

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-1-74-79

УДК: 616.314-002-02

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ЛУЧЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УРОВЕНЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЗНЫХ УЧАСТКАХ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ МЕТОДОМ РАМАН-ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ

Нуриева Н. С., Беляков Г. И., Тезиков Д. А.

Южно-Уральский государственный медицинский университет, г. Челябинск, Россия

Аннотация

Предмет исследования — изменение минерализации твердых тканей зубов под воздействием лучевого фактора.

Цель — изучить влияние лучевого фактора на уровень минерализации твердых тканей зубов методом раман-флюоресценции.

Методология. Исследование проведено на кафедре ортопедической стоматологии и ортодонтии ЮУГМУ. Исследование проводилось на удаленных по клиническим показаниям зубах. Все зубы были разделены на три группы в зависимости от величины лучевого воздействия (2 Гр, 70 Гр, 110 Гр). Основным методом исследования являлось изучение раман-флюоресценции участков зубов на аппаратно-программном комплексе «ИнСпектр» с диагностической чувствительностью по интегральной концентрации аэробно-анаэробной микробной взвеси до 10^9 КОЕ/мл. Было произведено исследование зубов в трех участках (шейка, экватор, режущий край) до и после лучевого воздействия.

Результаты. Раман-флюоресцентная диагностика поверхности зуба позволила наглядно увидеть разницу в минерализации в оцифрованных показателях. Так, например, по данным показателей до и после воздействия лучевого фактора видно, что показатели минерализации, вне зависимости от дозы, значимых различий не имели. В то же время, имеются достоверные различия уровня минерализации в области различных участков зуба (экватор, пришеечная область, режущий край).

Выводы. В разных участках поверхности зуба уровень минерализации твердых тканей отличается. Наименьшая отмечается в области шейки зубов (резцы — $y = 145 \pm 1,5$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 141 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 142 \pm 1,8$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 143 \pm 1,3$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$), средняя — в области режущего края и окклюзионной поверхности (резцы — $y = 374 \pm 1,7$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 377 \pm 1,3$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 375 \pm 1,2$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 375 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$) и максимальная — в области экватора (резцы — $y = 413 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 414 \pm 1,9$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 415 \pm 1,7$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 419 \pm 1,6$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$). Метод раман-флюоресцентной диагностики позволяет оценивать изменение минерализации благодаря разности потенциалов в участках твердых тканей зуба в различных участках (шейка, экватор, режущий край) всех функциональных групп зубов (резцы, клыки, премоляры, моляры) как до, так и после прямого лучевого воздействия. Прямое лучевое воздействие не оказывает достоверного влияния на уровень минерализации твердых тканей зубов вне зависимости от применяемой дозы во всех функциональных группах (резцы, клыки, премоляры, моляры), во всех участках зубов (экватор, режущий край, пришеечная область).

Ключевые слова: лучевой кариес, минерализация твердых тканей, раман-флюоресценция, стоматология, лучевая терапия, онкология

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Наталья Сергеевна НУРИЕВА ORCID ID 0000-0002-5656-2286

д.м.н., профессор кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии, Южно-Уральский государственный медицинский университет, г. Челябинск, Россия
natakira@mail.ru

Герман Игоревич БЕЛЯКОВ ORCID ID 0000-0002-1927-0751

аспирант кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии, Южно-Уральский государственный медицинский университет, г. Челябинск, Россия
belyakov-95@mail.ru

Дмитрий Александрович ТЕЗИКОВ ORCID ID 0009-0007-2056-155X

к.м.н., ассистент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии, Южно-Уральский государственный медицинский университет, г. Челябинск, Россия
tezia-tooth@mail.ru

Адрес для переписки: **Герман Игоревич БЕЛЯКОВ**

454091 г. Челябинск, ул. Цвиллинга, д. 63, кв. 64

+7 (963) 4749759

belyakov-95@mail.ru

Образец цитирования:

Нуриева Н. С., Беляков Г. И., Тезиков Д. А.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ЛУЧЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УРОВЕНЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЗНЫХ УЧАСТКАХ ТВЕРДЫХ ТКАНЕЙ ЗУБОВ МЕТОДОМ РАМАН-ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ. Проблемы стоматологии. 2024; 1: 74-79.

© Нуриева Н. С. и др., 2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-1-74-79

Поступила 05.03.2024. Принята к печати 30.04.2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-1-74-79

TO STUDY THE EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF RADIATION EXPOSURE ON THE LEVEL OF MINERALIZATION IN DIFFERENT AREAS OF HARD DENTAL TISSUES BY RAMAN FLUORESCENCE

Nurieva N.S., Belyakov G.I., Tezиков D.A.

South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

Annotation

Subject. Changes in the mineralization of hard tissues of teeth under the influence of radiation factor.

Objectives. To study the effect of radiation factor on the level of mineralization of hard dental tissues by Raman fluorescence.

Methodology. The study was conducted at the Department of Orthopedic Dentistry and Orthodontics of the SUSMU. The study was conducted on clinically removed teeth. All teeth were divided into three groups depending on the amount of radiation exposure (2 Gy, 70 Gy, 110 Gy). The main research method was the study of raman fluorescence of tooth sections on the hardware and software complex "InSpectr" with diagnostic sensitivity for the integral concentration of aerobic-anaerobic microbial suspension up to 10^9 CFU/ml. Teeth were examined in three areas (neck, equator, cutting edge) before and after radiation exposure.

Results. Raman fluorescence diagnostics of the tooth surface made it possible to visually see the difference in mineralization in digitized indicators. For example, according to the indicators before and after exposure to the radiation factor, it is clear that the mineralization indicators, regardless of the dose, had no significant differences. At the same time, there are significant differences in the level of mineralization in the area of different tooth settings (equator, cervical region, cutting edge).

Conclusion. In different areas of the tooth surface, the level of mineralization of hard tissues differs. The smallest is observed in the area of the neck of the teeth (incisors, $y = 145 \pm 1.5$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, canines, $y = 141 \pm 1.1$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, premolars, $y = 142 \pm 1.8$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, molars, $y = 143 \pm 1.3$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$), middle, in the area of the cutting edge and occlusal surface (incisors, $y = 374 \pm 1.7$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, canines, $y = 377 \pm 1.3$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, premolars, $y = 375 \pm 1.2$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, molars, $y = 375 \pm 1.1$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$), and maximum, in the equator region (incisors, $y = 413 \pm 1.1$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, canines, $y = 414 \pm 1.9$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, premolars, $y = 415 \pm 1.7$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$, molars, $y = 419 \pm 1.6$, $x = 963 \text{ cm}^{-1}$).

The method of Raman-fluorescence diagnostics makes it possible to detect changes in mineralization due to the potential difference in the areas of hard tooth tissues in various areas (neck, equator, cutting edge) of all functional groups of teeth (incisors, canines, premolars, molars) both before and after direct radiation exposure, direct radiation exposure does not significantly change the level of mineralization of hard dental tissues, regardless of the dose applied in all functional groups (incisors, canines, premolars, molars), in all areas of the teeth (equator, cutting edge, cervical region).

Keywords: radiation caries, mineralization of hard tissues, Raman fluorescence, dentistry, radiation therapy, oncology

The authors declare no conflict of interest.

Natalia S. NURIEVA ORCID ID 0000-0002-5656-2286

Grand PhD in Medical Sciences, Professor of the Department of Prosthetic Dentistry, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia
natakipa@mail.ru

German I. BELYAKOV ORCID ID 0000-0002-1927-0751

Postgraduate Student of the Department of Prosthetic Dentistry, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia
belyakov-95@mail.ru

Dmitriy A. TEZIKOV ORCID ID 0009-0007-2056-155X

PhD in Medical Sciences, Lecturer of the Department of Prosthetic Dentistry, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia
tezia-tooth@mail.ru

Correspondence address: German I. BELYAKOV

Zvillinga str. 63–64, Chelyabinsk, Russia, 454091

+7 (963) 4749759

belyakov-95@mail.ru

For citation:

Nurieva N.S., Belyakov G.I., Tezиков D.A.

TO STUDY THE EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF RADIATION EXPOSURE ON THE LEVEL OF MINERALIZATION IN DIFFERENT AREAS OF HARD DENTAL TISSUES BY RAMAN FLUORESCENCE. *Actual problems in dentistry*. 2024; 1: 74-79. (In Russ.)

© Nurieva N.S. et al., 2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-1-74-79

Received 05.03.2024. Accepted 30.04.2024

Введение

В настоящее время онкологические заболевания очень распространены в России и в мире. По данным Всемирной организации здравоохранения, за 2022 год у 20 млн пациентов было выявлено онкологическое заболевание, и в 9,7 млн случаев это привело к смерти. Пятилетняя выживаемость с момента диагностики отмечается у 53,5 млн человек. В течение всей жизни около 20% населения сталкивается с онкологическими заболеваниями. По статистике, от этого умирает каждый девятый мужчина и каждая двенадцатая женщина [1, 6].

Отдельно стоит отметить, что онкология полости рта остается в центре внимания из-за постоянного роста заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований (ЗНО) губ и полости рта, твердых тканей челюстно-лицевой области [1, 5].

При лечении онкологических заболеваний используются различные методы, одним из которых является лучевая терапия.

Факторы и процессы, приводящие к деминерализации твердых тканей зуба, многообразны. Одним из таких факторов является лучевая терапия. Применение методов лучевой терапии играет большую роль в клинической практике лечения онкологических заболеваний. Стоит отметить, что данный вид терапии может вызывать тяжелые осложнения, которые уменьшают возможности его использования. Актуальным направлением улучшения лучевой терапии считается снижение негативных последствий — поражений, реакций. В то же время, ионизирующее облучение влияет на ткани полости рта, вызывая осложнения и в них. Чаще всего врачи-стоматологи в своей клинической практике встречаются с такими осложнениями, как телеангиоэктазии, ксеростомия, синдром хронической боли, атрофия и изменение чувствительности слизистой оболочки, изменения зубов. Учитывая растущие успехи работы онкологов по лечению злокачественных новообразований, ожидаемо увеличивается продолжительность жизни таких пациентов и возрастает их общее количество на стоматологическом приеме.

После воздействия лучевого фактора снижается минерализация и резистентность твердых тканей зуба к кариесу за счет многих причин.

Как в России, так и за рубежом диагностика, лечение и профилактика изменений зубов после лучевой терапии остаются одной из ведущих проблем в стоматологии. По данным научной литературы, вероятность появления лучевого кариеса зубов в разных странах после лучевой терапии — от 40 до 54%.

По приведенным высоким показателям можно сделать вывод, что проблема лучевых изменений зубов является актуальной.

Благодаря развитию квантовой электроники, создаются предпосылки внедрения в медицину различных лазерных технологий для реализации практических и научных целей. В стоматологии активно внедряются лазерные методы, имеющие диагностическую,

профилактическую, терапевтическую направленность [6, 8, 35]. Перед стоматологами стоит проблема ранней мгновенной диагностики изменения твердых тканей зубов с высокой чувствительностью.

Некоторые из существующих методов оценки спектра, основанные на инфракрасном, флюоресцентном и рамановском поле, сегодня являются основными экспресс-технологиями «по месту» в изучении особенностей структуры, клинического статуса, органо-минеральных компонентов ЧЛЮ, в частности костных и зубных тканей. Эти экспресс-методы рекомендованы к освоению и внедрению в клинику Президиумом РАМН РФ.

В настоящее время образования в области головы и шеи очень распространены. При их лечении очень часто требуется лучевая терапия. Влияние лучевого воздействия на органы зубочелюстной системы чрезвычайно вариабельно. Одним из наиболее часто встречающихся стоматологам осложнений является лучевой кариес. Под воздействием облучения создается несколько факторов, приводящих к лучевому кариесу, но во всех случаях присутствует снижение уровня минерализации твердых тканей зубов. В настоящее время методы лазерной раман-флюоресцентной спектроскопии позволяют оценить уровень минерализации твердых тканей зубов, их технологическая и аппаратная реализация играет все большую роль в стоматологии [5–8]. Также, учитывая растущую точность и доступность методов лазерной раман-флюоресцентной спектроскопии, врачи активно внедряют их использование в стоматологическую практику [4–8]. При этом до сих пор остается не решенным вопрос этиологии развития лучевых поражений зубов в части точного понимания прямого или опосредованного воздействия лучевого фактора на изменения минерализации твердых тканей.

Цель работы — изучить влияние лучевого фактора на уровень минерализации твердых тканей зубов методом раман-флюоресценции.

Материалы и методы исследования

В данной работе было проведено изучение минерализации твердых тканей зубов методом раман-флюоресцентной спектроскопии [5]. Исследование проводилось на кафедре ортопедической стоматологии и ортодонтии ЮУГМУ. В ходе исследования использовали АПК «ИнСпектр М», (длина волны — 514 нм) по предложенной схеме [2] (рис. 1).

Для решения поставленной цели было произведено исследование на удаленных по клиническим показаниям зубах (*in vitro*), подвергнутых облучению в трех разных суммарных дозах (2 Гр, 70 Гр, 110 Гр). В исследование включали зубы без дефектов твердых тканей, удаленные у пациентов среднего возраста (от 30 до 50 лет), не имеющих тяжелой соматической патологии. Зубы сразу после удаления (240 зубов, разделенных по группам; резцы / клыки / премоляры / моляры по 60 шт. в каждой) были подвергнуты рамановской спектроскопии в трех

участках (экватор, пришеечная область, режущий край (резцы, клыки) или окклюзионная поверхность (премоляры, моляры)) на АПК «ИнСпектрМ» и разделены на 3 подгруппы (по 20 шт в зависимости от планируемой дальнейшей лучевой дозы воздействия в 2 Гр, 70 Гр, 110 Гр). В дальнейшем на базе ГАУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины» специалистом по лучевой терапии исследуемые зубы подверглись лучевому воздействию на рентгеновской установке ЛНК-268. После облучения зубов согласно дозе, в каждой группе зубы были подвергнуты повторному исследованию рамановской спектроскопии в тех же участках.

Для анализа интенсивности рамановского излучения участков твердых тканей в количественном эквиваленте (в относительных единицах) были зафиксированы показатели в максимальной и минимальной мощности, а также информация об интенсивности флюоресценции. Интенсивность Рамана (М ср.) считали как разницу показателей максимальной и минимальной мощности (рис. 3) [4].

В дальнейшем была произведена обработка результатов с помощью программной части прибора. Все измерения происходили в течении 5 мин. Полученные результаты обрабатывали в соответствии с принципами медицинской статистики с использованием пакета программ IBM SPSS Statistics 20. Количественные показатели обрабатывались с использованием методов описательной статистики и представлены в виде среднего значения (М) и стандартного отклонения (m). Результаты вычисления представлены в форме $M \pm m$.

Для удобства восприятия информации данные измерений (М ср.) были объединены и представлены в таблицах (табл. 1, 2, 3) и изображены на рисунке (рис. 2).

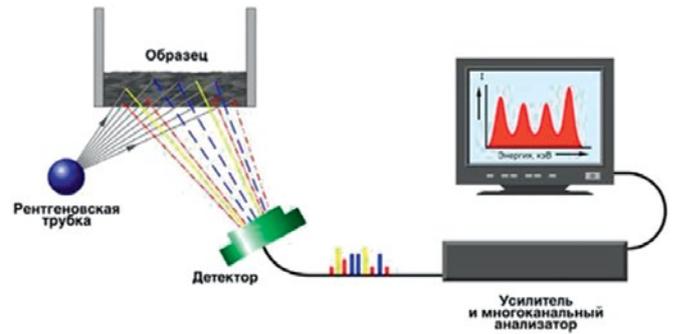


Рис. 1. Схема работы АПК «ИнСпектрМ» со световодной насадкой
Fig. 1. Hardware and software complex "InSpectrM" with a light guide attachment

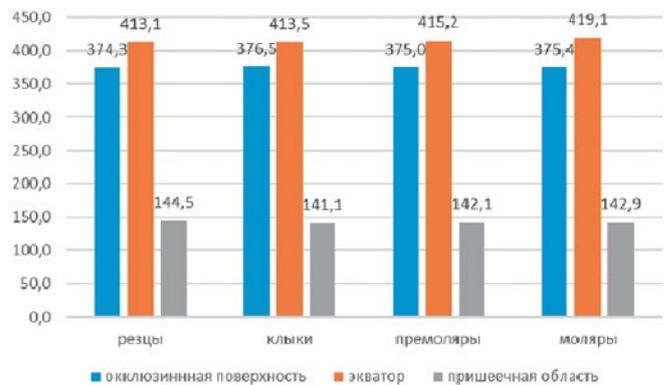


Рис. 2. Спектральные характеристики твердых тканей зуба по участкам. Интенсивность Рамана (М ср.)

Fig. 2. Spectral characteristics of hard tissues of the tooth area

Таблица 1

Спектральные характеристики твердых тканей зуба после лучевого воздействия (2 Гр)

Table 1. Spectral characteristics of hard tissues of the tooth (2 Gy)

Локализация измерения	Доза облучения	Верхний пик (интенсивность сигнала в максимуме / длина волны в максимуме)	Нижний уровень (интенсивность сигнала в минимуме / длина волны в максимуме)	Интенсивность Рамана (относительные единицы (М ср.))	Интенсивность флюоресценции в максимуме (относительные ед.)
Окклюзионная поверхность	0 Гр	$y = 8271,6 \pm 22,9,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$Y = 7898,4 \pm 29,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 373 \pm 12,8,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 8455 \pm 21,3$
	2 Гр	$y = 8267,85 \pm 24,6,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 7892,45 \pm 23,9,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 375,4 \pm 13,4,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 8458,35 \pm 22,2$
экватор	0 Гр	$y = 6271,2 \pm 29,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 5856,8 \pm 45,9,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 414,4 \pm 29,7,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6780,85 \pm 65,5$
	2 Гр	$y = 6259,1 \pm 32,7,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 5852,7 \pm 45,3,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 406,4 \pm 23,6,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6772,35 \pm 70,2$
Пришеечная область вестибулярная поверхность	0 Гр	$y = 5109,85 \pm 19,2,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 4964,75 \pm 19,3,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 145 \pm 8,8,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6043 \pm 25,12$
	2 Гр	$y = 5104,25 \pm 15,4,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 4958,25 \pm 16,4,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 146 \pm 8,8,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6031,4 \pm 24,2$

Таблица 2
77

Результаты исследования и их обсуждение

Информация, которую мы получили в исследовании, помогла глубже понять процесс изменения минерализации поверхности твердых тканей зубов под прямым воздействием лучевого воздействия в различных дозах. По результатам данного исследования, не выявлено достоверных различий уровня минерализации (по методу раман-флюоресцентной спектроскопии) и микробного фактора (по методу флюоресценции) у зубов до и после прямого лучевого воздействия вне зависимости от дозы (2 Гр, 70 Гр, 110 Гр) ни в одной из функциональных групп (резцы, клыки, премоляры, моляры). Все имеющиеся отличия находятся в пределах статистической погрешности. Итоговые систематизированные результаты раман-флюоресцентной диагностики в зависимости от дозы лучевого воздействия представлены в таблицах (табл. 1–3). В то же

время, данные о минерализации твердых тканей зубов в различных участках зуба во всех функциональных группах сильно различались. Из анализа полученных данных следует, что имеется достоверное различие минерализации твердых тканей зубов в различных участках твердых тканей зубов (экватор, режущий край, пришеечная область) (рис. 2).

Проведенное исследование показывает отсутствие прямого воздействия лучевого фактора вне зависимости от дозы на уровень минерализации твердых тканей зубов. Эти данные позволяют предполагать, что имеет место опосредованный механизм влияния лучевой терапии на возникновение лучевых поражений зубов — за счет снижения уровня гигиены, саливации и др.

В то же время, данное исследование показывает разный уровень минерализации в разных участках зуба как до, так и после лучевого воздействия.

Таблица 2

Спектральные характеристики твердых тканей зуба после лучевого воздействия (70 Гр)

Table 2. Spectral characteristics of hard tissues of the tooth (70 Gy)

Локализация измерения	Доза облучения	Верхний пик (интенсивность сигнала в максимуме/длина волны в максимуме)	Нижний уровень (интенсивность сигнала в минимуме/длина волны в максимуме)	Интенсивность Рамана (относительные единицы (M ср.))	Интенсивность флюоресценции в максимуме (относительные ед.)
Окклюзионная поверхность	0 Гр	$y = 8253,45 \pm 17,4,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 7876,6 \pm 24,5$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 376,85 \pm 14,1,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 8465 \pm 21,1$
	70 Гр	$y = 8270,8 \pm 24,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 7895,95 \pm 25,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 374,85 \pm 14,9,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 8462,55 \pm 24$
Экватор	0 Гр	$y = 6266,9 \pm 30,2$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 5855 \pm 44,7,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 411 \pm 25,5,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6785,6 \pm 72,4$
	70 Гр	$y = 6277,1 \pm 27,2,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 5867,25 \pm 47,3$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 409,85 \pm 29,3$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6756,05 \pm 60,3$
Пришеечная область вестибулярная поверхность	0 Гр	$y = 5109,4 \pm 21,12,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 4965 \pm 22,7,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 144,4 \pm 9,7$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6037,7 \pm 26$
	70 Гр	$y = 5105,85 \pm 14,4,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 4958,8 \pm 16,8,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 147 \pm 8,6,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6038,1 \pm 26$

Таблица 3

Спектральные характеристики твердых тканей зуба после лучевого воздействия (110 Гр)

Table 3. Spectral characteristics of hard tissues of the tooth (110 Gy)

Локализация измерения	Доза облучения	Верхний пик (интенсивность сигнала в максимуме / длина волны в максимуме)	Нижний уровень (интенсивность сигнала в минимуме / длина волны в максимуме)	Интенсивность Рамана (относительные единицы (M ср.))	Интенсивность флюоресценции в максимуме (относительные ед.)
Окклюзионная поверхность	0 Гр	$y = 8266,95 \pm 25,4,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 7894 \pm 27,8$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 372,95 \pm 14,1,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 8458 \pm 22,7$
	110 Гр	$y = 8264,35 \pm 16,8,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 7889,55 \pm 20,7,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 374,8 \pm 5,7,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 8455,95 \pm 24$
экватор	0 Гр	$y = 6279,6 \pm 19,4$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 5865,7 \pm 34,8,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 413,9 \pm 27,6,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6778,1 \pm 65,4$
	110 Гр	$y = 6271,75 \pm 32,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 5869,8 \pm 38,3$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 402 \pm 25,6$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6804,1 \pm 68,12$
Пришеечная область вестибулярная поверхность	0 Гр	$y = 5113,8 \pm 20,5,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 4969,7 \pm 21,2,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 144,1 \pm 9,8$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 144,1 \pm 21,17$
	110 Гр	$y = 5110,55 \pm 17,3,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 4967,8 \pm 21,8,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 142,75 \pm 8,8,$ $x = 963 \text{ см}^{-1}$	$y = 6041,9 \pm 19,9$

Как видно из результатов, данные, полученные с разных участков поверхности твердых тканей зубов (экватор, шейка, режущий край), отличаются (рис. 2). Наименьшая минерализация, согласно данным (Интенсивность Рамана), имеется в области шейки зубов (резцы — $y = 145 \pm 1,5$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 141 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 142 \pm 1,8$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 143 \pm 1,3$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$), средняя — в области режущего края и окклюзионной поверхности (резцы — $y = 374 \pm 1,7$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 377 \pm 1,3$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 375 \pm 1,2$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 375 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$) и максимальная — в области экватора (резцы — $y = 413 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 414 \pm 1,9$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 415 \pm 1,7$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 419 \pm 1,6$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$). При этом в каждой из областей уровень минерализации не изменяется после лучевого воздействия вне зависимости от дозы.

Выводы

В разных участках поверхности зуба уровень минерализации твердых тканей отличается. Наименьший отмечается в области шейки зубов (резцы — $y = 145 \pm 1,5$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 141 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 142 \pm 1,8$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 143 \pm 1,3$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$), средняя — в области режущего края и окклюзионной поверхности (резцы — $y = 374 \pm 1,7$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 377 \pm 1,3$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 375 \pm 1,2$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 375 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$) и максимальная в области экватора (резцы — $y = 413 \pm 1,1$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, клыки — $y = 414 \pm 1,9$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, премоляры — $y = 415 \pm 1,7$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$, моляры — $y = 419 \pm 1,6$, $x = 963 \text{ см}^{-1}$).

Литература/References

1. Турсуун-заде Р.Т. Оценка распространенности злокачественных новообразований в России с применением модели заболеваемость-смертность. Демографическое обозрение. 2018;5(3):103-126. [R.T. Tursun-Zade. An evaluation of the prevalence of malignant neoplasms in Russia using an incidence-mortality model. Demographic Review. 2018;5(3):103-126. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17323/demreview.v5i3.8137>
2. Александров М.Т., Маргарян Э.Г. Применение лазерных технологий в клинике терапевтической стоматологии (обоснование, возможности, перспективы). Российская стоматология. 2017;10(3):31-36. [M.T. Alexandrov, E.G. Margaryan. Laser technique application in therapeutic dentistry in clinic (rationale, possibilities, perspectives). Russian dentistry. 2017;10(3):31-36. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/rosstomat201710331-36>
3. Александров М.Т., Кукушкин В.И., Полякова М.А., Новожилова Н.Е., Бабина К.С., Аракелян М.Г., Баграмова Г.Э., Пашков Е.П., Дмитриева Е.Ф. Раман-флуоресцентные характеристики твердых тканей зубов и их клиническое значение. Российский стоматологический журнал. 2018;22(6):276-280. [M.T. Aleksandrov, V.I. Kukushkin, M.A. Polyakova, N.E. Novozhilova, K.S. Babina, M.G. Arakelyan, G.E. Bagramova, E.P. Pashkov, E.F. Dmitrieva. Raman fluorescence characteristics of hard dental tissues and their clinical significance. Russian Dental Journal. 2018;22(6):276-280. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18821/1728-2802-2018-22-6-276-280>
4. Нуриева Н.С., Беляков Г.И. Исследование минерализации твердых тканей зубов, пораженных лучевым кариесом, с помощью метода раман-флуоресцентной диагностики. Проблемы стоматологии. 2022;18(4):36-40. [N.S. Nurieva, G.I. Belyakov. Study of the mineralization of hard tissues of teeth affected by radiation caries using the method of raman fluorescent diagnosis. 2022;18(4):36-40. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-2022-18-4-30-34>
5. Нуриева Н.С., Беляков Г.И. Исследование минерализации твердых тканей зубов, пораженных лучевым кариесом, с помощью метода раман-флуоресцентной диагностики. Проблемы стоматологии. 2023;4:30-34. [N.S. Nurieva, G.I. Belyakov. Study of mineralization of hard tissues of teeth affected by radiation caries using the Raman fluorescence diagnostic method. Problems of dentistry. 2023;4:30-34. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18481/2077-7566-2022-18-4-30-34>
6. Магсумова О.А., Полканова В.А., Тимченко Е.В., Волова Л.Т. Рамановская спектроскопия и ее применение в стоматологии. Стоматология. 2021;100(4):137-142. [O.A. Magsumova, V.A. Polkanova, E.V. Timchenko, L.T. Volova. Raman spectroscopy and its application in different areas of medicine. Stomatologiya. 2021;100(4):137-142. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/stomat202110004137>
7. Бажутова И.В., Магсумова О.А., Фролов О.О., Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Трунин Д.А., Комлев С.С., Полканова В.А. Оценка органического и минерального состава эмали зубов методом рамановской спектроскопии: экспериментальное неслучайное исследование. Кубанский научный медицинский вестник. 2021;28(4):118-132. [I.V. Bazhutova, O.A. Magsumova, O.O. Frolov, E.V. Timchenko, P.E. Timchenko, D.A. Trunin, S.S. Komlev, V.A. Polkanova. Raman spectroscopy analysis of dental enamel organic and mineral composition: an experimental non-randomised study. Kuban Scientific Medical Bulletin. 2021;28(4):118-132. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2021-28-4-118-132>
8. Магсумова О.А. Оценка изменений кислотоустойчивости и минерального состава эмали при химическом отбеливании зубов. Клиническая стоматология. 2022;25(1):13-19. [O.A. Magsumova. Assessment of changes in acid resistance and mineral composition of enamel during chemical teeth whitening. Clinical dentistry. 2022;25(1):13-19. (In Russ.)]. https://doi.org/10.37988/1811-153X_2022_1_13
9. Бажутова И.В., Магсумова О.А., Фролов О.О., Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Трунин Д.А., Комлев С.С., Полканова В.А. Оценка органического и минерального состава эмали зубов методом рамановской спектроскопии: экспериментальное неслучайное исследование. Кубанский научный медицинский вестник. 2021;28(4):118-132. [I.V. Bazhutova, O.A. Magsumova, O.O. Frolov, E.V. Timchenko, P.E. Timchenko, D.A. Trunin, S.S. Komlev, V.A. Polkanova. Raman spectroscopy analysis of dental enamel organic and mineral composition: an experimental non-randomised study. Kuban Scientific Medical Bulletin. 2021;28(4):118-132. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2021-28-4-118-132>

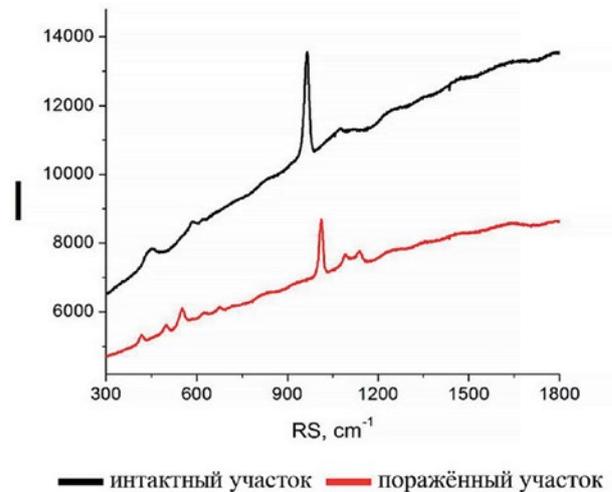


Рис. 3. Нахождение рамановских линий

Fig. 3. Finding Raman lines

Метод раман-флуоресцентной диагностики позволяет оценивать изменение минерализации благодаря разности потенциалов в участках твердых тканей зуба в различных участках (шейка, экватор, режущий край) всех функциональных групп зубов (резцы, клыки, премоляры, моляры) как до, так и после прямого лучевого воздействия.

Прямое лучевое воздействие не оказывает достоверного влияния на уровень минерализации твердых тканей зубов вне зависимости от применяемой дозы во всех функциональных группах (резцы, клыки, премоляры, моляры), во всех участках зубов (экватор, режущий край, пришеечная область).