© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2014 УДК 616.314.13-073.537

И.Н. Сарычева¹, О.О. Янушевич², Д.А. Минаков³, В.А. Шульгин⁴

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ЭМАЛИ НА ХАРАКТЕР ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ИНТАКТНЫХ ЗУБОВ IN VIVO

¹ГБОУ ВПО Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко, 394000, Воронеж; ²ГБОУ ВПО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, 127473, Москва; ³ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, 394064, Воронеж; ⁴ФГБОУ ВПО Воронежский государственный университет, 394006, Воронеж

> С помощью метода лазерно-индуцированной флуоресценции было проведено исследование флуоресценции различных анатомических областей интактных зубов верхней и нижней челюсти человека in vivo при возбуждении лазерным источником длиной волны 405 нм. Обнаружено, что в среднем для всех зубов эмаль в пришеечной области обладает наибольшими параметрами флуоресценции, а эмаль в области режущего края – наименьшими. С помощью методов многослойной спиральной компьютерной томографии и растровой электронной микроскопии была измерена толщина эмали в различных анатомических областях всех зубов нижней и верхней челюсти. Обнаружено, что в среднем область режущего края каждого зуба обладает наибольшей толщиной эмали, а пришеечная область – наименьшей. Исследовано влияние толщины эмали и многоуровневой дентиноэмалевой границы на характер флуоресценции в различных анатомических областях интактных зубов.

Ключевые слова: лазерно-индуцированная флуоресценция; толщина эмали; эмаль; дентиноэмалевая граница.

I.N. Sarycheva¹, O.O. Janushevich², D. A. Minakov³, V.A. Shul'gin⁴

EFFECT OF THE THICKNESS OF ENAMEL ON THE TEETH IS A FLUORESCENCE SIGNAL IN VIVO

¹Voronezh State Medical Academy named after N.N. Burdenko, 394000, Voronezh; ²Moscow State Medical and Dental University named after A.I. Evdokimov, 127473, Moscow; ³Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 394064, Voronezh. ⁴Voronezh State University, 394006, Voronezh

The investigation of fluorescence signal of different parts of intact teeth in the upper and lower human jaws in vivo has been carried out using the method of laser-induced fluorescence at a laser excitation wavelength of 405 nm. It was revealed that, for all teeth, cervical enamel is characterized by the highest fluorescence signal, and enamel layer at the cutting edge has the lowest fluorescence signal. Methods of multi-layer spiral computed tomography and scanning electron microscopy were used to measure enamel thickness in different anatomical part of all teeth in the upper and the lower jaw. It was found out that, on the average, the enamel layer is the thickest at the cutting edge and the thinnest at the cervical region of the tooth. Also, influence of enamel thickness and multilevel dentin-enamel junction on the fluorescence signal of different anatomical parts of intact teeth has been investigated.

Key words: laser-induced fluorescence; enamel thickness; dentin; enamel; dentin-enamel junction.

Введение

Одной из наиболее распространённых патологий полости рта являются кариозные и некариозные поражения твердых тканей зубов. К настоящему времени созданы новые методы диагностики, которые, как было показано, являются достаточно эффективными [1, 2].

Так, например, в работах [3–5] показана перспективность использования метода лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) при регистрации кариозных заболеваний, и в том числе на ранних стадиях их развития. Выбор метода ЛИФ обусловлен прежде всего его неинвазивностью. Возможность регистрации кариозных заболеваний была обусловлена тем, что в спектрах флуоресценции твердых тканей зубов с патологией наблюдались существенные преобразования по сравнению со спектрами интактных твердых тканей. Данное спектральное поведение объяснялось формированием продуктов жизнедеятельности микроорганизмов [4].

Однако в отличие от кариозных заболеваний

большинство некариозных патологий характеризуется повреждением эмали и дентина без микробной инвазии и чаще всего сопровождается убылью этих тканей в различных анатомических зонах зуба [6, 7]. В результате при развитии некариозных заболеваний существенных отклонений в спектрах флюоресценции патологических зон от аналогичных спектров эквивалентных интактных областей может и не наблюдаться. Поэтому при регистрации зубных патологий, особенно на ранних стадиях их развития, с помощью метода ЛИФ очень важно знать светочувствительные свойства тех анатомических областей зуба, в которых развивается патология, причем до ее развития.

Кроме того, в работе [8] на удаленных зубах обнаружена зависимость характера флуоресценции эмали от анатомической области интактных зубов и высказано предположение о возможном влиянии на параметры флуоресценции толщины эмали.

В связи с этим цель данной работы заключалась в исследовании флуоресценции эмали в различных анатомических областях зубов человека на верхней и нижней челюсти in vivo и в изучении возможной корреляции параметров флуоресценции с толщиной эмали на этих участках.

Сарычева Ираида Николаевна, e-mail: iraidaa@mail.ru.

Материал и методы

Исследования проводились в группе из 30 пациентов женского пола с интактным зубным рядом в возрасте от 20 до 30 лет. Отсутствие заболеваний зубов выбранной группы пациентов определялось с помощью стандартных методик [8]. Пациенты выбраны одного пола и примерно одного возраста, поскольку имеются данные, свидетельствующие о зависимости средней толщины эмали от пола человека, от его расы и возраста [10]. Так же в качестве объектов исследования использовали 65 зубов людей, удаленных по медицинским показаниям. Все удаленные зубы были интактными, согласно предварительным клиническим и рентгенологическим исследованиям. До проведения экспериментов подготовленные образцы помещали в физиологический раствор с целью консервации.

Спектры флуоресценции регистрировали с помощью запатентованного устройства, созданного на базе волоконнооптического спектрометра USB4000-VIS-NIR (Ocean Optics), сопряженного с компьютером [11]. Область зондирования зубов определялась площадью волновода и составляла величину, равную 0,28 мм². В качестве источника возбуждения флуоресценции использовался лазерный диод, излучающий на длине волны 405 нм. Плотность мощности излучения не превышала 20 мВт/см². Измерения проводились в затемненном помещении в отсутствие источников рассеянного света. Спектры флуоресценции эмали фиксировали in vivo в различных анатомических областях зуба (пришеечной области, области экватора и области режущего края). При этом при регистрации флуоресценции эмали в пришеечной области кончик зонда устанавливали примерно на 0,5 мм от границы эмали и цемента. Перед проведением люминесцентных исследований пациентам была проведена процедура профессиональной гигиены полости рта и была рекомендована зубная паста, существенно не влияющая на регистрируемый сигнал. Удаленные зубы промывали в проточной воде, очищали от зубного налета, поверхность высушивали фильтровальной бумагой

Для регистрации толщины эмали в различных анатомических областях зубов разной групповой принадлежности in vivo использовали метод многослойной спиральной компьютерной томографии (МСКТ). Исследования были выполнены на аппарате Philips Brilliance ICT 64 с толщиной среза 0,55 мм в аксиальной плоскости. Плоскость сканирования была перпендикулярна окклюзионной плоскости. Уровень визуализации формировался от подбородочного выступа нижней челюсти до твердого неба с захватом альвеолярных бухт верхнечелюстных пазух. Для измерения толщины эмали применяли программу OSIRIX версии 5-1.6, позволяющую проводить постпроцессинговую обработку (многоплоскостные реформации) изображений, при которой плоскости выставлялись по оси зуба и перпендикулярно окклюзионной плоскости. Толщина эмали могла фиксироваться по вестибулярной, небной и язычной поверхностям.

Для регистрации толщины эмали in vitro использовали метод растровой электронной микроскопии (РЭМ) с помощью низковаккумного растрового электронного микроскопа с энергодисперсионным спектрометром JEOL (Япония), 6380 LV. Изображения были получены в режимах вторичноэлектронной эмиссии и обратнорассеянных электронов.

Для проведения исследований с помощью метода РЭМ очищенные образцы удаленных зубов распиливали на специализированной установке с использованием повышающего низкоскоростного наконечника W&H (Австрия), алмазного сепарационного диска. Препарирование проводилось с перерывами под водяным охлаждением. Затем образцы промывали и высушивали фильтровальной бумагой, после чего с помощью оптического микроскопа производили локализацию зоны предполагаемого исследования при 5–30-кратном увеличении.

Толщина эмали в пришеечной области всех зубов фикси-

ровалась вдоль оси ортогональной дентиноэмалевой границы (ДЭГ) на высоте 0,5 мм от границы цемента и эмали. Толщина в области экватора и режущего края зубов фиксировалась также вдоль оси ортогональной ДЭГ в соответствующих анатомических областях.

Результаты и обсуждение

На рисунке представлена зависимость усредненной по всем пациентам интегральной интенсивности флуоресценции эмали от групповой принадлежности зубов: а – для пришеечной области; б – для области экватора; в – для области режущего края. Сплошная заливка соответствует верхнему ряду зубов, штриховая заливка – нижнему. Регистрация спектров флуоресценции происходила с вестибулярной поверхности зубов.

Как видно из рисунка, *a*, для резцов наблюдается тенденция увеличения значения интегральной интенсивности флуоресценции эмали в пришеечной области по мере увеличения порядкового номера зуба, причем для резцов верхнего ряда челюсти это превышение более существенно, чем для резцов нижнего ряда. Однако для премоляров и моляров наблюдается противоположная ситуация. По мере увеличения порядкового номера зуба происходит снижение значения интегральной интенсивности флуоресценции.

Как видно из рисунка, б, для резцов существенных изменений значения интегральной интенсивности флуоресценции эмали в области экватора не наблюдается. Вместе с тем для премоляров и моляров наблюдается небольшое увеличение параметров флуоресценции по мере увеличения порядкового номера зуба. Для области режущего края (см. рисунок, в) также наблюдается небольшой подъем значения интегральной интенсивности флуоресценции, но уже для всех групп зубов верхнего и нижнего ряда по мере увеличения порядкового номера зуба.

Анализ рисунка, б и в показывает, что значения интегральной интенсивности флуоресценции эмали в области экватора и области режущего края существенно уменьшились по сравнению с пришеечной областью для всех групп зубов верхнего и нижнего ряда челюсти. Кроме того, снизилась вариация значений интегральной интенсивности флуоресценции эмали в этих анатомических областях по сравнению с пришеечной областью для всех групп зубов верхнего и нижнего ряда челюсти. Видно также, что в среднем интегральная интенсивность флуоресценции эмали нижнего ряда зубов выше, чем верхнего ряда, что находится в согласии с тем, что толщина эмали верхнего ряда зубов в среднем выше, чем нижнего ряда.

В качестве примера на рисунке, г представлены усредненные по всем пациентам спектры флуоресценции эмали различных анатомических областей зуба: пришеечной области, области экватора и режущего края 1 премоляра нижней челюсти. Из рисунка видно, что наибольшая интенсивность флуоресценции эмали наблюдается в пришеечной области, а наименьшая – в области режущего края. При этом формы спектров флуоресценции исследованных областей имеют схожую друг с другом структуру. Похожая тенденция и по соотношению интенсивностей, и по форме спектров наблюдалась для всех исследованных зубов.

В табл. 1 представлены усредненные по всем па-



Среднее значение интегральной интенсивности флуоресценции эмали в пришеечной области (*a*), в области экватора (б), в области режущего края (*в*) верхнего (сплошная заливка) и нижнего (штриховая заливка) ряда интактных зубов в зависимости от их групповой принадлежности; *г* – усредненный спектр флуоресценции эмали в пришеечной области (*1*), в области экватора (*2*) и режущего края (*3*) премоляра 1 нижней челюсти.

циентам значения толщины эмали в разных анатомических областях зубов различной групповой принадлежности (резцы, клык, премоляры и моляры) верхней и нижней челюсти с вестибулярной поверхности. Выбор вестибулярной поверхности обусловлен тем, что спектры флуоресценции измеряли именно с этой поверхности зубов.

Из табл. 1 видно, что в среднем область режущего края каждого зуба обладает наибольшей толщиной эмали, а пришеечная область – наименьшей. Для каждой группы зубов практически во всех анатомических областях характерен рост средней толщины эмали по мере увеличения порядкового номера зуба как на нижней, так и на верхней челюсти. Из таблицы также видно, что в среднем толщина эмали во всех исследованных анатомических областях зубов верхней челюсти несколько выше, чем зубов нижней челюсти.

В табл. 2 представлены усредненные значения тол-

щины эмали для зубов верхней и нижней челюсти, зафиксированных с помощью РЭМ.

Сравнение двух использованных методик по измерению толщины эмали в различных анатомических областях как нижней, так и верхней челюсти свидетельствует о достаточно хорошей корреляции полученных результатов. Прежде всего отметим, что сохранилась тенденция зависимости толщины эмали в различных анатомических областях от порядкового номера зубов как верхней, так и нижней челюсти, даже несмотря на небольшие различия в экспериментальных результатах.

Результаты и обсуждения

Флуоресценции твердых тканей интактных зубов посвящено достаточно много работ [8, 12–15]. Например, в работе [8] на удаленных зубах показано, что наибольшими параметрами флуоресценции обладает эмаль в пришеечной области зуба, а наименьшим – эмаль в об-

Область зуба			
пришеечная, толщина, мм	экватор зуба, толщина, мм	режущий край, толщина, мм	
0,27±0,01	$0,84{\pm}0,05$	$0,97{\pm}0,06$	
0,32±0,01	$0,92{\pm}0,06$	$1,04{\pm}0,06$	
0,28±0,01	$0,79{\pm}0,05$	$0,89{\pm}0,05$	
0,31±0,01	$1,01\pm0,06$	$1,33{\pm}0,08$	
0,36±0,02	$1,11\pm0,07$	$1,56\pm0,09$	
0,38±0,02	$1,25\pm0,08$	$1,76\pm0,11$	
0,39±0,02	1,31±0,08	1,89±0,11	
0,17±0,01	0,73±0,04	$0,89{\pm}0,05$	
0,23±0,01	0,83±0,05	$0,98{\pm}0,06$	
0,19±0,01	$0,78{\pm}0,05$	$0,84{\pm}0,05$	
0,21±0,01	0,98±0,06	$1,41\pm0,08$	
0,23±0,01	$1,02\pm0,06$	$1,58{\pm}0,09$	
0,24±0,01	1,17±0,07	$1,68\pm0,10$	
0,30±0,02	1,21±0,07	$1,72\pm0,10$	
	приплеечная, толщина, мм 0,27±0,01 0,32±0,01 0,32±0,01 0,31±0,01 0,36±0,02 0,39±0,02 0,17±0,01 0,23±0,01 0,21±0,01 0,21±0,01 0,23±0,01 0,24±0,01 0,30±0,02	Область зуба пришеечная, толщина, мм экватор зуба, толщина, мм 0,27±0,01 0,84±0,05 0,32±0,01 0,92±0,06 0,28±0,01 0,79±0,05 0,31±0,01 1,01±0,06 0,36±0,02 1,11±0,07 0,38±0,02 1,25±0,08 0,39±0,02 1,31±0,08 0,17±0,01 0,73±0,04 0,23±0,01 0,78±0,05 0,19±0,01 0,78±0,05 0,21±0,01 1,02±0,06 0,23±0,01 1,02±0,06 0,24±0,01 1,17±0,07 0,30±0,02 1,21±0,07	

Таблица 1. Толщина эмали в пришеечной области, области экватора и области режущего края (метод МСКТ)

ласти режущего края. Представленные в данной работе результаты свидетельствуют о том, что данная тенденция сохраняется для всех зубов верхнего и нижнего ряда челюсти не только in vitro, но и in vivo.

Тем не менее причина вариации параметров флуоресценции эмали в зависимости от анатомической области зубов неясна, поскольку остается открытым вопрос о природе флуоресценции твердых тканей зубов. На настоящий момент ясно лишь, что происхождение флуоресценции твердых тканей зубов может иметь различную природу [12–14].

В данной работе мы попытались выявить связь характера флуоресценции эмали с ее толщиной в различных анатомических областях зубов. Действительно, такая связь возможна, поскольку, с одной стороны, в работе [8] при исследовании флуоресценции дентина, эмали и ДЭГ отмечается, что область, прилегающая к ДЭГ, обладает существенно большим свечением, чем эмаль. В работе [14] с помощью метода многофотонной микроскопии показано, что сама ДЭГ обладает крайне низкими параметрами флуоресценции. За яркое же свечение области ДЭГ ответственны прилегающие к этой границе участки эмали и дентина, которые имеют многоуровневую структуру дугообразных выемок, обращенных выпуклой стороной к дентину, а вогнутой - к эмали [14-17]. Ширина подобной многоуровневой раковистой структуры ДЭГ зависит как от анатомической области, так и от типа зуба.

С другой стороны, анализ результатов, полученных с помощью методов МСКТ и РЭМ, свидетельствует о том, что толщина эмали в пришеечной области для всех зубов нижнего и верхнего ряда челюсти ниже, чем в области экватора или режущего края. В результате можно сделать предположение о том, что чем меньше толщина эмали, тем меньше будет оптический путь для возбуждающего излучения по на-

Тип зуба	Область зуба			
	пришеечная, толщина, мм	экватор зуба, толщина, мм	режущий край, толщина, мм	
Верхняя челюсть:				
резец 1	0,19±0,02	0,73±0,04	0,90±0,05	
резец 2	0,23±0,02	0,89±0,05	0,97±0,06	
КЛЫК	0,20±0,02	$0,76\pm0,05$	$0,80\pm0,05$	
премоляр 1	0,22±0,02	0,98±0,06	1,20±0,07	
премоляр 2	0,27±0,03	1,05±0,06	1,30±0,08	
моляр 1	0,30±0,03	1,20±0,07	$1,88\pm0,11$	
моляр 2	0,34±0,03	1,27±0,08	1,93±0,12	
Нижняя челюсть:				
резец 1	0,15±0,02	0,67±0,04	$0,80\pm0,05$	
резец 2	0,20±0,02	0,80±0,05	0,91±0,05	
КЛЫК	0,17±0,02	0,70±0,04	$0,78{\pm}0,05$	
премоляр 1	0,19±0,02	0,92±0,06	1,20±0,07	
премоляр 2	0,21±0,02	0,97±0,06	1,20±0,07	
моляр 1	0,24±0,02	1,11±0,07	1,70±0,10	
моляр 2	0,29±0,03	$1,15\pm0,07$	1,77±0,11	

Таблица 2. Толщина эмали в пришеечной области, области экватора и области режущего края (метод РЭМ)

правлению к наиболее ярко люминесцирующей области и, следовательно, тем больше будет интенсивность флуоресценции. И действительно, для моляров и премоляров в пришеечной области обнаружена тенденция к увеличению параметров флуоресценции (см. рисунок, *a*) по мере уменьшения толщины эмали (см. табл. 1 и 2).

При этом небольшие колебания толщины эмали в пришеечной области приводят к существенным вариациям результирующего характера флуоресценции в отличие от области экватора и режущего края, для которых колебания толщины эмали более существенны, но вариации результирующего характера флуоресценции менее значительны. Это может свидетельствовать о том, что определенный вклад в свечение эмали в пришеечной области вносит область, прилегающая к ДЭГ.

Вероятно, ключевую роль может играть прежде всего раковистая структура эмали, поскольку, с одной стороны, эта область ДЭГ наиболее близка к зондирующему кончику волновода, а с другой – именно в этой области присутствуют участки эмалевых призм, оболочки которых испускают свечение не меньшее по интенсивности, чем прилегающая к ДЭГ область дентина [14]. Данный факт представляется удивительным, поскольку дентин по сравнению с эмалью обладает значительно большей концентрацией органической фазы, и, кроме того, интенсивность флуоресценции объемного дентина в среднем более чем в 2 раза выше интенсивности флуоресценции объемной эмали [8, 18].

Также из рисунка, *а* видно, что суммарная интенсивность флуоресценции пришеечной области всех зубов нижнего ряда выше, чем верхнего, что коррелирует с тем фактом, что в среднем толщина нижнего ряда зубов меньше, чем верхнего (см. табл. 1 и 2).

Однако анализ всей совокупности данных свидетельствует о том, что связь параметров флуоресценции с толщиной эмали для других типов зубов и в других анатомических областях оказалась не такой простой и однозначной.

Например, для резцов однозначной зависимости характера флуоресценции эмали в пришеечной области от ее толщины не обнаружено. Как видно из рисунка, а, наблюдается тенденция увеличения параметров флуоресценции эмали в пришеечной области для резцов по мере увеличения порядкового номера зуба. Однако толщина эмали у резца 2 в пришеечной области больше, чем у резца 1 (см. табл. 1 и 2). Вместе с тем данный экспериментальный факт можно объяснить в рамках предложенной концепции. Действительно, чем меньше будет толщина многоуровневой раковистой структуры ДЭГ, тем меньше регистрируемые параметры флуоресценции. Косвенно в пользу того, что толщина ДЭГ зависит от анатомической области зуба, свидетельствуют данные, полученные в работах [19]. Поэтому, возможно, имеется некоторая критическая толщина эмали, после превышения которой толщина раковистой области, прилегающей к ДЭГ, уже не будет от нее зависеть для данной анатомической области зуба.

С точки зрения выбранной концепции можно также объяснить отсутствие однозначной корреляции параметров флуоресценции с толщиной эмали по зубам различной групповой принадлежности. Так, например, толщина эмали в пришеечной области моляра 1 нижнего ряда зубов выше, чем толщина эмали резца 2 того же ряда, однако суммарная интенсивность флуоресценции этих зубов практически совпадает (см. рисунок, *a*). Определенное влияние на различное поведение светочувствительных свойств в данном случае может оказывать также то, что раковистая структура ДЭГ зависит от типа зуба. Действительно, для резцов диаметр углублений раковистой структуры ниже, чем для моляров [16]. Именно поэтому мы проводили сравнение по функциональным группам.

Следует, однако, отметить, что при исследовании областей экватора и режущего края зубов были получены результаты, которые указывают на то, что не только толщина эмали и область, прилегающая к ДЭГ, определяют интегральный характер флуоресценции. Действительно, с одной стороны, обнаружено, что в среднем интенсивность флуоресценции эмали в области экватора зубов выше, чем в области режущего края, а толщина эмали в области экватора зубов ниже, чем в области режущего края. Однако, с другой стороны, например, из рисунка, б и в видно, что интенсивность флуоресценции эмали моляра 1 в области режущего края выше, чем интенсивность флуоресценции эмали резца 1 в области экватора нижнего ряда челюсти, хотя толщина в области режущего края моляра 1 выше, чем в области экватора резца 1 (см. табл. 1 и 2). В результате можно сделать вывод о том, что сигнал флуоресценции зависит также от групповой принадлежности зуба, что может проявляться, например, в структуре или химическом составе эмали. Однако этот вывод требует дальнейших исследований. Здесь лишь отметим, что, например, химическая структура ДЭГ неоднородна и зависит от анатомической области зуба [17]. Кроме того, требует дальнейших исследований вопрос о влиянии на характер флуоресценции оптической плотности твердых тканей зубов в зависимости от анатомической области. В работе [20] отмечается рост оптической плотности твердых тканей зубов от жевательных к фронтальным как на верхней, так и на нижней челюсти. Именно этим может быть объяснено превышение параметров флуоресценции эмали в области экватора по сравнению с режущим краем.

Заключение

С помощью метода ЛИФ было проведено исследование флуоресценции различных анатомических областей интактных зубов верхней и нижней челюсти человека in vivo. Обнаружено, что в среднем для всех зубов эмаль в пришеечной области обладает наибольшими параметрами флуоресценции, а эмаль в области режущего края – наименьшими. Для объяснения подобного спектрального поведения нами было высказано предположение о возможном влиянии на характер флуоресценции толщины эмали и многоуровневой области ДЭГ. Для проверки данной гипотезы с помощью методов МСКТ и РЭМ была измерена толщина эмали в соответствующих анатомических областях всех зубов нижней и верхней челюсти. Полученные результаты свидетельствуют о том, что корреляция параметров флуоресценции с толщиной эмали неоднозначна.

Показано, что для пришеечной области параметры флуоресценции эмали действительно существенно зависят от толщины эмали и ее малейших колебаний. При этом влияние толщины эмали, вероятно, сводится просто к уменьшению длины оптического пути для возбуждающего флуоресценцию излучения и как следствие – к существенному вкладу в общий характер флуоресценции наиболее ярко люминесцирующих участков эмали и дентина, прилегающих к ДЭГ. Однако результаты, полученные для области экватора и режущего края, свидетельствуют о том, что характер флуоресценции определяется не только толщиной и ДЭГ, но и, возможно, неоднородностью структуры и химического состава эмали.

Очевидно, полученные результаты крайне важны не только для понимания механизма свечения твердых тканей зубов, но и при разработке медицинских приборов для диагностики некариозных заболеваний зубов, основанных на методе ЛИФ.

ЛИТЕРАТУРА

- Higham S.M., Pender N., Jong E.J., Smith P.W. Application biophysical technologies in dental research. J. Appl. Phys. 2009; 105: 102048.
- 2. Baelum V., Heidmann J., Nyvad B. Dental caries paradigms in diagnosis and diagnostic research. Eur. J. Oral Sci. 2006; 114: 263–77.
- Borisova E., Uzunov Tz., Avramov L. Investigation of dental caries using laser and light-induced autofluorescence methods. Bulgar. J. Phys. 2006; 33: 55–67.
- König K., Flemming G., Hibst R. Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. Cell. Mol. Biol. 1998; 48: 1293–300.
- Сарычева И.Н., Янушевич О.О., Минаков Д.А., Шульгин В.А., Кашкаров В.М. Ранняя диагностика кариеса зубов методом лазерно-индуцированной флуоресценции. Российская стоматология. 2012; 5 (3): 50–6.
- Пихур О.Л., Цимбалистов А.В., Садиков Р.А. Клиновидные дефекты твердых тканей зубов. СПб.: СпецЛит; 2011.

- Грошиков М.И. Некариозные поражения тканей зуба. М.: Медицина, 1985.
- Сарычева И.Н., Янушевич О.О., Минаков Д.А., Шульгин В.А., Кашкаров В.М. Лазерно-индуцированная флюоресценция твердых тканей зуба. Российский стоматологический журнал. 2013; 1: 17–21.
- Даринский М.М. Терапевтическая стоматология. Ростов н/Д: Феникс; 2008.
- Smith T.M., Olejniczak A.J., Reid D.J., Ferrel R.J., Hublin J.J. Modern human molar enamel thickness and enamel-dentine junction shape. Arch. Oral Biol. 2006; 51: 974–95.
- Сарычева И.Н., Янушевич О.О., Минаков Д.А., Шульгин В.А., Кашкаров В.М. Оптоволоконное устройство для регистрации флуоресценции. Патент на изобретение. RUS №: 2464549; 2011: 1–6.
- Bachmann L., Zezell D.M., Ribeiro A.C., Gomes L., Ito A.S. Fluorescence spectroscopy of biological tissues – a review. Appl. Spectroscopy Rev. 2006; 41: 575–90.
- Zhang L., Nelson L., Seibel E. Red-shifted fluorescence of sound dental hard tissue. J. Biomed. Optics. 2011; 16 (7): 071411(1) – 071411(5).
- Cloitre T., Panayotov I.V., Tassery H., Gergely C., Levallois B., Cuisinier F.J.G. Multiphoton imaging of the dentine-enamel junction. J. Biophoton. 2012; 6 (4): 330–7.
- Gallagher R.R., Demos S.G., Balooch M., Marshall G.W., Marshall S.J. Optical spectroscopy and imaging of the dentin-enamel junction in human third molars. J. Biomed. Mater. Res. Pt A. 2003; 64 (2): 372–7.
- Marshall S.J., Balooch M., Habelitz S., Balooch G., Gallagher R., Marshall G.W. The dentin-enamel junction – a natural, multilevel interface. J. Eur. Ceram. Soc. 2003; 23: 2897–904.
- Changqi Xu, Xiaomei Yao, Walker M.P., Yong Wang. Chemical/molecular structure of the dentin-enamel junction is dependent on the intratooth location. Calcif. Tissue Int. 2009; 84: 221–8.
- Боровский Е.В., Леонтьев В.К. Биология полости рта. М.: Медицинская книга; 2001.
- 19. *Scott J.H., Symons N.B.* Introduction to dental anatomy. Edinburgh: Livingstone; 1971.
- 20. *Тюлпин Ю.С.* Исследование возможностей метода лазерной одонтодиагностики: Дисс. М.; 2010.

REFERENCES

- Higham S.M., Pender N., Jong E.J., Smith P.W. Application biophysical technologies in dental research. J. Appl. Phys. 2009; 105: 102048.
- Baelum V., Heidmann J., Nyvad B. Dental caries paradigms in diagnosis and diagnostic research. Eur. J. Oral Sci. 2006; 114: 263–77.
- Borisova E., Uzunov Tz., Avramov L. Investigation of dental caries using laser and light-induced autofluorescence methods. Bulgar. J. Phys. 2006; 33: 55–67.

- König K., Flemming G., Hibst R. Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. Cell. Mol. Biol. 1998; 48: 1293–300.
- Sarycheva I.N., Janushevich O.O., Minakov D.A., Shul'gin V.A., Kashkarov V.M. Early diagnostics of tooth caries by a method of the laser-induced fluorescence. Rossijskaja stomatologija. 2012; 5 (3): 50–6 (in Russian).
- Pihur O.L., Cimbalistov A.V., Sadikov R.A. Wedge-shaped defects of dental hard tissues. St Peterburg: SpecLit; 2011 (in Russian).
- Groshikov M.I. Non-carious tooth tissue damage. Moscow: Meditsina; 1985 (in Russian).
- Sarycheva I.N., Janushevich O.O., Minakov D.A., Shul'gin V.A., Kashkarov V.M. Laser-induced fluorescence of hard dental tissues. Rossijskij stomatologicheskij zhurnal. 2013; 1: 17–21 (in Russian).
- 9. *Carinskij M.M.* Preventive dentistry. Rostov-on-Don: Feniks; 2008 (in Russian).
- Smith T.M., Olejniczak A.J., Reid D.J., Ferrel R.J., Hublin J.J. Modern human molar enamel thickness and enamel-dentine junction shape. Arch. Oral Biol. 2006; 51: 974–95.
- Sarycheva I.N., Janushevich O.O., Minakov D.A., Shul'gin V.A., Kashkarov V.M. Fibre optic device for fluorescence detection. Patent RF, N 2464549; 2011 (in Russian).
- Bachmann L., Zezell D.M., Ribeiro A.C., Gomes L., Ito A.S. Fluorescence spectroscopy of biological tissues – a review. Appl. Spectroscopy Rev. 2006; 41: 575–90.
- Zhang L., Nelson L., Seibel E. Red-shifted fluorescence of sound dental hard tissue. J. Biomed. Optics. 2011; 16 (7): 071411(1) – 071411(5).
- Cloitre T., Panayotov I.V., Tassery H., Gergely C., Levallois B., Cuisinier F.J.G. Multiphoton imaging of the dentine-enamel junction. J. Biophoton. 2012; 6 (4): 330–7.
- Gallagher R.R., Demos S.G., Balooch M., Marshall G.W., Marshall S.J. Optical spectroscopy and imaging of the dentin-enamel junction in human third molars. J. Biomed. Mater. Res. Pt A. 2003; 64 (2): 372–7.
- Marshall S.J., Balooch M., Habelitz S., Balooch G., Gallagher R., Marshall G.W. The dentin-enamel junction – a natural, multilevel interface. J. Eur. Ceram. Soc. 2003; 23: 2897–904.
- Changqi Xu, Xiaomei Yao, Walker M.P., Yong Wang. Chemical/molecular structure of the dentin-enamel junction is dependent on the intratooth location. Calcif. Tissue Int. 2009; 84: 221–8.
- Borovskij E.V., Leont'ev V.K. Oral Biology. Moscow: Medicinskaja kniga; 2001 (in Russian).
- Scott J.H., Symons N.B. Introduction to dental anatomy. Edinburgh: Livingstone; 1971.
- Tjulpin Ju.S. Investigation of possibilities of laser odontodiagnostiki: Diss. Moscow; 2010 (in Russian).

Поступила 26.11.13