

ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

doi: 10.51639/2713-0568_2022_2_3_20

УДК 543.424

ГРНТИ 29.31.27

ВАК 01.04.05

Рамановская спектроскопия для оценки твёрдых тканей зубов при лечении пародонтита

¹ Ионов А. Ю., ¹ Фролов О. О., ¹ Тимченко П. Е., ² Бажутова И. В., ¹ Тимченко Е. В.

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С. П. Королёва, 443086, Самара, Россия

² Самарский государственный медицинский университет, биотехнологический центр
«БиоТех», 443099, Самара, Россия

e-mail: artem.ionov.96@mail.ru, frolovaleh@gmail.com, timpavel@mail.ru, docba@mail.ru,
^{*} laser-optics.timchenko@mail.ru

В данной работе представлены результаты исследований эмали и цемента зубов при пародонтите до и после кюретажа. В качестве метода оценки влияния кюретажа на твёрдые ткани зубов был использован метод спектроскопии комбинационного рассеяния. В результате проведённых исследований проведён спектральный анализ цемента и эмали зубов при пародонтите до и после лечения, были выявлены спектральные изменения в составе эмали и цемента зубов, которые связаны с изменением минерального состава и образованием органического матрикса.

Ключевые слова: Рамановская спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, кюретаж, пародонтит.

Введение

Пародонтит — заболевание воспалительного характера, сопровождающееся деструктивным разрушением всех тканей пародонта. Клинические проявления пародонтита весьма разнообразны и зависят от тяжести течения и распространенности патологического процесса [1]. Кюретаж является одним из методов лечения данного заболевания. Целью кюретажа является удаление из периодонтального кармана грануляций, вегетирующего эпителия, зубного камня, пораженного цемента [2].

В настоящее время в литературе, нет однозначной информации о том, какое влияние оказывает операция кюретажа на ткани зубов.

Существует множество оптических методов оценки состояния зубов при пародонтите, такие как, ортопантомография, рентгенография, трёхмерная компьютерная томография и другие [3–6]. Тем не менее, данные методы не позволяют оценить состав и изменения структуры зубов после операции кюретажа, чтобы дополнительно можно было назначить лечение и восстановительную терапию для получения наилучшего результата.

Данную задачу можно решить с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния, который получил широкое распространение в медицине [7–10]. Данный метод позволяет проводить оценку относительного состава биообъектов.

В работе [9] используется метод спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки степени минерализации твёрдых тканей зубов.

В ранее опубликованной нашей работе [10] приведены результаты спектральных исследований тканей зубов при пародонтите. Введены критерии ранней диагностики данного заболевания.

Целью работы являлось применение метода спектроскопии комбинационного рассеяния для оценки твёрдых тканей зубов при пародонтите до и после лечения.

Первый раздел: материалы и методы

В качестве объектов исследований были использованы зубы, удалённые в связи с хроническим пародонтитом. Диагноз пародонтит ставился клинически и при анализе компьютерной конусно-лучевой томографии (КТ) (код заболевания по МКБ-10 (1997 г.) - K05.3). Выделены две основные группы образцов: первая группа – удалённые зубы пациентов до операции кюретажа; вторая группа – удалённые зубы тех же пациентов после проведения операции кюретажа. Была исследована эмаль и цемент исследуемых групп зубов.

Метод спектроскопии КР был реализован с помощью экспериментального стенда, состоящего из рамановского пробника RPB-785, совмещенного с лазерным модулем LuxxMasterLML-785.ORB-04 (мощность до 500 мВт, длина волны $784,7 \pm 0,05$ нм) и высокоразрешающего цифрового спектрометра Shamrocksr-303i, обеспечивающего спектральное разрешение 0,15 нм, со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE [11]. Детальный анализ спектров КР осуществлялся в программной среде MagicPlotPro, а также с помощью метода дискриминантного анализа (LDA) в программе IBMSPSSStatistics [12].

Второй раздел: результаты исследований

На рисунке 1 приведены усредненные спектры КР цемента и эмали зубов при пародонтите до и после кюретажа.

Из рисунка видно, что для цемента зубов характерны изменения на линиях ~ 956 см⁻¹, соответствующих гидроксипатиту и ~ 1070 см⁻¹, соответствующая C–O плоскостному валентному колебанию карбонат-иона гидроксипатита CO₃²⁻(v1), так же происходят изменения на линиях ~ 1259 см⁻¹ (AmidIII), ~ 1570 см⁻¹ (амид II Parallel/Antiparallel β -sheestructure) и ~ 1745 см⁻¹ по сравнению с группой до проведения кюретажа. Спектральные изменения цемента зубов, после кюретажа, обусловлены восстановлением минеральных компонентов в тканях и образованием нового цемента за счёт удаления зубного камня и процессов реминерализации.

В то время для эмали зубов характерны спектральные изменения, связанные с изменением относительной интенсивности линий 956 см⁻¹ (v₁P–Osymmetricstretch (PO₄³⁻) и 1070 см⁻¹ (C–Oinplanestretch (CO₂³v1)). Данные линии связаны с изменением минерального состава. Также наблюдаются изменения интенсивности линий на 1449 см⁻¹ (Lipidsandproteins), 1036 см⁻¹ (phenylalanine (collagenassignment)), 854 см⁻¹ (Hydroxyprolinev(C–C) stretch), связанные с образованием органического матрикса.

Спектральные изменения, связанные с изменением минеральных компонент после проведения операции кюретажа связаны с тем, что в процессе кюретажа удаляется зубной камень соответственно, что приводит к уменьшению минерализации эмали.

Спектральные изменения, связанные с изменением органического состава, видимо, обусловлены восстановлением коллагена после данной операции.

Для повышения информативности полученных спектров КР был произведён нелинейный регрессионный анализ спектров, состоящий в их разложении на спектральные линии. На рисунке 2 представлен результат разложения спектрального контура на сумму распределений линий Гаусса

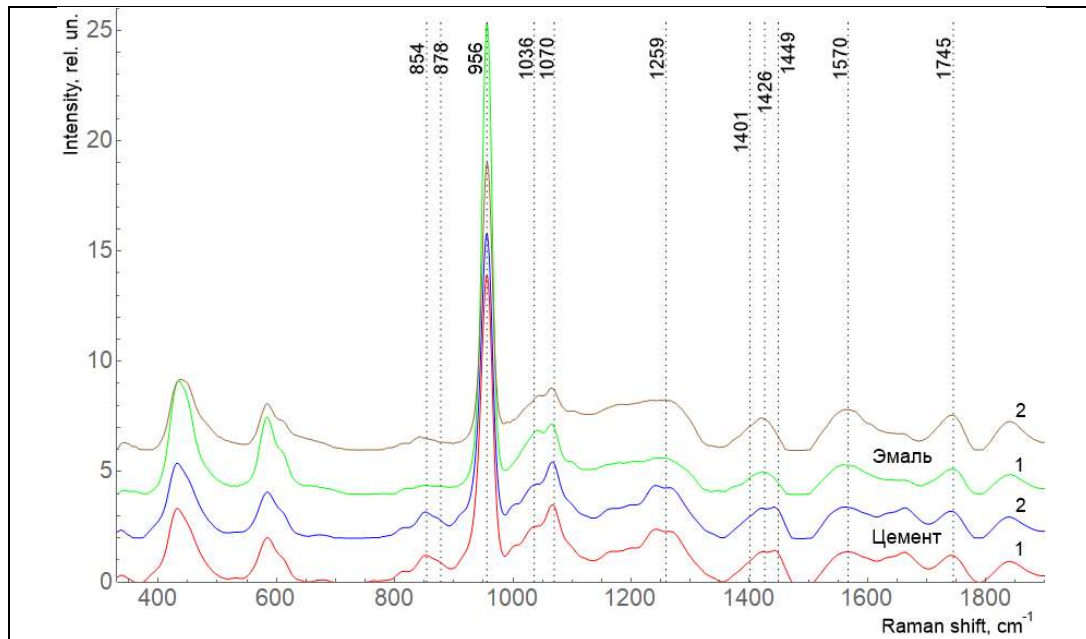


Рис. 1. Сравнение спектров эмали и цемента зубов при пародонтите до и после лечения: 1 – до кюретажа; 2– после кюретажа

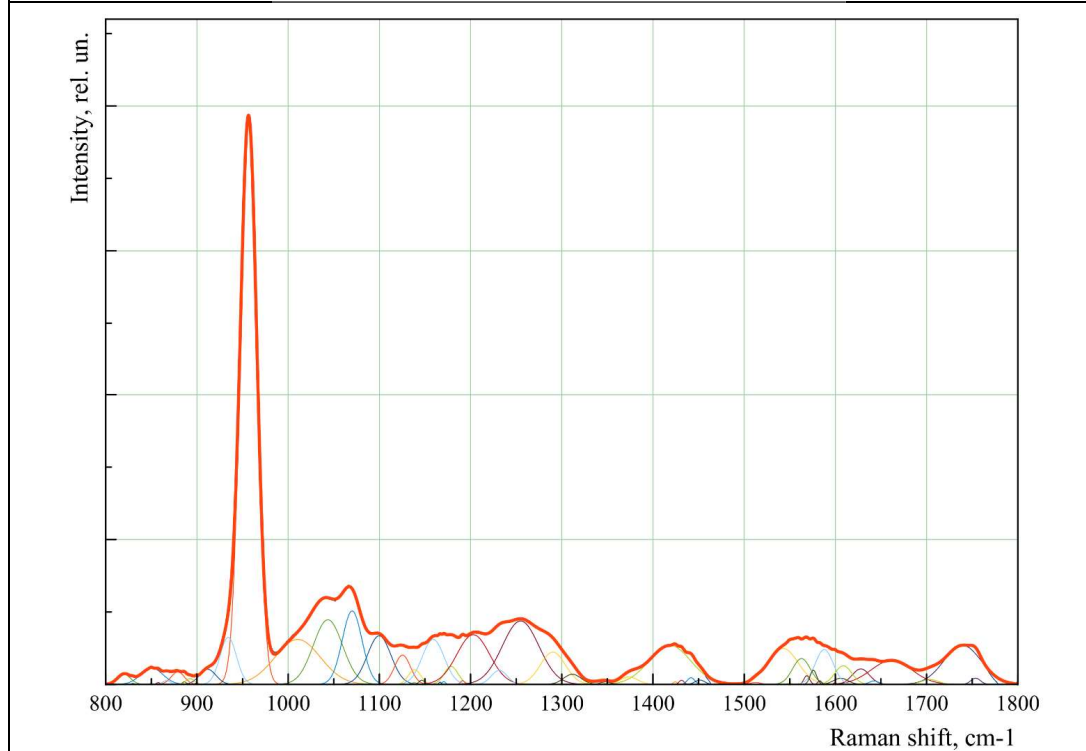


Рис. 2. Разложение спектрального контура для образцов эмали

Среднее значение коэффициента детерминации результирующего спектра от исходного в области $800...1780\text{ см}^{-1}$ составило $R^2 = 0,999$, относительная погрешность определения интенсивности спектральных линий а не превышает 5 %, усреднённое стандартное отклонение координаты линии x_0 составляет $0,1\text{ см}^{-1}$, усредненное стандартное отклонение ширины линии (HWHM) Гаусса dx составило $1,8\text{ см}^{-1}$.

Для относительной количественной оценки компонентного состава гидроксиапатита использовались абсолютные значения интенсивностей линий КР нормированных спектров.

Для дальнейшего анализа полученных после разделения спектральных линий исследуемых объектов был выбран метод линейного дискриминантного анализа в программной среде IBMSPSSStatistics.

На рисунке 3 представлены результаты LDA сравнения двух групп образцов эмали зубов. Проанализированы 30 спектров эмали. Дискриминантная функция LD-1 описывает дисперсию на 100 %. Положительные значения LD-1 характерны для спектров КР, полученных из эмали до кюретажа. Области групп не имеют пересечений.

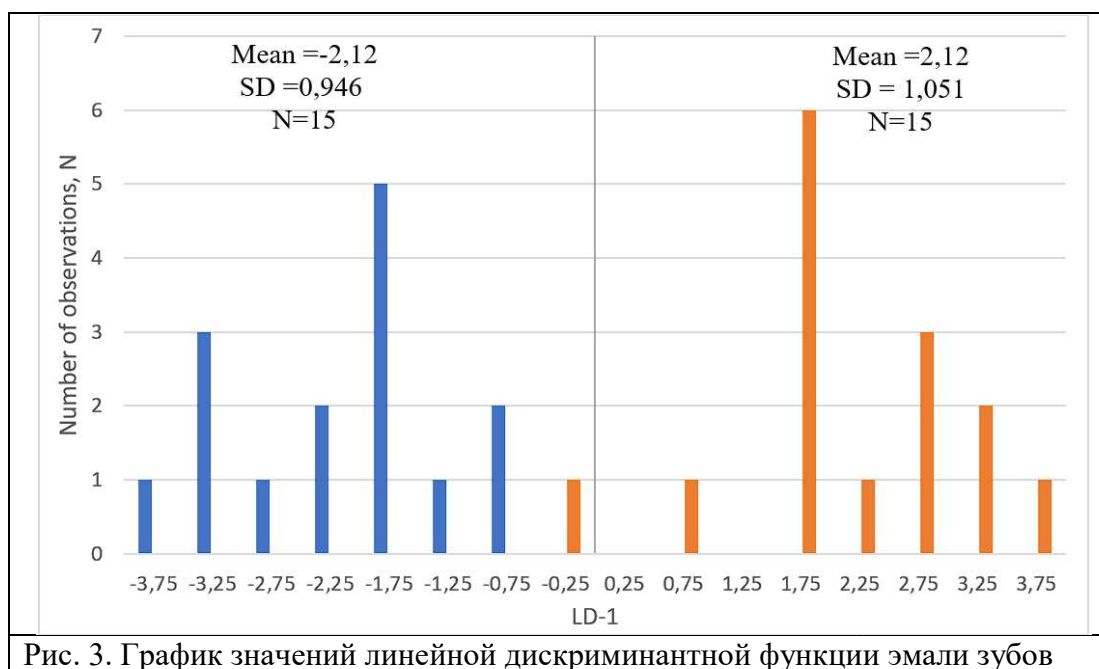


Рис. 3. График значений линейной дискриминантной функции эмали зубов

На рисунке 4 представлены результаты LDA сравнения двух групп образцов цемента зубов. Проанализировано 63 спектра цемента зубов. Положительные значения LD-1 характеризуют спектры комбинационного рассеяния цемента до лечения. Площади групп имеют небольшие пересечения. Дискриминантная функция LD-1 описывает дисперсию на 100 %.

На рисунке 5 показаны значения релевантных коэффициентов матрицы факторной структуры, имеющие физический смысл корреляции между переменными в модели и дискриминирующей функцией. Чем выше по модулю значение LD-1 для переменной, тем в большей степени она определяет разницу в дискриминационной модели между группами образцов.

Дискриминационная адекватность метода характеризуется значением $AUC = 1$, что свидетельствует об отличном качестве диагностического инструмента. Стандартная ошибка SE составила 0 %. Оптимальная точка отсечения для представленного алгоритма, определенная согласно условию баланса между чувствительностью и специфичностью,

соответствовала 0,824. Показатели чувствительности и специфичности диагностической модели в данной точке отсечения составили 100 %.

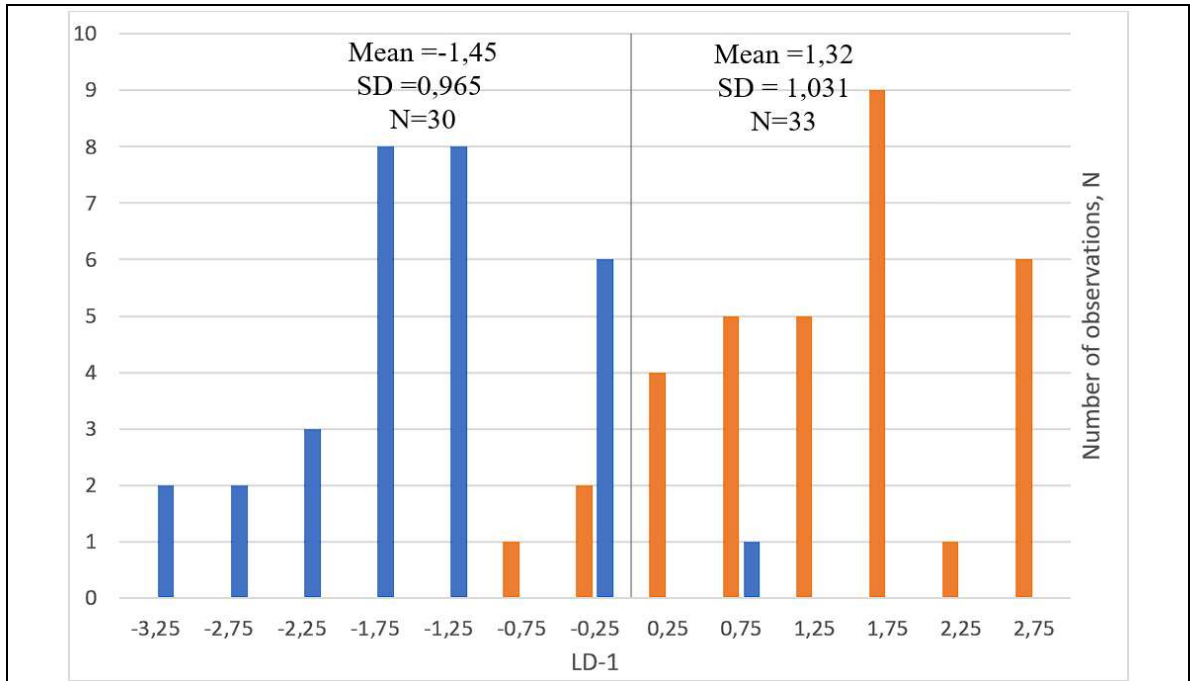


Рис. 4. График значений линейной дискриминантной функции цемента зубов

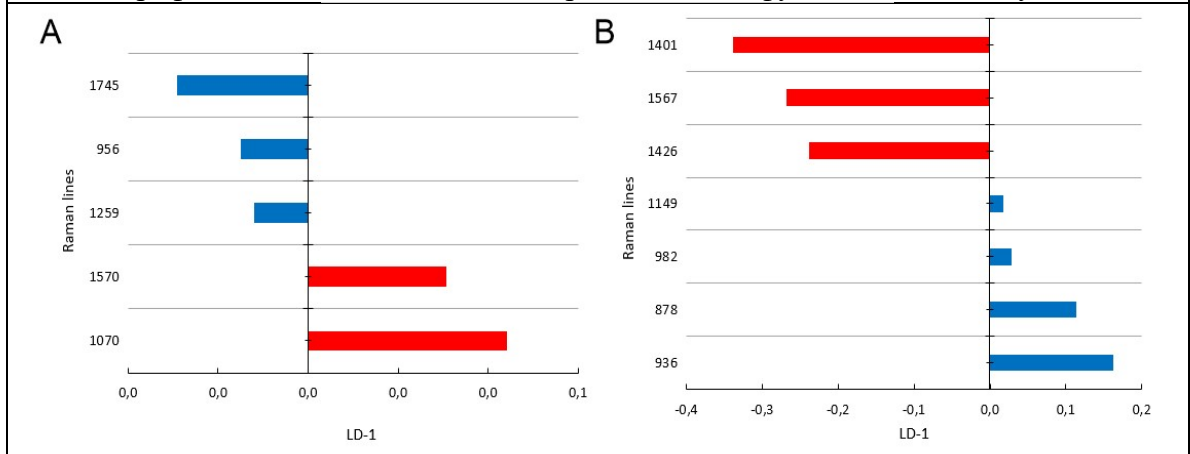


Рис. 5. Значения коэффициентов факторной структуры: А) цемент зубов; В) эмаль зубов

Заключение

В результате исследований проведен хемометрический анализ спектров комбинационного рассеяния эмали и цемента зубов до и после кюретажа. Были выявлены спектральные изменения. Установлено, что после проведения операции открытого кюретажа, в эмали зубов происходят спектральные изменения, связанные с изменением относительной интенсивности линий 957 см^{-1} (ν_1 P-Osymmetricstretch (PO_4^{3-})) и 1070 см^{-1} (C-Oinplanestretch ($\text{CO}_2^3\nu_1$)). Данные линии связаны с изменением минерального состава. Также наблюдаются изменения интенсивности линий на 1449 см^{-1} (Lipidsandproteins), 1036 см^{-1} (phenylalanine (collagenassignment)), 854 см^{-1} (Hydroxyproline(C-C) stretch), связанные с образованием органического матрикса. Спектральные изменения в цементе

зубов (усиление интенсивности на линиях $\sim 956 \text{ см}^{-1}$, соответствующих гидроксиапатиту и $\sim 1070 \text{ см}^{-1}$, соответствующая С-О плоскостному валентному колебанию карбонат-иона гидроксиапатита $\text{CO}_3^{2-}(\nu_1)$, так же происходят изменения на линиях $\sim 1259 \text{ см}^{-1}$ (AmidIII), $\sim 1570 \text{ см}^{-1}$ ((амидIII Parallel/Antiparallel β -sheet structure) и $\sim 1745 \text{ см}^{-1}$) по сравнению с группой до проведения данной манипуляции. Спектральные изменения цемента зубов, после данных манипуляций, обусловлены восстановлением минеральных компонентов в тканях и образованием нового цемента за счёт удаления зубного камня и процессов реминерализации.

Данные спектральные изменения показывают восстановление тканей эмали зубов после данной операции.

Метод спектроскопии комбинационного рассеяния может быть в дальнейшем применён для оценки тканей зубов после кюретажа.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами, на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

Список литературы

1. Заболевания пародонта /под общей редакцией профессора Ореховой Л. Ю. М.: Поли Медиа Пресс, 2004. 432 с.
2. Велитченко А. Н. Заболевания периодонта: периодонтальная хирургия//Учебно-методическое пособие, Минск: БГМУ, 2021. 28 с.
3. Терапевтическая стоматология: учебник: в 3 ч. // Болезни пародонта. Ч. 2 / под ред. Барера Г. М. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 224 с.
4. Мкртычев О. В. и др. Лазерная абляция нанокомпозитов // Научно-техн. Ведомости СПбПУ Физ.-Мат. науки 2015, № 1 (213) С. 128–135.
5. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Лидарное уравнение с учётом конечной ширины лазерной линии // Известия РАН. Серия Физическая. 2015. Т. 79. № 2. С. 170–180.
6. Привалов В. Е., Шеманин В. Г. Эксперимент. зондирование промыш. аэродисперс. потоков. // Научно-техн. Ведомости СПб Политех. Универ. Физ.-Мат. Науки. 2014, № 4 (206). С. 64–73.
7. Самонова А. Ю. и др. Метод спектроскопии комбинационного рассеяния в биохимии и медицине //Актуальные исследования в области биологии и смежных наук. 2018. С. 157–163.
8. Косынкина Д. Д. и др. Гемический компонент гипоксии в патогенезе хронического пародонтита // Актуальные проблемы биомедицины. 2020. С. 100–101.
9. Киселева Д. В. И др. Сравнительная оценка степени минерализации твердых тканей зубов методом рамановской спектроскопии //Труды Института геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого. 2015. № 162. С. 242–246.
10. Timchenko E, Timchenko P, Volova L, Frolov O, Zibin M, Bazhutova I. Raman Spectroscopy of Changes in the Tissues of Teeth with Periodontitis. Diagnostics// Diagnostics 2020 – 10 - 876 doi:10.3390.
11. Тимченко Е. В. и др. Оптические методы ранней экспресс-диагностики пародонтита// Международная конференция IEEE по электротехнике и фотонике (EEExPolytech). 2019 г. с. 298–300.

12. Тимченко П. Е., Тимченко Е. В., Волова Л. Т. и др. Спектральный анализ органических компонентов деминерализованных костных биотрансплантатов // Опц. Спектроск. 2019. 126, с. 769–775.

Raman spectroscopy for evaluation of dental hard tissues in periodontitis treatment

¹ Ionov A. Y., ¹ Frolov O. O., ¹ Timchenko P. E., ² Bazhutova I. V., ¹ Timchenko E. V.

¹ *Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev
443086, Samara, Russia 1*

² *Samara State Medical University, BioTech Biotechnology Centre, 443099, Samara, Russia 2*

This paper presents the results of studies of tooth enamel and cementum in periodontitis before and after curettage. Raman spectroscopy was used as a method to assess the effect of curettage on dental hard tissues. Spectral analysis of the cementum and tooth enamel in periodontitis before and after treatment was carried out, spectral changes in the enamel and tooth cementum composition that were associated with changes in the mineral composition and the formation of the organic matrix were revealed.

Key words: Raman spectroscopy, Raman spectroscopy, curettage, periodontitis.