

Рентгенофлуоресцентный анализ эмали зубов в норме и при эрозии

А.В. МИТРОНИН*, д.м.н., профессор, зав. кафедрой, декан стоматологического факультета

З.Т. ДАРСИГОВА*, аспирант

А.С. АЛИХАНЫАН**, д.хим.н., профессор, зав. кафедрой

А.А. ПРОКОПОВ***, д.хим.н., профессор, зав. лабораторией

О.П. ДАШКОВА*, к.м.н., доцент

*Кафедра кариесологии и эндодонтии

**Кафедра общей и биоорганической химии

Стоматологический факультет

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

***Лаборатория физических методов исследования и термодинамики неорганических соединений

ФГБУН Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва

X-ray fluorescence analysis of the normal teeth enamel and in case of erosion

A.V. MITRONIN, Z.T. DARSIGOVA, A.S. ALIKHANYAN, A.A. PROKOPOV, O.P. DASHKOVA

Резюме

В исследовании была проведена оценка распределения элементного состава в поверхностных слоях эмали зуба в области эрозии методом рентгенофлуоресцентного анализа. На основании полученных результатов было установлено повышенное содержание цинка, серы, хлора, калия и стронция. При этом максимум их содержания определялся в центре эрозии. Кроме того, была выполнена оценка качественных изменений элементного состава эмали зубов в области эрозии методом рентгенофлуоресцентного анализа. Как показали полученные результаты, в области эрозии эмали зуба содержание фосфора снижается более интенсивно, по сравнению с кальцием, в результате чего индекс Ca/P возрастает.

Ключевые слова: элементарный состав эмали, эрозия зубов, рентгенофлуоресцентный анализ.

Abstract

In the investigation the assessment of the distribution of the elementary composition in the superficial layers of the tooth enamel in the field of erosion was held using XRF analysis. The results showed the increased content of Zn, S, Cl, K and Sr. And its maximum appeared in the middle of the erosion. Besides that in the investigation the assessment of the qualitative changes in the elementary composition of the tooth enamel in the field of erosion was held using XRF analysis. It showed that in the field of erosion the content of phosphorus decreases more intensively in comparison with calcium and, as a result, Ca/P increases.

Key words: elementary composition of the enamel, tooth erosion, XRF analysis.

Этиология эрозии, под которой понимают прогрессирующую убыль тканей зубов (сначала эмали, а затем и дентина), многофакторная и изучена недостаточно. В то же время актуальность проблемы некариозных поражений зубов, в том числе эрозии, в последние годы не только не уменьшилась, но значительно возросла вместе с ростом распространенности этой патологии [3, 7, 8].

Существуют различные предрасполагающие факторы и этиологические аспекты эрозивного состояния зубов [6], однако взаимодействие химических, биологических и поведенческих факторов имеет решающее значение и помогает объяснить, почему у некоторых людей эрозия развивается сильнее, чем у других, даже если они испытывают одинаковые кислотные провокации в своем питании. По данным нескольких исследований *in vitro* и *in situ*, эрозивный потенциал кислого

напитка или пищи зависит не только от величины pH, но, в значительной степени, от содержания в нем минеральных компонентов, его титруемой кислотности, а также его кальций-хелирующих свойств [14].

Биологические факторы, такие как слюна, пелликула, структура зуба и его положение по отношению к мягким тканям и языку, также могут иметь связь с развитием эрозии зубов [1]. Одним из важных биологических факторов является защитная пленка слюны — пелликула, которая представляет собой образованный на основе белка слой на поверхности зубов. Этот органический слой можно обнаружить уже через несколько минут с начала воздействия на зубы среды полости рта. Пелликула может защищать от эрозии, действуя как «диффузионный барьер», препятствуя прямому контакту кислот с поверхностью зуба, что, в свою очередь, снижает скорость растворения гидроксиапатита [16].

В течение эрозивной провокации и после нее начинают действовать поведенческие факторы, которые способны модифицировать степень повреждения твердых тканей зубов. Важно отметить, что за последние десятилетия очень сильно поменялся образ жизни людей, а также изменилось общее количество потребляемых кислых напитков и пищи, как и частота их потребления. В исследованиях была установлена взаимосвязь между глубиной эрозии и манерой питья, например, когда напиток удерживают во рту продолжительное время [11, 15]. Парадоксально, что более здоровый образ жизни может увеличить риск возникновения эрозии зубов, поскольку он предполагает питание, включающее потребление большого числа фруктов и овощей, а также фруктовых и овощных соков.

Изучение причин возникновения эрозии возможно только при наличии достоверной информации об изменении макро- и микроэлементного состава твердых тканей зубов, в первую очередь эмали. Для этой цели в последние годы были использованы разнообразные методы: электронная и атомно-силовая сканирующая микроскопия [10], лазерная масс-спектрометрия [9], масс-спектрометрия с ионизацией проб в индуктивно связанной плазме [2, 4], рентгеноспектральный микрозондовый анализ [2] и ряд других. Ввиду этого, к настоящему времени данные, полученные на разных приборах, с использованием различных методов, оказались практически несопоставимы, поскольку результаты количественного определения элементов отличаются в десятки (Cr, Co, Ba, Zn) или в сотни раз (Al, Mo, Re). Даже сведения о содержании наиболее существенного элемента — кальция — различаются в два раза [4]. Причинами этого являются различная чувствительность методов, их индивидуальные особенности и ограничения, а привлекательный во многих отношениях метод ICP-MS не обеспечивает достаточно точного определения таких важных элементов, как P, Si, Ca, S и Cl. Большинство используемых методов требуют жидкого состояния образца, что делает невозможным прямое исследование медико-стоматологического объекта, за исключением биологических жидкостей, пробы которых тоже, как правило, требуют некоторой подготовки. Твердые образцы могут быть переведены в жидкое состояние, например, посредством кислотной обработки, но процесс солюбилизации уменьшает концентрации определяемых элементов, и, что важно, при этом теряется информация об их распределении.

Как известно, необходимую точность и достоверность экспериментальных исследований способны обеспечить ставшие доступными за последние годы современные рентгенофлуоресцентные спектрометры. Эти приборы эффективно работают с твердыми материалами, при этом образцы не требуют предварительной обработки. Возможности и перспективы применения рентгенофлуоресцентного анализа (РФА¹, XRF) в стоматологии уже показаны в ряде появившихся исследований [13, 17, 18].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведение рентгенофлуоресцентного анализа эмали здоровых и эрозированных зубов с последующей оценкой качественных и количественных измене-

ний элементного состава, сопровождающих развитие данного вида некариозных поражений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на базе кафедры кариеологии и эндодонтии стоматологического факультета МГМСУ им. А.И. Евдокимова. Группа исследования включала 21 образец зубов (резцов и премоляров), на которых имелись участки эрозии, удаленных по медицинским показаниям. В качестве контроля были использованы зубы (21 образец) с интактными твердыми тканями, удаление которых также было обусловлено медицинскими показаниями (воспалительные заболевания пародонта, необходимость проведения ортодонтического лечения). После удаления зубы подвергались очищению от мягких тканей, а затем помещались в раствор 95° спирта.

Методом лабораторного неразрушающего исследования эмали был выбран микрорентгенофлуоресцентный элементный анализ на приборе Bruker «M4 TORNADO». Основа метода состоит во взаимодействии элементов, содержащихся в образце, с высокоэнергетическим рентгеновским излучением, приводящим к испусканию образцом регистрируемого вторичного рентгеновского излучения (рентгеновская флуоресценция), которое является характеристикой для каждого вида атомов. Прибор снабжен родиевой рентгеновской острофокусной трубкой (максимальное возбуждение 50 кВ, 30 Вт, 600 μ A). В ходе работы использовали режимы MultiPoint (анализ в нескольких точках выбранной области поверхности образца эмали) и Line (исследование распределения элементов вдоль выбранной линии).

Пучок рентгеновского излучения направлялся в намеченную точку поверхности образца, и состав элементов определялся для пятна диаметром 20 μ m. Компьютер, являющийся частью прибора, в специальной программе фиксировал результаты измерения в выбранной точке как среднее значение для 100 импульсов в виде спектра обнаруженных элементов, который затем трансформировался в таблицу соотношений (%) масс их атомов в измеряемой области. Прибор калибровали по содержанию кальция и фосфора в стандартном образце гидроксиапатита $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Точность измерения составляла 0,01%. Была выполнена статистическая обработка полученных результатов с использованием методов математической статистики с помощью персонального компьютера и программы Statistica 9.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Признанным ориентиром достоверности проведенного исследования служит соотношение кальция и фосфора — относительно постоянная величина индекса Ca/P, которая для эмали, по разным данным, составляет от 1,6 до 2,1 (по массе) и служит критерием ее резистентности по отношению к воздействию кислотных факторов. Величина этого индекса для исследованных образцов эмали зубов с интактными твердыми тканями находилась в диапазоне 1,9-2,1 ($2,0 \pm 0,1$).

Микроэлементы, зарегистрированные спектрами РФА в режиме MultiPoint, являются типичными для неповрежденной эмали по номенклатуре и по количественному содержанию.

¹ Аббревиатурой РФА обозначают и рентгенофазовый анализ.

Рис. 1. Участок эмали здорового зуба и соответствующий ему спектр (РФА в режиме MultiPoint)

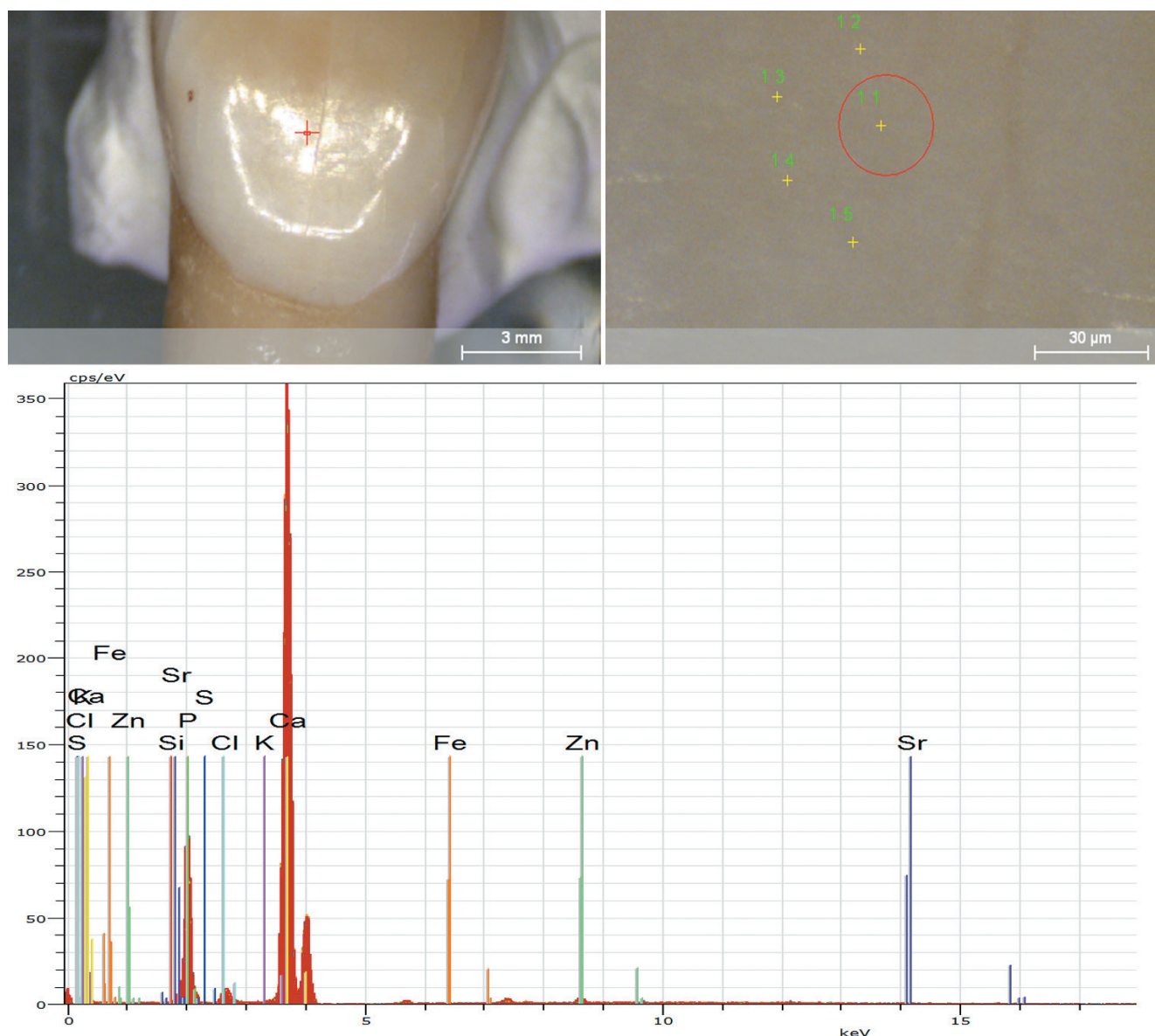


Рис. 2. Вектор эмали здорового зуба и соответствующая ему динамика содержания Ca и P (РФА в режиме Line)

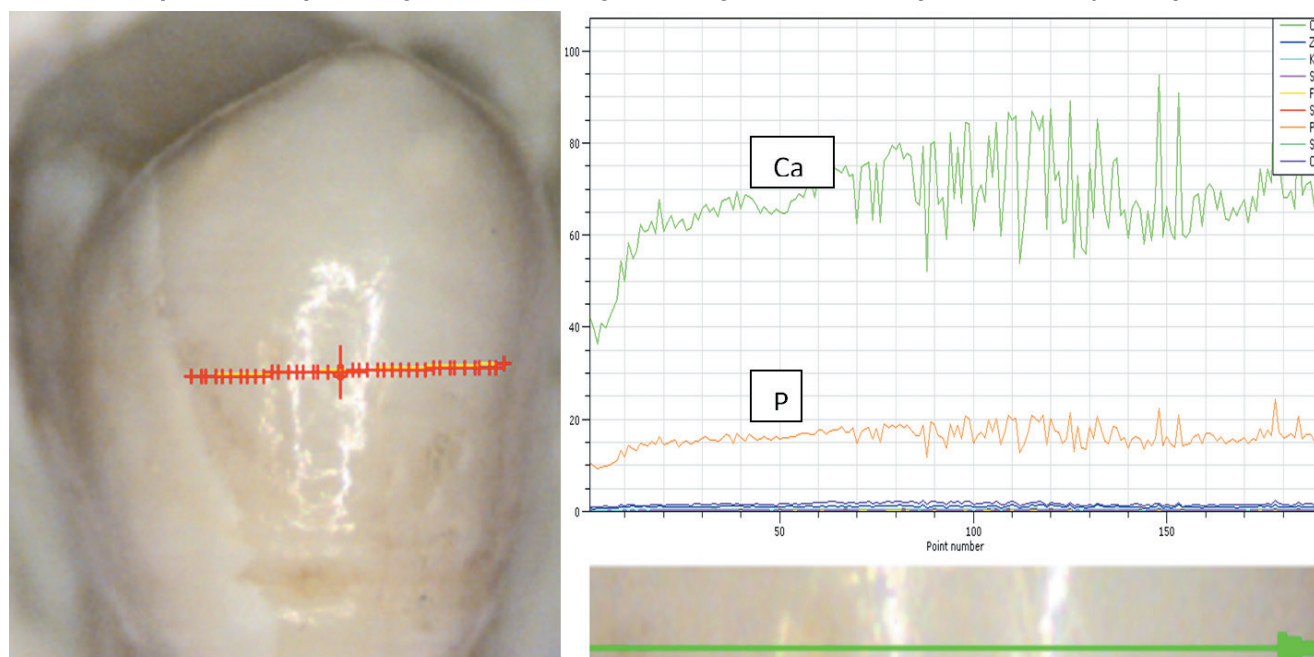


Рис. 3. Внешний вид исследованных зубов, подверженных эрозии

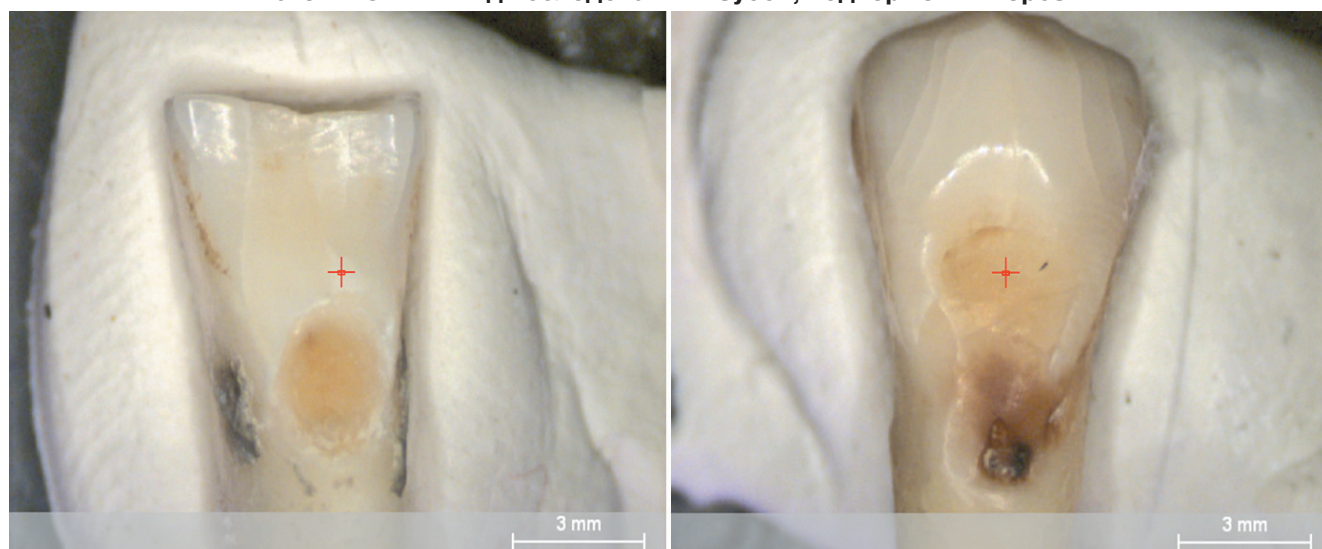
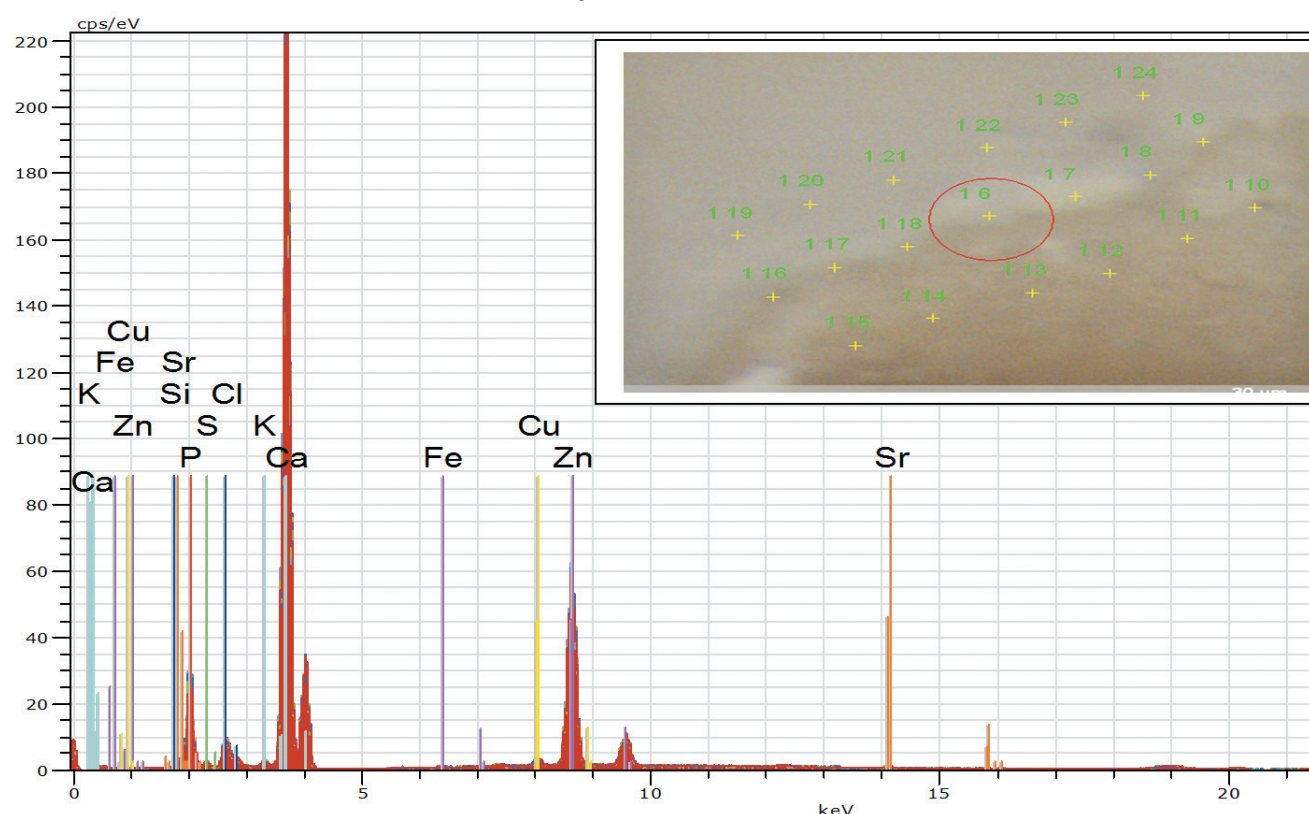


Рис. 4. Распределение точек анализа в зоне эрозии эмали зуба и соответствующий спектр содержания элементов



На рисунке 1 изображен в качестве примера участок эмали одного из образцов зубов с интактными твердыми тканями, проанализированного в режиме MultiPoint, и спектр, полученный в результате анализа.

Подобные же данные были получены и при анализе эмали зубов с интактными твердыми тканями и в режиме Line. На рисунке 2 приведены изображение соответствующего участка эмали и график изменения содержания основных элементов вдоль вектора исследования.

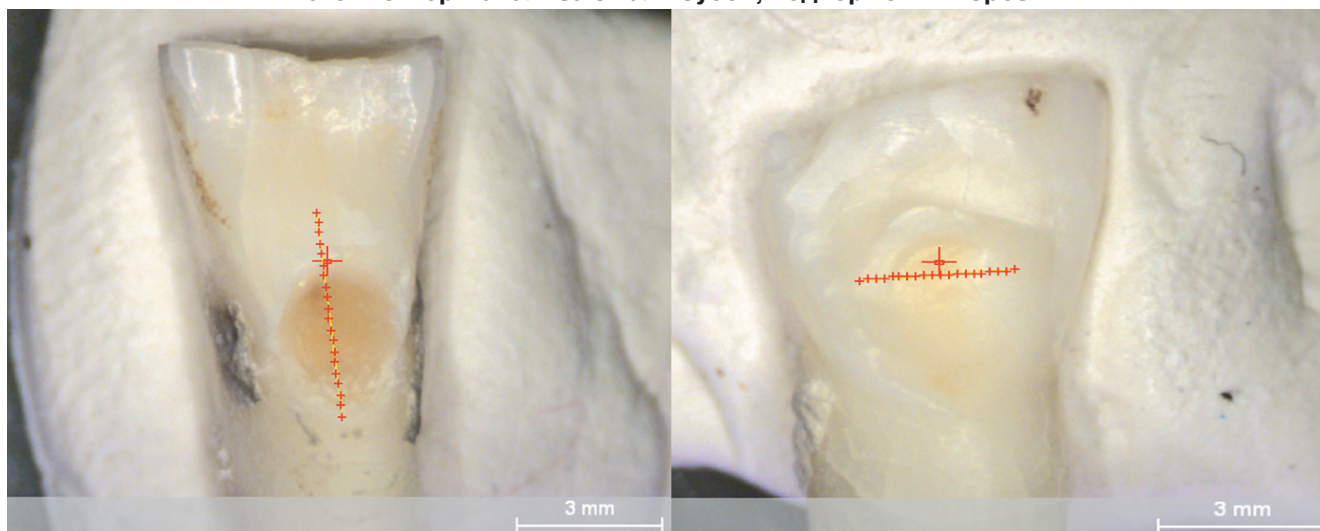
Далее подобному исследованию была подвергнута эмаль зубов, пораженных эрозией, изображения двух из которых приведены на рисунке 3. В режиме MultiPoint были сняты спектры неповрежденных

участков эмали ниже или выше экватора и непосредственно в зонах поражения. Оказалось, что в 95% случаев (20 образцов) индекс Ca/P находился в пределах нормы, имея значения $2,05 \pm 0,15$. Только в одном случае в зоне эрозии этот индекс был равен 3,7. При этом уровень кальция был практически в норме, но резко снижено содержание фосфора.

В то же время спектрально было выявлено наличие дисбаланса по микроэлементам в районах эрозии, тогда как здоровые участки эмали пораженных зубов по содержанию микроэлементов практически не отличались от средних значений нормальных величин.

На рисунке 4 показано распределение точек анализа в зоне эрозии эмали одного из зубов и соответ-

Рис. 5. Векторы анализа эмали зубов, подверженных эрозии

Таблица 1. Количественные данные содержания элементов в каждой точке и в обследованной области эрозии эмали зубов (масс.%)²

Spectrum	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sr
24	0.19	10.66	0.42	2.56	0.77	75.91	0.05	0.33	8.94	0.19
23	0.20	11.22	0.41	2.59	0.74	75.26	0.08	0.28	9.01	0.21
22	0.25	12.12	0.37	2.39	0.75	74.79	0.05	0.24	8.81	0.21
21	0.19	12.68	0.35	2.32	0.73	74.53	0.05	0.22	8.71	0.21
20	0.20	12.86	0.35	2.30	0.69	74.50	0.05	0.21	8.66	0.17
19	0.19	12.94	0.35	2.39	0.74	74.36	0.04	0.21	8.56	0.22
18	0.25	12.91	0.41	2.37	0.76	74.07	0.04	0.22	8.75	0.23
17	0.21	12.94	0.35	2.43	0.69	74.14	0.06	0.21	8.73	0.23
16	0.23	13.10	0.37	2.47	0.67	73.94	0.04	0.23	8.74	0.22
15	0.15	12.73	0.40	2.43	0.79	74.07	0.05	0.23	8.92	0.23
14	0.24	12.28	0.42	2.48	0.75	74.30	0.05	0.26	8.99	0.23
13	0.17	11.60	0.35	2.54	0.78	74.96	0.05	0.30	9.04	0.22
12	0.18	11.33	0.36	2.69	0.80	75.13	0.05	0.32	8.92	0.21
11	0.21	10.69	0.45	2.83	0.79	75.53	0.08	0.34	8.90	0.20
10	0.23	10.72	0.43	2.74	0.78	75.52	0.06	0.38	8.91	0.23
9	0.10	10.35	0.37	2.76	0.76	75.95	0.05	0.35	9.10	0.20
8	0.18	10.82	0.45	2.65	0.78	75.41	0.07	0.36	9.08	0.21
7	0.36	10.91	0.43	2.64	0.85	75.25	0.05	0.31	9.00	0.19
6	0.13	11.03	0.41	2.58	0.78	75.39	0.05	0.32	9.08	0.23
Mean value	0.20	11.78	0.39	2.54	0.76	74.90	0.05	0.28	8.89	0.21
Sigma	0.05	0.98	0.04	0.16	0.04	0.65	0.01	0.06	0.16	0.02
Sigma mean	0.01	0.23	0.01	0.04	0.01	0.15	0.00	0.01	0.04	0.00

ствующий спектр содержания элементов. В таблице 1 представлены средние величины, отражающие содержание элементов в каждой точке и в обследованной области эрозии в целом в эмали зубов, составляющих группу исследования.

В некоторых зонах эрозии было обнаружено повышенное содержание хлора, серы, стронция, калия, очень высокое содержание цинка, в отдельных слу-

чаях зарегистрировано присутствие меди и марганца на фоне нормального содержания кальция и резкого снижения содержания фосфора. Уровень кремния и железа во всех случаях находился в границах нормальных величин.

Изоморфное включение стронция в кристаллические апатитные структуры возможно в результате избирательной обратимой декальцинации эмали.

Цинк и медь являются мощными комплексообразователями, поэтому их присутствие может способствовать образованию растворимых комплексов как с неорганическими, так и с органическими компонентами

² Программа прибора выдает содержание элемента по отношению к сумме определяемых элементов, принимая весь спектр за 100%

эмали, тем самым приводя к ее деструкции [5, 19]. Кроме того, избыточное содержание цинка задерживает рост костной ткани и нарушает ее минерализацию, изменяя метаболизм других микроэлементов. Интересно отметить, что повышенное содержание стронция и цинка другими авторами было зарегистрировано в эмали зубов с повышенной стираемостью, по сравнению с эмалью интактного зуба [2].

Определение серы, как и других элементов с низкими атомными номерами, до недавнего времени было довольно затруднительным. Только в 2007 году содержание серы в эмали зубов было определено количественно методом лазерной масс-спектрометрии [4], хотя данные, полученные недавно методом рентгеноспектрального микрозондового анализа, отличаются от них примерно на порядок [12]. Присутствие серы констатировалось, но пока никак не обсуждалось. Сера относится к группе элементов, наиболее значимо представленных в составе организма, она входит в состав аминокислот и множества других биологически важных соединений, являющихся необходимыми элементами метаболических процессов, выполняющих, в том числе, и защитные функции. Чем обусловлено повышенное содержание серы в области эрозии эмали зубов, еще предстоит установить.

Анализ эмали зубов в режиме Line позволяет рассмотреть изменение ее элементного состава при перемещении от здорового участка к эрозированному. На рисунке 5 показаны примеры организации анализа вдоль выбранных векторов на поверхности зубов, подверженных эрозии.

Область эрозии эмали по своему составу существенно отличается от неповрежденных участков. По мере перемещения от здоровой области к зоне эрозии резко возрастают количества цинка (рис. 6) и серы (рис. 7), при этом содержание этих микроэлементов вновь снижается при выходе из зоны поражения.

Аналогичный характер носят изменения концентраций калия, стронция и хлора. В некоторых случаях в зонах эрозии зарегистрировано присутствие меди и марганца. Полученные результаты согласуются с обнаруженным ранее другими авторами [2] «колоколообразным» распределением ряда микроэлементов в ткани зубов, причем, по нашим данным, максимум их содержания приходится на центр эрозивного поражения.

Наблюдаемое снижение содержания кальция и фосфора в зонах эрозии соответствует общеизвестному факту разрушения апатитной кристаллической решетки эмали. В то же время, как следует из полученных нами данных, динамика снижения содержания кальция и фосфора, по мере перемещения от здоровой эмали к области эрозии, и последующего возрастания содержания этих элементов по мере выхода из области поражения неодинакова.

На рисунке 8 представлены синхронные значения содержания кальция и фосфора по вектору, проходящему через центр эрозированного участка, а также соответствующие изменения индекса Ca/P.

Как следует из полученных данных, снижение содержания фосфора по мере приближения к центру эрозии происходит значительно интенсивнее снижения содержания кальция, что находит отчетливое выражение в соответствующем росте величины индекса Ca/P. Это обстоятельство кардинальным образом отличается от изменения индекса Ca/P, наблюдаемого

Рис. 6. Содержание цинка в эмали зубов, подверженных эрозии, по данным анализа в режиме Line. Ряд 1 – содержание цинка по вектору здорового участка эмали. Ряд 3 – динамика концентрации цинка для вектора, проходящего через центр эрозированного участка. Ряд 2 – данные, полученные вдоль вектора, идущего по краю эрозии

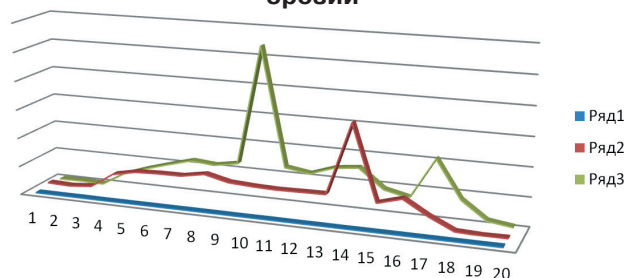


Рис. 7. Содержание серы в эмали зубов, подверженных эрозии, по данным анализа в режиме Line. Ряд 1 – содержание серы по вектору здорового участка эмали. Ряд 3 – динамика концентрации серы для вектора, проходящего через центр эрозированного участка. Ряд 2 – данные, полученные вдоль вектора, идущего по краю эрозии

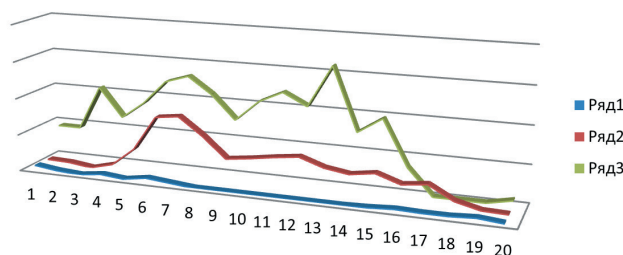
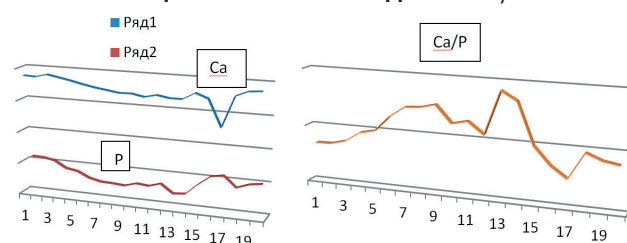


Рис. 8. Динамика изменения содержания кальция и фосфора в эмали зубов, подверженных эрозии, по данным анализа в режиме Line, и соответствующее изменение индекса Ca/P



при кариесе [5], когда в результате кислотного воздействия идет избирательная декальцинация эмали, при которой индекс Ca/P снижается. По-видимому, причина заключается в разных механизмах развития кариеса и эрозии. Снижение содержания фосфора может быть вызвано тем, что в случае эрозии, при наличии определенных условий в полости рта, кристаллы гидрокси- и фторапатитов, составляющие эмалевые призмы, в первую очередь лишаются фосфатных групп, уходящих в ротовую жидкость. А последующая декальцинация является уже вторичным процессом и протекает менее интенсивно. Таким образом, следует предположить, что возрастание величины индекса Ca/P в эмали зубов способно указывать на предрасположенность к развитию эрозии зубов, что может

иметь определенное значение для практического здравоохранения.

Выводы

1. Методом рентгенофлуоресцентного элементного анализа в зоне эрозии эмали зубов установлено повышенное содержание цинка, серы, хлора, калия и стронция с максимумом их содержания в центре эрозии.

2. В зоне эрозии эмали зубов содержание фосфора снижается более интенсивно, по сравнению с кальцием, в результате чего индекс Са/Р возрастает.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бельская Л. В., Голованова О. А. Экспериментальное исследование параметров слюны человека как минералообразующей среды // Вестник ОНЗ РАН. 2012. Т. 4. NZ9001. – doi: 10.2205/2012NZ_ASMPGE.
2. Bel'skaya L. V., Golovanova O. A. Eksperimental'noe issledovanie parametrov sluny cheloveka kak mineraloobrazuyushey sredy // Vestnik ONZ RAN. 2012. T. 4. NZ9001. – doi: 10.2205/2012NZ_ASMPGE.
3. Власова М. И., Киселева Д. В. Изучение микроэлементного состава твердых тканей зубов человека по данным ИСП масс-спектрометрии с лазерной абляцией // Проблемы стоматологии. 2013. №6. С. 4-7.
4. Vlasova M. I., Kiseleva D. V. Issuchenie mikroelementnogo sostava tverdykh tkaney zubov cheloveka po dannym ISP mass-spectrometrii s lazernoy ablyatsiey // Problemy stomatologii. 2013. №6. S. 4-7.
5. Канукова Е. Ю., Васильев Ю. Л. Оценка клинической эффективности суспензии для снижения гиперестезии твердых тканей зуба с аргинином и фосфатом кальция // Эндодонтия today. 2016. №3. С. 12-14.
6. Kanukoeva E. U., Vasil'ev U. L. Otsenka klinicheskoy effektivnosti suspenzii dlya snizcheniya giperestezii tverdykh tkaney zuba s argininom i fosfatom kal'tsiya // Endodontiya today. 2016. №3. S. 12-14.
7. Крымова Т.Г., Балин В.Н., Колкутин В.В., Костицын Ю.А. Экспериментальные исследования элементного состава зубов методом ICP-MS в целях выявления возможностей использования его для диагностики медико-биологических признаков человека // Стоматология. 2007. №1. С. 4-13.
8. Krymova T. G., Balin V. N., Kolkutin V. V., Kostitsyn U. A. Eksperimental'nye issledovaniya elementnogo sostava zubov metodom ICP-MS v tselyakh vyavleniya vozmozhnostey ispol'zovaniya ego dlya diagnostiki medicobiologicheskikh priznakov cheloveka // Stomatologiya. 2007. №1. S. 4-13.
9. Леонтьев В. К. Эмаль зубов как биокрибернетическая система. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 72 с.
10. Leont'ev V. K. Emal' zubov kak biokiberneticheskaya sistema. – M.: GEOTAR-Media, 2016. – 72s.
11. Митронин А. В., Алекберова Г. И., Вавилова Т. П., Прокопов А. А., Пушкина М. А. Исследование факторов, влияющих на развитие некариозных поражений зубов у больных с хронической почечной недостаточностью // Эндодонтия today. 2016. №4. С. 3-6.
12. Mitronin A. V., Alekberova G. I., Vavilova T. P., Prokopov A. A., Pushkina M. A. Issledovanie faktorov, vliyaushikh na razvitie nekarioznykh porazheniy zubov u bol'nykh s khronicheskoy pochechnoy nedostatochnost'yu // Endodontiya today. 2016. №4. S. 3-6.
13. Митронин А. В., Прокопов А. А., Сребная Е. А., Привалов В. И. Предварительное изучение ротовой жидкости методом 1H и 13C ЯМР-спектроскопии // Эндодонтия today. 2016. №3. С. 3-8.
14. Mitronin A. V., Prokopov A. A., Srebnaya E. A., Privalov V. I. Predvaritel'noe izuchenie rotovoy zhidkosti metodom 1H i 13C YAMR-spektroskopii // Endodontiya today. 2016. №3. S. 3-8.
15. Митронин А. В., Прокопов А. А., Сребная Е. А., Привалов В. И. Возможности ЯМР13С-спектроскопии высокого разрешения для метаболического анализа ротовой жидкости // Эндодонтия today. 2016. №4. С. 12-15.
16. Mitronin A. V., Prokopov A. A., Srebnaya E. A., Privalov V. I. Vozmozhnosti YAMR13C-spektroskopii vysokogo razresheniya dlya metabolicheskogo analiza rotovoy zhidrosty // Endodontiya today. 2016. №4. S. 12-15.
17. Нагоева А. А., Арутюнов С. Д., Прокопов А. А. Элементный состав зубной ткани и его динамика в буферных растворах // Стоматолог. 2009. №3. С. 25-33.
18. Nagoeva A. A., Arutyunov S. D., Prokopov A. A. Elementnyi sostav zubnoy tkani i ego dinamika v bufernykh rastvorakh // Stomatolog. 2009. №3. S. 25-33.
19. Павлова Т. В., Пешкова Э. К., Гончаров И. Ю. и соавт. Нарушения ультраструктуры и макро- и микроэлементного состава твердых тканей зубов при кариесе у больных гипотиреозом и без патологии щитовидной железы // Архив патологии. 2014. Т. 2. С. 17-21.
20. Pavlova T. V., Peshkova E. K., Goncharov I. U. i soavt. Narusheniya ul'trastructury i makro- i microelementnogo sostava tverdykh tkaney zubov pri kariese u bol'nykh gipotireozom i bez patologii schitovidnoy zhelezy // Arkhiv patologii. 2014. T. 2. S. 17-21.
21. Пихур О. Л. Возрастные изменения состава и строения твердых тканей зуба взрослого человека: Дис. ... д-ра мед. наук. – СПб., 2015. – 245 с.
22. Pikhur O. L. Vozrastnye izmeneniya sostava i stroeniya tverdykh tkaney zuba vzroslogo cheloveka: Dis. ... d-ra med. nauk. – SPb., 2015. – 245 s.
23. Пихур О. Л., Щербаклова А. Ю., Иванова М. В. и соавт. Особенности состава твердых тканей зубов и костного метаболизма у больных с хроническим пародонтитом // Научные ведомости: Серия Медицина Фармация. 2015. №16 (213). Вып. 31. С. 261-265.
24. Pikhur O. L., Shcherbakova A. U., Ivanova M. V. i soavt. Osobennosti sostava tverdykh tkaney zubov i kostnogo metabolizma u bol'nykh s khronicheskim parodontitom // Nauchnye vedomosti: Seriya Medicina Farmacia. 2015. №16 (213). Vyp. 31. S. 261-265.
25. Барановска Л., Барчански Л., Бак М. et al. X-ray fluorescence spectrometry in multielemental analysis of hair and teeth // Polish J. of Environmental Studies. 2004. Vol. 13. №6. P. 639-646.
26. Baranowska L., Barchanski L., Bak M. et al. X-ray fluorescence spectrometry in multielemental analysis of hair and teeth // Polish J. of Environmental Studies. 2004. Vol. 13. №6. P. 639-646.
27. Барлетт Д. The implication of laboratory research on tooth wear and erosion // Oral Dis 2005. Vol. 11. P. 3-6.
28. Bartlett D. The implication of laboratory research on tooth wear and erosion // Oral Dis 2005. Vol. 11. P. 3-6.
29. Johansson A.K., Lingström P., Birkhed D. Comparison of factors potentially related to the occurrence of dental erosion in high- and low-erosion groups // Eur. J. Oral Sci. 2002. Vol. 110. P. 204-211.
30. Johansson A.K., Lingström P., Birkhed D. Comparison of factors potentially related to the occurrence of dental erosion in high- and low-erosion groups // Eur. J. Oral Sci. 2002. Vol. 110. P. 204-211.
31. Lendenmann U, Grogan J, Oppenheim F.G. et al. Saliva and dental pellicle – a review // Adv Dent Res. 2000. Vol. 14. P. 22-28.
32. Lendenmann U, Grogan J, Oppenheim F.G. et al. Saliva and dental pellicle – a review // Adv Dent Res. 2000. Vol. 14. P. 22-28.
33. Опра С., Сзалански П. Ж., Густова М. В. et al. XRF detection limits for dental tissues of human teeth // Vacuum. 2009. Vol. 83. P. 166-168.
34. Oprea C., Szalanski P. J., Gustova M. V. et al. XRF detection limits for dental tissues of human teeth // Vacuum. 2009. Vol. 83. P. 166-168.
35. Сучиу И., Преотеаса Е. С., Преотеаса Е. А. et al. Standardless x-ray fluorescence analysis of endodontic sealers using a portable spectrometer // Rom. J. Phys. 2015. №3-4. P. 528-548.
36. Suciui I., Preoteasa E. S., Preoteasa E. A. et al. Standardless x-ray fluorescence analysis of endodontic sealers using a portable spectrometer // Rom. J. Phys. 2015. №3-4. P. 528-548.
37. Уо Мотохиро, Вада Такахио, Сугиヤマ Томоко. Applications of X-ray fluorescence analysis (XRF) to dental and medical specimens // Japanese Dental Science Review. 2015. Vol. 51. P. 2-9.
38. Uo Motohiro, Wada Takahiro, Sugiyama Tomoko. Applications of X-ray fluorescence analysis (XRF) to dental and medical specimens // Japanese Dental Science Review. 2015. Vol. 51. P. 2-9.

Поступила 15.07.2017

Координаты для связи с авторами:

127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4

Клинический центр стоматологии