слоях эмали и дентина интактных и зубов с проявлениями повышенной стираемости. Как видно (рис. 3а), в последних содержание большинства элементов понижено по сравнению с таковым в эмали интактных зубов. Достаточно специфично и распределение микроэлементов по слоям эмали, в частности, Sr и Ba распределены в эмали интактных и зубов с повышенной стираемостью достаточно равномерно, а для других (Cu, Se, Zn, Mn, Pb, Cd) проявляется относительное обогащение одних зон (слоев) эмали по сравнению с другими. Следует отметить, что внешние слои как интактных, так и зубов с проявлениями стираемости характеризуются повышенным содержанием Zn (88-187 ppm) и Sr (37-80 ppm), содержание Cu, Se, Zn, Mn, Pb, Ba варьирует в пределах 0.1-1 ppm как для здоровой, так и для эмали со стираемостью.

При анализе данных по содержанию микроэлементов в твердых тканях зуба человека мы учитывали, во-первых, способ (путь) поступления микроэлементов в биоминерал (внешний через слюну из окружающей среды с воздухом, пищей и водой или внутренний — из жидкостей организма через пульпарный канал и дентиновые трубки); во-вторых, способ распределения в биоминеральной компоненте — приуроченность микроэлементов к минеральной или органической компоненте (с замещением Ca на Mn, Sr, Cd, Ba, Pb в структуре гидроксиапатита или образование металл-органических соединений для ионов Zn, Fe, Cu, Se и др.); в-третьих, функциональную роль микроэлемента — его участие в процессах метаболизма («эссенциальные» элементы — Cu, Mn, Zn, Se и др.) или его токсичность (Sr, Cd, Ba, Pb и др.).

Таким образом, по данным масс-спектрометрии можно констатировать, что в зубах с проявлениями повышенной стираемости изменения происходят преимущественно в анионном составе эмали и дентина — в содержании фторид- и хлорид-ионов, причем в пораженных зубах отмечается сильное уменьшение содержания фтора, кальция, фосфора и обогащение

Рисунок 1. Элементный состав по данным ЭЗМА различных зон твердых тканей интактного зуба (а, в) и зуба с проявлениями стираемости первой степени (б, г).



Рисунок 2. Соотношение времени и толщины растворенного в 3М хлорной кислоте слоя эмали интактного зуба (1) и зубов с проявлениями повышенной стираемости первой (2) и второй (3) степени

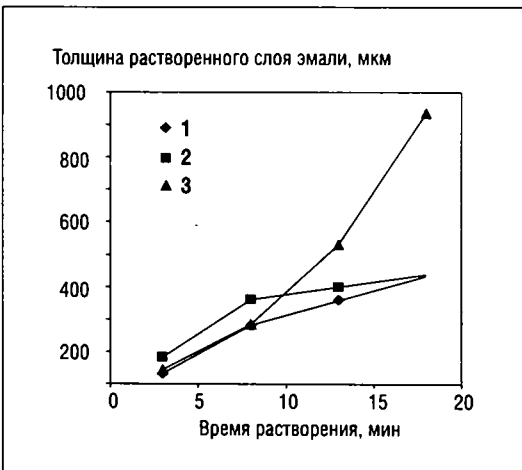
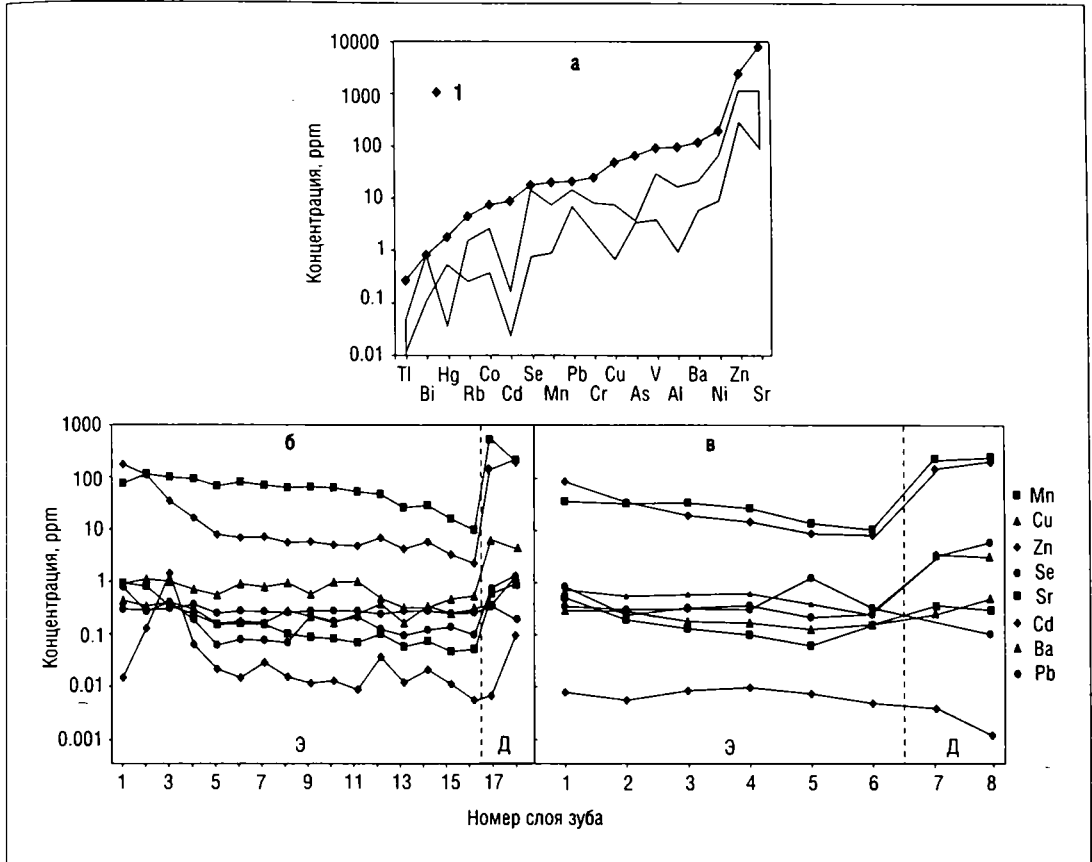


Рисунок 3. Содержание примесных микроэлементов (а) и их распределение (б, в) по слоям эмали (Э) и дентина (Д) интактного зуба (б) и зуба с повышенной стираемостью (в).



Примечание. 1 — интактный зуб; серая область соответствует содержанию микроэлементов в зубах с повышенной стираемостью. Нумерация слоев эмали от внешней части через дентин-эмалевую границу к плацетовому и окопупльпарному дентину.

хлором. Выявленные изменения динамики растворения свидетельствуют о понижении резистентности к химическому воздействию эмали зубов с повышенной стираемостью, что может быть следствием нарушения кристаллической структуры, увеличения размеров кристаллов гидроксиапатита, а также ослабления связи минерал-органическая матрица.

Работа выполнена в рамках программы Президиума Российской академии наук «Фундаментальные науки — медицине», а также в рамках программы № 18 фундаментальных исследований Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы» и при финансовой поддержке РФФИ (грант 07-05-00097), гранта Президента РФ «Поддержка ведущих научных школ» НШ-4210.2006.5 и гранта Минобрнауки РНП.2.1.1.1840.

## Литература

1. Боровский Е. В., Леонтьев В. К. Биология полости рта. М.: Мед. Книга; Н. Новгород: Изд-во НГМА, 2001; 304 с.
2. Недосеко В. Б., Горбунова И. Л., Дроздов В. А. Масс-спектральный анализ воды интактной эмали у лиц с различным уровнем резистентности к кариесу. *Стоматология*. 2004; 4: 13-16.
3. 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: 60-63.
4. Elliott J. C. Calcium phosphate biominerals. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Phosphates*. Editors Kohn M. J., Rakovan J., Hughes J. M. 2002; 48: 427-453.
5. Вотьяков С. Л., Киселева Д. В., Розанов А. Ю., Чердиченко Н. В., Ушатинская Г. Т. Мультиэлементный масс-спектрометрический микроанализ в исследованиях биоминеральных образований. *Литосфера*. №1. 2007; 123-137.