

С.Н. Разумова, А.С. Браго, Х.Б. Баракат, Ю.С. Козлова, Э.В. Величко, Ю.Л. Васильев
Микробиологическое исследование эффективности обработки корневого канала эрбиевым лазером



МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ КОРНЕВОГО КАНАЛА ЭРБИЕВЫМ ЛАЗЕРОМ

С.Н. Разумова, А.С. Браго, Х.Б. Баракат, Ю.С. Козлова, Э.В. Величко, Ю.Л. Васильев
Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Резюме

Механическая и медикаментозная обработка корневого канала – важнейшие составляющие успеха эндодонтического лечения. В статье представлены результаты исследования эффективности дезинфекционной обработки корневого канала 17%-ым раствором этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) в сочетании с эрбиевым лазером (Er:YAG) *in vitro* и в клинических исследованиях. Исследование *in vitro* выполнено на интактных удаленных зубах, инфицированных штаммами *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus sanguinis* и *Candida albicans*. Опытную группу зубов обрабатывали медикаментозно по стандартному протоколу с использованием 3%-го раствора гипохлорита натрия и 17%-го раствора ЭДТА с последующим облучением эрбиевым лазером. Обработку контрольной группы зубов проводили аналогичным образом, но без облучения лазером. Эффективность обработки оценивали по уменьшению титра КОЕ. В контрольной группе титр КОЕ после механической и медикаментозной обработки снизился в 4 раза, а в опытной группе была достигнута полная стерилизация корневого канала. В клинические исследования были включены две группы пациентов по 35 человек с диагнозом хронический пародонтит. В опытной группе пациентов на последнем этапе лечения проводили обработку корневого канала эрбиевым лазером в течение одной минуты эндодонтической насадкой с энергией 40 мДж с длиной волны 2940 нм, при частоте импульса 10 Гц с 17%-ым раствором ЭДТА и obturировали. В контрольной группе проводили лечение периодонтита без обработки лазером. В контрольной группе пациентов титр КОЕ после механической и медикаментозной обработки снизился в 3–6 раз, а в опытной группе была достигнута полная стерилизация корневого канала. Полученные результаты доказывают, что модификация протокола обработки корневого канала излучением эрбиевого лазера является перспективным направлением в эндодонтии.

Ключевые слова: эрбиевый лазер (Er:YAG), лазерная обработка, эндодонтическое лечение, микробиологическое исследование, корневой канал.

Для цитирования: Разумова С.Н., Браго А.С., Баракат Х.Б., Козлова Ю.С., Величко Э.В., Васильев Ю.Л. Микробиологическое исследование эффективности обработки корневого канала эрбиевым лазером // Biomedical Photonics. – 2019. – Т. 8, № 4. – С. 11–16. doi: 10.24931/2413-9432-2019-8-4-11-16

Контакты: Разумова С.Н., e-mail: razumova_sv@mail.ru

MICROBIOLOGICAL STUDY OF THE EFFICIENCY OF ROOT CANAL TREATMENT WITH ER:YAG LASER

Razumova S.N., Brago A.S., Barakat H.B., Kozlova Yu.S., Velichko E.V., Vasiliev Yu.L.
Peoples Friendship University of Russia (RUDN university), Moscow, Russia

Abstract

Mechanical and drug treatment of the root canal are the most important components of the success of endodontic treatment. This work presents the results on the effectiveness of the root canal disinfection using an erbium laser in combination with a 17% solution of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) *in vitro* and in clinical studies. An *in vitro* study was carried out on removed intact teeth infected with strains of *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus sanguinis*, and *Candida albicans*. An experimental group of teeth was treated medically according to a standard protocol using 3% solution of sodium hypochlorite and 17% solution of EDTA followed by irradiation with erbium laser. The control group was treated similarly but without laser irradiation. The treatment effectiveness was evaluated by the reduction of CFU. After the treatment, in the control group after the mechanical and drug treatment, the CFU amount lowered by 4 times, while the complete sterilization was observed in the experimental group. The clinical studies included two groups of 35 patients each diagnosed with chronic periodontitis. In the experimental group of patients, at the final stage, treatment with erbium laser for 1 min using endodontic piece (40 mJ power, 2940 nm wavelength, 10 Hz pulse rate) and a 17% EDTA solution was performed before filling. Periodontitis treatment in the control group was carried out without the laser treatment. The control group of patients saw the reduction on CFU after the mechanical and drug treatment by 3–6 times, while the experimental group achieved the complete sterilization of the root canals. The obtained results prove that the modification of the root canal treatment by the inclusion of erbium laser irradiation is a promising direction in endodontics.

Keywords: erbium laser (Er:YAG), laser-activated irrigation, endodontic treatment, microbiological study, root canal.

For citations: Razumova S.N., Brago A.S., Barakat H.B., Kozlova Yu.S., Velichko E.V., Vasil'ev Yu.L. Microbiological study of the efficiency of root canal treatment with Er:YAG laser, *Biomedical Photonics*, 2019, vol. 8, no. 4, pp. 11–16 (in Russian). doi: 10.24931/2413–9432–2019–8–4–11–16

Contacts: Razumova S.N., e-mail: razumova_sv@mail.ru

Введение

Основными задачами механической и медикаментозной обработки корневого канала наряду с приданием формы удобной для выбранной методики obturации являются удаление инфицированного дентина и дезинфекция корневого канала.

Существующее многообразие методик обработки корневого канала свидетельствует об отсутствии универсального подхода к этой процедуре.

Основным антисептическим препаратом и одновременно лубрикантом является 3–5%-ый раствор гипохлорита натрия. Его недостатком является быстрая инактивация при обработке и нагревании, что требует постоянного орошения обрабатываемой области новой порцией раствора. Кроме того, гипохлорит не активен в отношении некоторых форм микроорганизмов, например, *Enterococcus faecalis*. Для расширения антибактериального спектра в современных протоколах чаще рекомендуется применять 2%-ый раствор хлоргексидина или гидроксид кальция в виде паст для временного пломбирования на 10–14 сут. После применения гидроксида кальция рекомендована повторная обработка корневого канала 3%-ым раствором гипохлорита натрия с последующей промывкой. Далее перед obturацией корневой канал необходимо обработать 17%-ым раствором этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) для удаления смазанного слоя. Затем требуется дезинфицировать канал, высушить и obturировать. По данным различных авторов антибактериальная эффективность подобной методики составляет 50–70% [1–3]. Повышение эффективности медикаментозной обработки может быть достигнуто активацией растворов для более глубокого их проникновения в инфицированные области системы корневых каналов. Для этого используются физические методы активации растворов: звуковые, ультразвуковые, гидродинамические и лазерные методики.

Экспериментальные и клинические разработки по применению лазерных технологий в стоматологии и, в частности, в эндодонтии ведутся с 1988 г. и к настоящему времени накоплен большой клинический опыт по применению диодных лазеров в протоколе эндодонтической обработки корневого канала [4–6]. Эрбиевое лазерное излучение применяется в клинической стоматологии в качестве альтернативы механического метода препарирования твердых тканей

зуба с 1997 г. [7, 8]. Возможности использования Er:YAG лазерного излучения (2940 нм) включают лечение кариеса и его осложнений, герметизацию фиссур, проведение резекции верхушек корней при хронических периодонтитах, а также лоскутных операций в оперативной пародонтологии [8].

При традиционном применении лазера в эндодонтии происходит абляция остатков тканей, уничтожение бактерий и удаление смазанного слоя [7, 8].

Таким образом, цель данного исследования заключалась в изучении эффективности дезинфекционной обработки корневого канала эрбиевым лазером (Er:YAG) после стандартной механической и медикаментозной обработки канала.

Материалы и методы

Исследование эффективности механической и медикаментозной обработки корневого канала эрбиевым лазером было проведено с использованием 20 однокорневых зубов, удаленных по поводу заболеваний пародонта. Зубы были дезинфицированы, трепанированы и обработаны по стандартному протоколу механически (ручные инструменты: К-файлы, К-римеры, Н-файлы; машинные инструменты: профайлы, M two) и медикаментозно, с использованием 3%-го раствора гипохлорита натрия и 17%-го раствора ЭДТА с пассивной ультразвуковой активацией растворов. Затем зубы были продезинфицированы в 75%-ом спиртовом растворе, промыты стерильной дистиллированной водой и инфицированы штаммами *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus sanguinis* и *Candida albicans*. После инкубации в течение 7 суток были взяты соскобы дентина со стенок корневого канала. Далее зубы были обработаны механически с использованием ручных и машинных инструментов и медикаментозно с использованием 3%-го раствора гипохлорита натрия и 17%-го раствора ЭДТА с пассивной ультразвуковой активацией ирригантов. После обработки ЭДТА все зубы случайным образом были разделены на две группы. В опытной группе корневые каналы были обработаны 17%-ым раствором ЭДТА в сочетании с эрбиевым лазером в течение 1 мин с энергией 40 мДж, с длиной волны 2940 нм, при частоте импульса 10 Гц. Зубы контрольной группы проходили такую же обработку, но без лазерного воздействия. До медикаментозной обработки

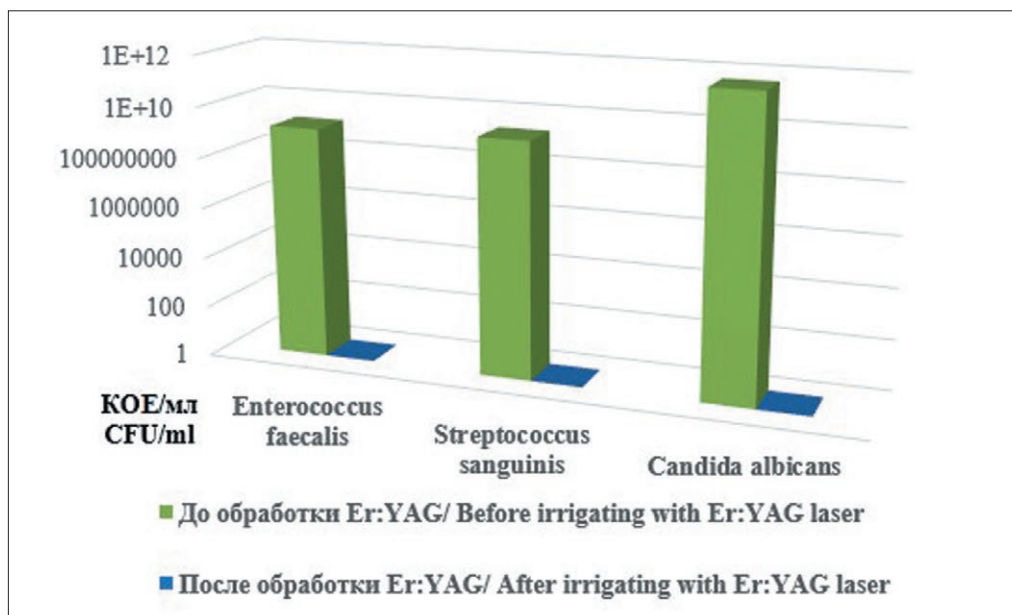


Рис. 1. Микробиологическое исследование в опытной группе на удаленных зубах с применением эрбиевого лазера в сочетании с 17%-ым раствором ЭДТА

Fig. 1. Microbiological study on group 1 extracted teeth using Er:YAG laser

корневого канала и непосредственно после ее окончания были взяты соскобы дентина на микробиологическое исследование. Забор дентина производили со стенок корневого канала стерильным Н-файлом. Дентинные опилки из корневого канала помещали в транспортную среду. Посев содержимого корневого канала осуществляли на плотные питательные среды. Культивировали в аэробном инкубаторе (Binder, Германия) и CO₂-инкубаторе (Lamsystems, Россия) в соответствии с требованиями по условиям инкубации для различных микроорганизмов. Количественную оценку по результату посева проводили по методу Гоулда. Результаты учитывали методом времяпролетной МАСС-спектрометрии (MALDI-TOF), Myla-MS (BioMerieux, Франция).

В клинические исследования антибактериальных свойств эрбиевого лазера были включены 70 пациентов в возрасте 35–60 лет с диагнозом хронический периодонтит (K04.5 хронический апикальный периодонтит. Апикальная гранулема). Опытную группу составили 35 пациентов (19 женщин и 16 мужчин). Эндодонтическое лечение проводили по стандартной методике. Операционное поле очищали щетками с пастой и 2%-ым раствором хлоргексидина и изолировали коффердамом. Удаляли старую реставрацию стерильным бором. Далее заменяли бор, раскрывали полость зуба, механически и медикаментозно обрабатывали корневые каналы ручными и машинными инструментами. Ирригацию корневого канала проводили 3%-ым раствором гипохлорита натрия с пассивной ультразвуковой активацией раствора. На заключительном этапе канал обрабатывали 17%-

ым раствором ЭДТА с эрбиевым лазером в течение 1 мин эндодонтической насадкой с энергией 40 мДж, с длиной волны 2940 нм, при частоте импульса 10 Гц. Световод лазера вводили в устье корневого канала, не касаясь его стенок. Пломбирование корневого канала проводили в это же посещение. Контрольная группа состояла из 35 (20 женщин и 15 мужчин) пациентов, которым проводили такую же обработку корневого канала, но без использования эрбиевого лазера.

Результаты

В исследовании *in vitro* в опытной группе удаленных зубов (группа с обработкой эрбиевым лазером) до медикаментозной обработки корневого канала высеяны высокие титры штаммов *Enterococcus faecalis* (1,42·10⁹ КОЕ/мл), *Streptococcus sanguinis* (2·10⁹ КОЕ/мл) и *Candida albicans* (4,55·10¹¹ КОЕ/мл). После проведения механической и медикаментозной обработки корневых каналов с 17%-ым раствором ЭДТА в сочетании с эрбиевым лазером во всех испытанных образцах рост колоний не зафиксирован. Это свидетельствует о стерилизации корневого канала (рис. 1).

В контрольной группе удаленных зубов (без обработки эрбиевым лазером) установлено достоверное снижение титра штаммов *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus sanguinis* и *Candida albicans*. После проведенной механической и медикаментозной обработки корневых каналов на удаленных зубах зафиксировано достоверное снижение титра колоний вышеперечисленных микроорганизмов в 4 раза ($p < 0,05$) (рис. 2). Титры микроорганизмов после обработ-

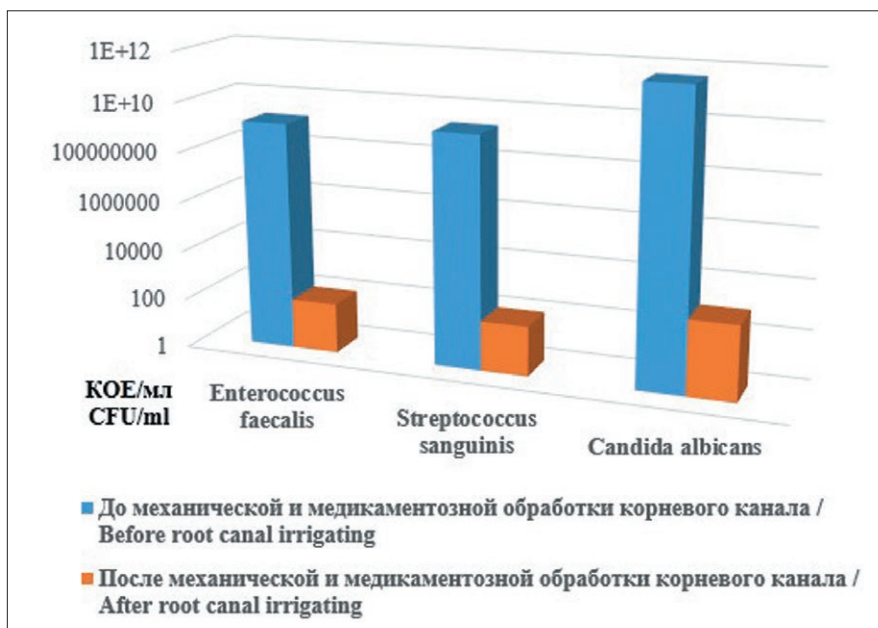


Рис. 2. Микробиологическое исследование в контрольной группе на удаленных зубах без применения эрбиевого лазера
Fig. 2. Microbiological examination in control group on extracted teeth without using ER:YAG laser

ки канала составили: *Enterococcus faecalis* (10^2 КОЕ/мл), *Streptococcus sanguinis* (10^2 КОЕ/мл) и *Candida albicans* (10^3 КОЕ/мл).

Таким образом, проведенные испытания *in vitro* показали, что механическая и медикаментозная обработка корневого канала позволяет снизить количество микроорганизмов до титров 10^2 и 10^3 КОЕ/мл. Дополнительное применение эрбиевого лазера в течение 1 мин с энергией 40 мДж при частоте импульса 10 Гц приводит к полной стерилизации корневого канала.

В исследование эффективности обработки корневых каналов эрбиевым лазером в клинических условиях были включены две группы пациентов с диагнозом хронический периодонтит (K04.5 хронический апикальный периодонтит. Апикальная гранулема) в возрасте от 35 до 60 лет. На этапах эндодонтического лечения были взяты заборы материала для микробиологического исследования: до и после механической, медикаментозной обработки корневого канала, а также после применения эрбиевого лазера.

В опытной группе пациентов сразу после механической обработки корневых каналов (без проведения медикаментозной обработки) высеяны высокие титры *Enterococcus Haemolyticus*, *Staphylococcus epidermalis*, *Streptococcus mitis* и *Streptococcus mutans* от 10^5 до 10^8 КОЕ/мл среды. После проведения медикаментозной обработки корневого канала зарегистрировано достоверное снижение титра микроорганизмов в четыре раза до 10^2 КОЕ/мл ($p < 0,05$). Данные представлены в табл. 1. В корневых каналах после обработки эрбиевым лазером в сочетании с 17%-ым раствором

ЭДТА во всех испытанных образцах рост колоний не зафиксирован. Это свидетельствует о стерилизации корневого канала.

В контрольной группе пациентам проводили эндодонтическое лечение по аналогичному протоколу, но без воздействия лазером. Забор материала выполняли до и после медикаментозной обработки корневого канала. Полученные данные представлены в табл. 2. До обработки корневого канала, как и в опытной группе, зафиксированы высокие титры *Enterococcus Haemolyticus*, *Staphylococcus epidermalis*, *Streptococcus mitis* и *Streptococcus mutans* от 10^5 до 10^8 КОЕ/мл среды. После медикаментозной обработки выявлено достоверное снижение титра микроорганизмов до 10^2 – 10^3 КОЕ/мл ($p < 0,05$) и не зафиксировано роста только *Streptococcus mitis* (табл. 2).

Обсуждение

Качество медикаментозной обработки корневого канала, осуществляемой по принятым в РФ протоколам проведения эндодонтического лечения, не является достаточным для достижения долговременного клинического эффекта. Модификация протокола обработки корневого канала излучением эрбиевого лазера длиной волны 2940 нм, мощностью 40 мДж, частотой импульса 10 Гц показала высокое качество стерилизации корневого канала. Сходные результаты по изучению Er, Cr: YSGG лазера с длиной волны 2780 нм показаны в исследованиях Т.В. Фурцева и соавт. [9]. Ряд авторов, Л.Ю. Орехова и соавт. [10], И.И. Малов и соавт. [11], С.Л. Блашкова и соавт. [12] в своих исследо-

Таблица 1

Результаты микробиологического исследования основной группы пациентов на этапах эндодонтического лечения

Table 1

Results of a microbiological study of the main group of patients at various stages of endodontic treatment

Опытная группа Main group	Enterococcus Faecalis КОЕ/мл CFU/ml	Staphylococcus Haemolyticus КОЕ/мл CFU/ml	Staphylococcus epidermalis КОЕ/мл CFU/ml	Streptococcus mitis КОЕ/мл CFU/ml	Streptococcus mutans КОЕ/мл CFU/ml
До обработки канала Before irrigation	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁵ – 10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷
После медикаментозной обработки канала After root canal irrigation	10 ³	10 ²	10 ²	10 ²	10 ²
После медикаментозной обработки канала и обработки лазером After root canal irrigation and Er:YAG laser	Нет роста No growth	Нет роста No growth	Нет роста No growth	Нет роста No growth	Нет роста No growth

Таблица 2

Результаты микробиологического исследования пациентов группы сравнения на этапах эндодонтического лечения

Table 2

The results of a microbiological study of the control group of patients at the stages of endodontic treatment

Контрольная группа Control group	Enterococcus Faecalis КОЕ/мл CFU, cell/ml	Staphylococcus Haemolyticus КОЕ/мл CFU, cell/ml	Staphylococcus epidermalis КОЕ/мл CFU, cell/ml	Streptococcus mitis КОЕ/мл CFU, cell/ml	Streptococcus mutans КОЕ/мл CFU, cell/ml
До обработки канала Before root canal irrigation	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁵ -10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷
После медикаментозной обработки канала After root canal irrigation	10 ³	10 ²	10 ²	Нет роста No growth	10 ²
Значение критерия р P-value	0.009	0.009	0.04	0.000	0.009

ваниях, подтверждают высокую эффективность применения лазеров в эндодонтии. Аналогичные нашим исследованиям данные опубликованы Е. Henninger и соавт. [13]: авторы изучали эффективность излучения эрбиевого лазера на штаммах *Streptococcus gordonii* в сочетании с *Actinomyces oris* или *Fusobacterium nucleatum* и показали эффективность этой обработки при эндодонтических инфекциях. Исследователи различных стран показывают высокую эффективность обработки корневых каналов как диодным, так и эрбиевым лазером [14–16].

Заключение

Таким образом, обработка корневого канала эрбиевым лазером с длиной волны 2940 нм с энергией 40 мДж, частотой импульса 10 Гц, мощностью 0,5–8,4 Вт после стандартного медикаментозного лечения повышает антибактериальную эффективность и позволяет добиться полной стерилизации корневых каналов. Модификация ирригационного протокола при эндодонтическом лечении, в частности, хронического периодонтита K04.5, воздействием излучения эрбиевого лазера является эффективным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рисованная О.Н. Изучение влияния бактериотоксической светотерапии на патогенные возбудители воспалительных заболеваний полости рта // Кубанский научный медицинский вестник. – 2005. – № 4. – С. 25–30.
2. Рисованный С.И., Рисованная О.Н. Фотоактивируемая дезинфекция в эндодонтии // Дентал Юг. – 2006. – № 6/41. – С. 22–25.
3. Митронин А.В., Чунихин А.А., Митронин В.А. и соавт. Современные технологии в эндодонтическом лечении // Медицинский алфавит. – 2014. – Т. 3., № 13. – С. 40–43.
4. Манак Т.Н., Исапур П.Н., Палий Л.И. Применение лазера в эндодонтии // Военная медицина. – 2015. – № 3 (36). – С. 127–136.
5. Митронин А.В., Беляева Т.С., Жекова А.А. Лазерные технологии в эндодонтическом лечении хронического апикального периодонтита: сравнительная оценка антибактериальной эффективности // Эндодонтия Today. – 2016. – № 2. – С. 27–29.
6. Спиридонова О.И., Куприянова Л.Ю., Никитина М.В. Применение лазера в эндодонтии Сравнительная характеристика с традиционными методами лечения корневых каналов // News of Science and Education. – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 003–006.
7. Gutknecht N., Hassan N.A., Martins M.R., et al. Bactericidal effect of 445-nm blue diode laser in the root canal dentin on *Enterococcus faecalis* of human teeth // *Laser Dent Sci.* – 2018. – Vol. 2. – P. 247–254.
8. Asnaashari M., Safavi N. Disinfection of Contaminated Canals by Different Laser Wavelengths, while Performing Root Canal Therapy // *Journal of Lasers in Medical Sciences.* – 2013. – Vol. 4, No. 1. – P. 8–16.
9. Фурцев Т.В., Казановская А.А., Прудникова С.В. Сравнительные результаты антибактериальной обработки корневых каналов по стандартному протоколу с применением гипохлорита натрия (NaOCl) Ии лазера ER, CR: YSGG длиной волны 2780 НМ // Российский стоматологический журнал. – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 184–187.
10. Орехова Л.Ю., Порхун Т.В., Вашнева В.Ю. и соавт. Сравнительный анализ степени механической очистки стенки корневого канала при использовании различных лазерных систем и фотосенсибилизаторов // Эндодонтия Today. – 2018. – № 4. – С. 67–69.
11. Малов И.И., Карпунина А.В., Семенова Н.В. и соавт. Сравнительная характеристика современных и традиционных методов дезинфекции корневого канала // Проблемы научной мысли. – 2019. – Т. 5., № 3. – С. 31–34.
12. Блашкова С.Л., Крикун Е.В., Гараев М.М. Сравнительные характеристики поверхности дентина корневого канала при деконтаминации диодным лазером в зависимости от ирригационного раствора // Эндодонтия Today. – 2018. – № 2. – С. 11–14.
13. Henninger E., Berto L.A., Eick S., et al. In Vitro Effect of Er:YAG Laser on Different Single and Mixed Microorganisms Being Associated with Endodontic Infections // *Photobiomodul, Photomed Laser Surg.* – 2019. – Vol. 37. – P. 369–375.
14. Todea D.C.M., Luca R.E., Bălăbuc C.A., et al. Scanning electron microscopy evaluation of the root canal morphology after Er:YAG laser irradiation // *Rom J Morphol Embryol.* – 2018. – Vol. 59(1). – P. 269–275.
15. Tokuc M., Ozalp S., Topcuoglu N., Kulekci G. Bactericidal Effect of 2780nm Er,Cr:YSGG Laser Combined with 940nm Diode Laser in *Enterococcus faecalis* Elimination: A Comparative Study // *Photobiomodul, Photomed Laser Surg.* – 2019. – Vol. 37(8). – P. 489–494.
16. Dragidella A. et al. Antimicrobial efficacy of erbium laser in the endodontic treatment of infected root canals // *Romanian archives of microbiology and immunology.* – 2018. – Vol. 77, Is. 1. – P. 41–49.

REFERENCES

1. Risovannaya O.N. Study of the effect of bacteriotoxic light therapy on pathogens of inflammatory diseases of the oral cavity, *Kubanskiy nauchnyy meditsinskiy vestnik*, 2005, no. 4, pp. 25–30. (in Russian)
2. Risovannyy S.I., Risovannaya O.N. Photoactivated disinfection in endodontics, *Dental Yug*, 2006, no. 6/41, pp. 22–25. (in Russian)
3. Mitronin A.V., Chunihin A.A., Mitronin V.A., Basova A.A., Abaev Z.M. Actual technologies in endodontic treatment, *Meditsinskiy alfavit*, 2014, vol. 3., no. 13, pp. 40–43. (in Russian)
4. Manak T.N., Isapur P.N., Paliy L.I. Laser application in endodontics, *Voennaya meditsina*, 2015, no. 3 (36), pp. 127–136. (in Russian)
5. Mitronin A.V., Belyaeva T.S., Zhekova A.A. Laser technologies in the endodontic treatment of chronic apical periodontitis: a comparative assessment of antibacterial effectiveness, *Endodontiya Today*, 2016, no. 2, pp. 27–29. (in Russian)
6. Spiridonova O.I., Kupriyanova L.Yu., Nikitina M.V. Laser application in endodontics Comparative characteristic with traditional root canal treatment methods, *News of Science and Education*, 2018, vol. 6, no. 4, pp. 003–006. (in Russian)
7. Gutknecht N., Hassan N.A., Martins M.R., et al. Bactericidal effect of 445-nm blue diode laser in the root canal dentin on *Enterococcus faecalis* of human teeth, *Laser Dent Sci*, 2018, vol. 2, pp. 247–254.
8. Asnaashari M., Safavi N. Disinfection of Contaminated Canals by Different Laser Wavelengths, while Performing Root Canal Therapy, *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 8–16.
9. Furtsev T.V., Kazanovskaya A.A., Prudnikova S.V. Comparative results of antibacterial treatment of root canals according to the standard protocol using sodium hypochlorite (NaOCl) and laser ER, CR: YSGG wavelength of 2780 nm, *Rossiyskiy stomatologicheskij zhurnal*, 2018, vol. 22, no. 4, pp. 184–187. (in Russian)
10. Orekhova L.Yu., Porhun T.V., Vashneva V.Yu., Rubezhova E.A. Comparative analysis of the degree of mechanical cleaning of the root canal wall using various laser systems and photosensitizers, *Endodontiya Today*, 2018, no. 4, pp. 67–69. (in Russian)
11. Malov I.I., Karpunina A.V., Semenova N.V., Matveeva A.S., Yastrebova O.Yu. Comparative characteristics of modern and traditional root canal disinfection methods, *Problemy nauchnoy mysli*, 2019, vol. 5., no. 3, pp. 31–34. (in Russian)
12. Blashkova S.L., Krikun E.V., Garaev M.M. Comparative characteristics of the dentin surface of the root canal during decontamination with a diode laser depending on the irrigation solution, *Endodontiya Today*, 2018, no. 2, pp. 11–14. (in Russian)
13. Henninger E., Berto L.A., Eick S., Lussi A., Neuhaus K.W. In Vitro Effect of Er:YAG Laser on Different Single and Mixed Microorganisms Being Associated with Endodontic Infections, *Photobiomodul, Photomed Laser Surg*, 2019, vol. 37, pp. 369–375.
14. Todea D.C.M., Luca R.E., Bălăbuc C.A., Miron M.I., Locovei C., Mocuța D.E. Scanning electron microscopy evaluation of the root canal morphology after Er:YAG laser irradiation, *Rom J Morphol Embryol*, 2018, vol. 59(1), pp. 269–275.
15. Tokuc M., Ozalp S., Topcuoglu N., Kulekci G. Bactericidal Effect of 2780 nm Er,Cr:YSGG Laser Combined with 940 nm Diode Laser in *Enterococcus faecalis* Elimination: A Comparative Study, *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2019, vol. 37(8), pp. 489–494.
16. Dragidella A. et al. Antimicrobial efficacy of erbium laser in the endodontic treatment of infected root canals, *Romanian archives of microbiology and immunology*, 2018, vol. 77, is. 1, pp. 41–49.