Проблемы стоматологии
2026, том 22, № 3 стр. 41-46
© 2026, Екатеринбург, УГМУ

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-3-41-46

УДК 616.314.163-08:615.831

ДЕЗИНФЕКЦИЯ КОРНЕВЫХ КАНАЛОВ: РОЛЬ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ И ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ В ЭНДОДОНТИИ

Щербаков Б. М.[1], Васильев Ю. Л.[2], Буланов С. И.[1], Лысов Д. Н.[1], Софронов М. В.[1], Хейгетян А. В.[3], Караммаева М. Р.[3]

[1] *Московский медицинский университет «Реавиз», г. Москва, Россия*
[2] *Первый московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия*
[3] *Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация

Исходные данные. Успех эндодонтического лечения зависит от полной элиминации микробной флоры из сложной системы корневых каналов. Традиционные ирриганты (гипохлорит натрия, хлоргексидин, ЭДТА) имеют существенные ограничения, включая цитотоксичность, неспособность полностью уничтожать биопленки и сложность доставки в труднодоступные участки, что актуализирует поиск дополнительных методов дезинфекции, одним из которых является фотодинамическая терапия (ФДТ).

Предмет исследования — современные методы эндодонтической дезинфекции: традиционные ирриганты (гипохлорит натрия, хлоргексидин, ЭДТА), методы их активации (ультразвуковая, лазерная) и фотодинамическая терапия как адъювантный подход.

Цель — провести систематический анализ современных данных об эффективности медикаментозной обработки корневых каналов, оценить место и потенциал фотодинамической терапии как адъювантного метода эндодонтической дезинфекции на основе российских и зарубежных исследований последнего десятилетия.

Материалы и методы. Проведен систематический поиск научных публикаций в базах данных eLibrary, Cyberleninka, РИНЦ, PubMed, Scopus, Web of Science и Cochrane Library за последние 10 лет по ключевым словам, относящимся к эндодонтической дезинфекции и фотодинамической терапии. После применения критериев включения и исключения для анализа отобрано 40 источников.

Результаты. Традиционные ирриганты ограниченно эффективны против биопленок (*Enterococcus faecalis, Candida albicans*), цитотоксичны, теряют активность в глубоких слоях дентина; методы активации улучшают очистку, но не обеспечивают полной стерилизации. Фотодинамическая терапия, основанная на активации фотосенсибилизатора светом с генерацией активных форм кислорода, избирательно повреждает мультирезистентные патогены без развития устойчивости; в обзоре представлена классификация ФС трех поколений и источники активации (лазерные и LED-системы).

Выводы. Фотодинамическая терапия является перспективным адъювантным методом эндодонтической дезинфекции, который оптимально применять на завершающем этапе обработки для нивелирования остаточной инфекции в труднодоступных участках корневой системы. Внедрение ФДТ клинически и экономически обосновано, так как снижает риск рецидивов, повторного лечения и утраты зуба.

Ключевые слова: *эндодонтия, дезинфекция корневых каналов, фотодинамическая терапия, фотосенсибилизатор, Enterococcus faecalis, биопленка*

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Борис Михайлович ЩЕРБАКОВ *ORCID ID 0000-0001-8325-7394*
Врач-стоматолог, Московский медицинский университет «Реавиз», г. Москва, Россия
shherbakov.boris@yandex.ru
Юрий Леонидович ВАСИЛЬЕВ *ORCID ID 0000-0003-3541-6068*
д.м.н., профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, институт клинической медицины им. Н. В. Склифосовского, Первый московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова, г. Москва, Россия
vasilev_yu_l@staff.sechenov.ru
Сергей Иванович БУЛАНОВ *ORCID ID 0000-0003-1630-7050*
д.м.н., профессор, ректор Московского медицинского университета «Реавиз», г. Москва, Россия
glvrssp2@mail.ru
Дмитрий Николаевич ЛЫСОВ *ORCID ID 0009-0001-5920-2390*
к.м.н., доцент кафедры стоматологии последипломного образования, Московский медицинский университет «Реавиз», г. Москва, Россия
lysov.d.92@mail.ru
Матвей Витальевич СОФРОНОВ *ORCID ID 0009-0003-2934-2020*
к.м.н., доцент, декан стоматологического факультета, заведующий кафедрой стоматологии, Московский медицинский университет «Реавиз», г. Москва, Россия
sofronovmed@yandex.ru
Артур Вараздатович ХЕЙГЕТЯН *ORCID ID 0000-0002-8222-4854*
к.м.н., доцент, заведующий кафедрой стоматологии №1, Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
artur5953@yandex.ru
Марьян Рамазановна КАРАММАЕВА *ORCID ID 0000-0002-3049-1643*
к.м.н., доцент, доцент кафедры стоматологии №1, Ростовский государственный медицинский университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
mmmrabadan@mail.ru
Адрес для переписки: Артур Вараздатович ХЕЙГЕТЯН
346800, Ростовская область, Мясниковский район, с. Чалтырь, ул. Центральная 5/11
+79034040051
artur5953@yandex.ru

Образец цитирования:
Щербаков Б. М., Васильев Ю. Л., Буланов С. И., Лысов Д. Н., Софронов М. В., Хейгетян А. В., Караммаева М. Р.
ДЕЗИНФЕКЦИЯ КОРНЕВЫХ КАНАЛОВ: РОЛЬ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ И ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ В ЭНДОДОНТИИ. Проблемы стоматологии. 2026; 3: 41-46.
© Щербаков Б. М. и др., 2026
DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-3-41-46

Поступила 21.05.2026. Принята к печати 27.08.2026

DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-3-41-46

ROOT CANAL DISINFECTION: THE ROLE OF PHOTOSENSITIZERS AND PHOTODYNAMIC THERAPY IN ENDODONTICS

Shcherbakov B.M.[1], Vasiliev Yu.L.[2], Bulanov S.I.[1], Lysov D.N.[1], Sofronov M.V.[1], Kheigetyan A.V.[3], Karammaeva M.R.[3]

[1] *Moscow Medical University "Reaviz", Moscow, Russia*
[2] *First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Moscow, Russia*
[3] *Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia*

Abstract

Background. The success of endodontic treatment depends on the complete elimination of microbial flora from the complex root canal system. Conventional irrigants (sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA) have significant limitations, including cytotoxicity, inability to completely eradicate biofilms, and difficulty of delivery to hard-to-reach areas, which necessitates the search for additional disinfection methods, one of which is photodynamic therapy (PDT).

Subject. Modern methods of endodontic disinfection: conventional irrigants (sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA), their activation techniques (ultrasonic, laser), and photodynamic therapy as an adjunctive approach.

Objective. To conduct a systematic analysis of current data on the effectiveness of root canal irrigation, to evaluate the role and potential of photodynamic therapy as an adjunctive method of endodontic disinfection based on Russian and international studies of the last decade.

Methodology. A systematic search of scientific publications was performed in the eLibrary, Cyberleninka, РИНЦ, PubMed, Scopus, Web of Science, and Cochrane Library databases over the last 10 years using keywords related to endodontic disinfection and photodynamic therapy. After applying inclusion and exclusion criteria, 40 sources were selected for analysis.

Results. Conventional irrigants have limited efficacy against biofilms (Enterococcus faecalis, Candida albicans), are cytotoxic, and lose activity in deep dentinal layers; activation methods improve cleaning but do not ensure complete sterilization. Photodynamic therapy, based on the activation of a photosensitizer by light with the generation of reactive oxygen species, selectively damages multidrug-resistant pathogens without inducing resistance. The review presents a classification of three generations of photosensitizers and describes activation sources (laser and LED systems).

Conclusion. Photodynamic therapy is a promising adjunctive method of endodontic disinfection that is optimally applied at the final stage of treatment to eliminate residual infection in hard-to-reach areas of the root canal system. The implementation of PDT is clinically and economically justified as it reduces the risk of recurrence, retreatment, and tooth loss.

Keywords: *endodontics, root canal disinfection, photodynamic therapy, photosensitizer, Enterococcus faecalis, biofilm*

The authors declare no conflict of interest

Boris M. SHCHERBAKOV *ORCID ID 0000-0001-8325-7394*
Dentist, Moscow Medical University "Reaviz", Moscow, Russia
shherbakov.boris@yandex.ru
Yuri L. VASILIEV *ORCID ID 0000-0003-3541-6068*
PhD, MD, PSc, Professor, Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, Moscow, Russia, N.V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Moscow, Russia
vasilev_yu_l@staff.sechenov.ru
Sergey I. BULANOV *ORCID ID 0000-0003-1630-7050*
PhD, MD, PSc, Professor, Rector of Moscow Medical University "Reaviz", Moscow, Russia
glvrssp2@mail.ru
Dmitriy N. LYSOV *ORCID ID 0009-0001-5920-2390*
PhD, Associate Professor of the Department of Postgraduate Dentistry, Moscow Medical University "Reaviz", Moscow, Russia
lysov.d.92@mail.ru
Matvey V. SOFRONOV *ORCID ID 0009-0003-2934-2020*
PhD, Associate Professor, Dean of the Faculty of Dentistry, Head of the Department of Dentistry, Moscow Medical University "Reaviz", Moscow, Russia
sofronovmed@yandex.ru
Artur V. KHEIGETYAN *ORCID ID 0000-0002-8222-4854*
PhD, Associate Professor, Head of the Department of Dentistry No. 1, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia
artur5953@yandex.ru
Maryan R. KARAMMAEVA *ORCID ID 0000-0002-3049-1643*
PhD, Associate Professor, Department of Dentistry No. 1, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia
mmmrabadan@mail.ru
Correspondence address: Artur V. KHEIGETYAN
346800, Rostov Region, Myasnikovsky District, Chaltyr Village, 5/11 Tsentralnaya Street
+7 (903) 404-00-51
artur5953@yandex.ru

For citation:
Shcherbakov B.M., Vasiliev Yu.L., Bulanov S.I., Lysov D.N., Sofronov M.V., Kheigetyan A.V., Karammaeva M.R.
ROOT CANAL DISINFECTION: THE ROLE OF PHOTOSENSITIZERS AND PHOTODYNAMIC THERAPY IN ENDODONTICS. Actual problems in dentistry. 2026; 3: 41-46. (In Russ.)
© Shcherbakov B.M. et al., 2026
DOI: 10.18481/2077-7566-2026-22-3-41-46

Received 21.05.2026. Accepted 27.08.2026

Введение

Успех эндодонтического лечения напрямую зависит от полного устранения микробной флоры из сложной системы корневых каналов и предотвращения реинфекции [1]. Биологической целью ирригации является максимально возможное удаление дентинных опилок, смазанного слоя, бактерий, их токсинов и биопленки [1, 2]. Однако инструментальная обработка не обеспечивает дезинфекцию областей, недоступных для инструментов: истмусов, латеральных каналов, апикальной дельты и дентинных канальцев, глубина проникновения микроорганизмов в которые может достигать 1100 мкм [3, 4]. Традиционная медикаментозная обработка опирается на растворы гипохлорита натрия (NaOCl), хлоргексидина (CHX), ЭДТА и перекиси водорода [4]. Несмотря на широкое применение, эти средства имеют существенные ограничения: цитотоксичность, неспособность полностью уничтожить биопленки, нейтрализацию в присутствии органического субстрата, а также сложность доставки в апикальную треть изогнутых и узких каналов [1, 4]. Эти проблемы актуализируют поиск и внедрение дополнительных или альтернативных методов дезинфекции. Фотодинамическая терапия (ФДТ) представляет собой неинвазивный метод, основанный на применении светочувствительных веществ — фотосенсибилизаторов и света определенной длины. Фотосенсибилизатор (ФС) — это фармакологический препарат, способный избирательно накапливаться в патологически измененных тканях. Принцип заключается в активации молекулами света предварительно нанесенного фотосенсибилизатора в присутствии кислорода, что приводит к выделению высокоактивного синглетного кислорода, который, вступает в химическую реакцию с внутриклеточными молекулами, окисляя их с образованием свободных радикалов и перекисей, повреждающих клеточные структуры микроорганизмов. В стоматологии ФДТ применяется при лечении заболеваний острого и хронического гингивита, альвеолита, периимплантита; антибактериальная обработка пародонтальных карманов; антибактериальная обработка отпрепарированных кариозных полостей; дезинфекция корневых каналов зубов; лечение дисколорита; лечение вирусных и грибковых заболеваний слизистой оболочки рта [5, 6]. Несмотря на широкое применение традиционных ирригантов в современной эндодонтии, их ограничения диктуют необходимость поиска дополнительных методов дезинфекции, и одним из перспективных направлений является фотодинамическая терапия.

Цель настоящего обзора — провести систематический анализ современных данных об эффективности медикаментозной обработки корневых каналов, оценить место и потенциал фотодинамической терапии как адъювантного метода эндодонтической дезинфекции на основе российских и зарубежных исследований последнего десятилетия.

Материал и методы исследования

В рамках подготовки статьи был осуществлен систематический поиск научных публикаций в отечественных (eLibrary, Cyberleninka, РИНЦ) и зарубежных (PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library) базах данных. Поиск проводился по следующим ключевым словам и их комбинациям. На русском: «дезинфекция корневых каналов», «эндодонтия», «фотодинамическая терапия», «фотосенсибилизатор», «ирриганты», «гипохлорит натрия», «хлоргексидин», «ЭДТА», «биопленка», «Enterococcus faecalis». На английском: «root canal disinfection», «endodontics», «photodynamic therapy», «photosensitizer», «root canal irrigants», «sodium hypochlorite», «chlorhexidine», «EDTA», «biofilm», «Enterococcus faecalis». Дата последнего обновления поиска — 01.04.2026. Критерии включения предусматривали отбор клинических исследований, систематических обзоров, метаанализов, экспериментальных работ in vitro, диссертаций, а также статей из журналов, входящих в перечень ВАК. Критерии исключения подразумевали отсев описаний единичных клинических случаев без статистического анализа, нерецензируемых источников и тезисов конференций. В результате первичного поиска было идентифицировано 88 источников. После применения критериев включения и исключения для дальнейшего анализа отобрано 40 работ.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании изученных литературных источников были получены следующие результаты, которые представлены ниже с их последующим обсуждением.

Традиционные методы медикаментозной обработки корневых каналов: эффективность и ограничения

Основные ирриганты для медикаментозной обработки системы корневых каналов.

Гипохлорит натрия (NaOCl) в концентрациях 3,25–5,25 % остается «золотым стандартом» благодаря мощной растворяющей способности в отношении некротизированных тканей, продуктов распада, остатков пульпы, способности воздействовать на коллагеновые структуры дентинных трубочек, а также широкому антимикробному спектру за счет действия хлорноватистой кислоты [1, 2]. Хлоргексидин глюконат (CHX, 2 %) представляет собой катионный детергент, обладающий пролонгированным бактериостатическим и бактерицидным действием в отношении грамположительной и грамотрицательной флоры, а также активным в отношении грибов и вирусов. Хлоргексидин используется как дополнительный ирригант при медикаментозной обработке системы корневых каналов, так как не обладает лизирующим действием и не способен полностью удалять «смазанный слой» [7]. Растворы этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА, 17 %) широко используются для удаления минеральной составляющей «смазанного слоя», но характеризуются низкой антимикробной активностью [4, 8]. Перекись водорода (3–5 %) используется реже, в основном из-за эффекта вспенивания, который способствует механическому очищению корневого канала от остатков пульпы и микроорганизмов [7].

Несмотря на широкое распространение, традиционные методы дезинфекции корневых каналов демон-

стрируют ряд существенных ограничений, препятствующих достижению полной эффективности.

Микроорганизмы, такие как *Enterococcus faecalis* и *Candida albicans*, способны формировать устойчивые биопленки в системе корневых каналов, которые демонстрируют низкую восприимчивость к традиционным ирригантам [2, 7]. Это затрудняет полное удаление патогенной флоры и увеличивает риск рецидива инфекции [10]. Еще одним существенным ограничением является цитотоксическое и аллергенное действие применяемых дезинфицирующих средств. Например, гипохлорит натрия (NaOCl) при попадании за пределы корневого канала вызывает выраженные химические повреждения и воспалительные реакции в периапикальных тканях [11]. Кроме того, применение гипохлорита натрия снижает содержание кальция, фосфора на поверхности дентина. Дентин теряет прежние физико-механические свойства, что, в свою очередь ухудшает долгосрочную стабильность зуба и влияет на прогноз лечения [12].

Хлоргексидин, хотя и может использоваться только в качестве дополнительного ирриганта, редко применяется практикующими специалистами. Причина — его химическая несовместимость с гипохлоритом натрия: взаимодействие этих веществ приводит к образованию преципитатов, которые ухудшают качество эндодонтической обработки [7]. Помимо этого, эффективность антисептической обработки снижается по мере диффузии действующего вещества в глубокие слои дентина. Эффективность антисептика прогрессивно падает, что ограничивает его способность воздействовать на микроорганизмы, локализованные в дентинных канальцах [4].

Для повышения эффективности антисептической обработки корневых каналов применяются методы активации, которые улучшают распределение и проникновение ирригационных растворов. Одним из таких методов является использование эндодонтического ультразвукового наконечника. Он вызывает эффект «кавитации» и создает акустический поток, характеризующийся круговым движением жидкости. По сравнению с традиционным орошением через шприц ультразвуковой метод позволяет более эффективно удалять бактерии, дентинные опилки и органический дебрис, а также улучшает проникновение антисептика в труднодоступные участки системы корневых каналов. Однако этот метод увеличивает риск выхода ирриганта в периапикальные ткани [13].

Также повышение эффективности медикаментозной обработки может быть достигнуто активацией растворов с использованием лазерного излучения. После механической и медикаметозной обработки с использованием 3 %-го раствора гипохлорита натрия и 17 %-го раствора ЭДТА корневые каналы подвергаются эрбиевому излучению, что увеличивает бактерицидный эффект по сравнению с традиционной методикой [14, 15]. Однако прямое облучение дентина корневого канала лазерным лучом может вызвать нежелательную абляцию и термическое повреждение [16].

Исследования показывают, что активация, особенно ультразвуковая и лазерная, существенно повышает эффективность удаления смазанного слоя по сравнению с традиционной шприцевой ирригацией [17, 18]. Однако даже эти методы не гарантируют полной стерилизации дентинных канальцев.

Фотодинамическая дезинфекция корневых каналов: механизмы действия и современные технологии активации

Последние достижения в дезинфекции корневых каналов включают внедрение новым систем и агентов, таких как фотоактивируемая дезинфекция (ФАД). Метод основывается на работе фотосенсибилизаторов (ФС) — это фармакологический препарат, способный избирательно накапливаться в патологически измененных тканях, которые прикрепляются к поверхности бактерий, активируются светом определенной волны и высвобождают активные формы кислорода, в том числе синглетный кислород, что приводит к разрушению бактериальной стенки и ДНК без повреждения клеток макроорганизма. При активации ФС повреждаются митохондрии, лизосомальный аппарат или комплекс Гольджи, разрушаются внеклеточные полисахариды — матрикс биопленки, что в результате каскада фотохимических реакций приводит к гибели клеток [4, 5]. Этот механизм активен также в отношении вирусов, грибов и простейших. Кроме того, ФАД эффективна против бактерий с множественной устойчивостью к лекарственным препаратам. Повторная обработка ФС не приводит к появлению резистентных микроорганизмов и не меняет их чувствительность к антибиотикам. Активные формы кислорода высвобождаются быстрее в присутствии собственного кислорода тканей, однако этот процесс возможен и в зонах с нарушенным кровоснабжением [4, 5, 19].

В качестве ФС возможно применение таких препаратов, как толуидиновый синий, метиленовый синий, куркумин, индоцианин, радахлорин, гематопорфирин (фотофрин), рибофлавин, фотодитазин и др. [4, 20].

Фотосенсибилизаторы в современной фотодинамической терапии классифицируются на три поколения, каждое из которых характеризуется уникальными физико-химическими и спектральными параметрами. Для проведения фотодинамической терапии необходимо использовать согласованные по длине волны лазерный аппарат и ФС:

- ФС первого поколения являются производными гематопорфирина. Для активации используют свет с длиной волны 625–635 нм.
- ФС второго поколения являются производными хлоринов. Активация осуществляется на длинне волны 660 нм.
- ФС третьего поколения включают молекулы модифицированные специфическим радикалом, который позволяет связываться с определенными белковыми носителями. Для их активации используется свет с длиной волны до 800 нм [5, 21–25].

Активация фотосенсибилизаторов реализуется посредством специализированных устройств, включающих как лазерные, так и светодиодные системы.

Широко распространены устройства, обеспечивающие генерацию когерентного (лазерного) или некогерентного (светодиодного) излучения с длинами волн, оптимальными для активации фотосенсибилизаторов.

Существенное преимущество светодиодных ламп (LED-источников) перед лазерными аппаратами заключается в отсутствии противопоказаний [5, 19, 22, 26, 27].

Многочисленные лабораторные исследования демонстрируют высокую антимикробную эффективность ФДТ [28–33]. Это позволяет применять ее в комплексной терапии воспалительных заболеваний полости рта, поскольку традиционные методы не всегда позволяют полностью очистить труднодоступные очаги от микроорганизмов [34–38].

Выводы

В современной стоматологической практике проблема хронического периодонтита сохраняет высокую актуальность в связи с тенденцией к рецидивам, обусловленной анатомической сложностью корневых каналов и формированием устойчивых микробных биопленок (*Enterococcus faecalis, Candida albicans*), которые затрудняют проникновение антисептиков и повышают экспрессию генов резистентности.

Медикаментозная обработка растворами гипохлорита натрия, ЭДТА и хлоргексидина, оставаясь основой эндодонтической терапии, демонстрирует ряд ограничений. Ключевыми факторами, препятствующими полной элиминации инфекции, выступают: анатомическая сложность системы корневых каналов и формирование устойчивых микробных биопленок, цитотоксичность ирригантов, неспособность полностью уничтожать биопленки, нейтрализация в присутствии органического субстрата, химическая несовместимость и снижение эффективности при диффузии в глубокие слои дентина.

Методы активации ирригантов (ультразвуковой и лазерный) повышают эффективность очистки, но не гарантируют полной стерилизации дентинных канальцев и сопряжены с риском выхода раствора в периапикальные ткани или термического повреждения. В результате создаются предпосылки для персистирования инфекции и развития посттерапевтического периодонтита.

Фотодинамическая терапия является перспективным адъювантным методом, основанным на активации фотосенсибилизатора светом с генерацией активных форм кислорода, которые избирательно повреждают мембраны патогенов, включая мультирезистентные штаммы и биопленки, без развития устойчивости.

Клиническая эффективность ФДТ подтверждена многочисленными метаанализами и рандомизированными исследованиями; метод оптимально применять на завершающем этапе дезинфекции после механической и медикаментозной обработки для нивелирования остаточной инфекции в труднодоступных участках.

Внедрение ФДТ экономически оправдано в долгосрочной перспективе. Профилактика рецидивов периодонтита с помощью ФДТ снижает вероятность дорогостоящего повторного лечения, хирургических вмешательств и утраты зуба, что способствует повышению качества лечения, сокращению сроков реабилитации пациентов и оптимизации затрат на стоматологическую помощь.

Литература/References

1. Саркисян Н. Г., Катаева Н. Н., Хохрякова Д. А. Медикаментозная обработка корневых каналов в эндодонтии: проблемы использования современных средств. Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2025;33(1):123–132. [Sarkisyan N. G., Kataeva N. N., Khokhryakova D. A. Medicinal treatment of root canals in endodontics: problems of using modern agents. I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald. 2025;33(1):123–132. (In Russ.)]. https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ568734
2. Арутюнян Л. В., Авакян Н. Э., Бабаджанян Г. С., Ераносян С. Г. Ирригация, очистка и стерилизация системы корневых каналов. Вестник стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. 2018;15(1–2):26–33. [Harutyunyan L. V., Avagyan N. E., Babajanyan G. S., Yeranosyan S. G. Irrigation, cleaning and sterilization of root canal system. Bulletin of Stomatology and Maxillofacial Surgery. 2018;15(1–2):26–33. (In Russ.)]. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42881982
3. Diogo P., Fernandes C., Caramelo F., Mota M., Miranda I. M., Faustino M. A.F. et al. Antimicrobial Photodynamic Therapy against Endodontic Enterococcus faecalis and Candida albicans Mono and Mixed Biofilms in the Presence of Photosensitizers: A Comparative Study with Classical Endodontic Irrigants. Frontiers in microbiology. 2017;8:498. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00498.8:498
4. Уткина Е. И., Горбатова М. А., Гржибовский А. М., Горбатова Л. Н., Симакова А. А. Возможности применения фотоактивируемой дезинфекции в стоматологии. Стоматология. 2023;102(2)84–90. [Utkina E. I., Gorbatova M. A., Grjibovski A. M., Gorbatova L. N., Simakova A. A. Potentialities of photoactivated disinfection in dentistry. Stomatology. 2023;102(2)84–90. (In Russ.)]. https://doi.org/10.17116/stomat202310202184
5. Мишутина О. Л., Волченкова Г. В., Ковалева Н. С., Васильцова О. А., Фахрадова В. А. Фотодинамическая терапия в стоматологии (обзор литературы). Смоленский медицинский альманах. 2019;(3):102–111. [Mishutina O. L., Volchenkova G. V., Kovaleva N. S., Vasiltsova O. A., Fakhradova V. A. Photodynamic therapy in dentistry (literature review). Smolenskii meditsinskii al'manakh. 2019;(3):102–111. (In Russ.)]. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41213547
6. Манукян И. А., Рисованный С. И. Эффективность дезинфекции системы корневых каналов с использованием фотодинамической терапии на основе низкоинтенсивного диодного лазера и фотосенсибилизатора «Элофит». Международный научно-исследовательский журнал. 2021;(5–2):99–102. [Manukyan I. A., Risovanniy S. I. Efficacy of the root canal system disinfection by photodynamic therapy with a low-intensity diode laser and photosensitizer «Elofit». International research journal. 2021;(5–2):99–102. (In Russ.)]. https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.052
7. Бутвиловский А. В., Терехова Т. Н., Пыко Т. А. Медикаментозная обработка системы корневых каналов зубов: задачи, общие правила, основные ирриганты. Современная стоматология. 2022;(3):8–15. [Butvilovsky A., Tserakhava T., Pyko T. Medical treatment of the root canal system of the teeth: tasks, general rules, main irrigants. Sovremennaya stomatologiya. 2022;(3):8–15. (In Russ.)]. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49750239
8. Даников В. В., Гришина Ю. А., Захаров М. А., Королева А. С. Современные методы эндодонтической обработки корневых каналов зубов. Международный научно-исследовательский журнал. 2024;(4). [Danikov V. V., Grishina Y. A., Zakharov M. A., Koroleva A. S. Modern methods of endodontic treatment of teeth root canals. Meždunarodnyj naučno-issledovatel'skij žurnal. 2024;(4):66. (In Russ.)]. https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.91
9. Макеева И. М., Волков А. Г., Дикопова Н. Ж., Талалаев Е. Г. Повышение эффективности эндодонтического лечения с помощью аппаратурных методов. Стоматология. 2017;96(2):17–19. [Makeeva I. M., Volkov A. G., Dikopova N.Zh., Talalaev E. G. Endodontic treatment efficacy enhancement by means of instrumental physiotherapy. Stomatologiya. 2017;96(2):17–19. (In Russ.)]. https://doi.org/10.17116/stomat201796217-19
10. Фурцев Т. В., Казановская А. А., Прудникова С. В. Сравнительные результаты антибактериальной обработки корневых каналов по стандартному протоколу с применением гипохлорита натрия (NaOCl) и лазера Er, Cr: YSGG длиной волны 2780 нм. Российский стоматологический журнал. 2018;22(4):184–187. [Furtsev T. V., Kazanovskaya A. A., Prudnikova S. V. Comparative results of antibacterial processing of the root channels under the standard protocol with use of hypochlorite of sodium (NaOCl) and the laser Er, Cr: YSGG wave length 2780 нм. Russian journal of dentistry. 2018;22(4):184–187. (In Russ.)]. https://doi.org/10.18821/1728-2802-2018-22-4-184-187
11. Нагаева М. О., Куратов И. А., Тимохина Т. Х., Силантьева Т. А. Влияние способа активации ирригационного раствора в процессе эндодонтического лечения на структуру дентина корня и качество очистки корневого канала. Стоматология. 2020;99(4):15–20. [Nagaeva M. O., Kuratov I. A., Timokhina T.KH., Silantyev T. A. The influence of endodontic rinsing liquids activation methods on the root dentin structure and effectiveness of root canal cleaning. Stomatology. 2020;99(4):15–20. (In Russ.)]. https://doi.org/10.17116/stomat20209904115

12. Kazeminejad E., Niazi M., Geraili E., Rajabi A., Mohammadi M. Effect of Endodontic Irrigation on Mineral Content of Root Canal Dentine: A Systematic Review and Meta-Analysis. European endodontic journal. 2023;8(2):114–124. https://doi.org/10.14744/eej.2023.88528
13. Baykulova S. B., Makeeva M. K., Daurova F. Y. Ultrasonic irrigation protocols in endodontic. International research journal. 2018;(3):98–100. https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.69.007
14. 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;8(4):11–16. [Razumova S. N., Brago A. S., Barakat H. B., Kozlova Yu.S., Velichko E. V., Vasiliev Yu. L. Microbiological study of the efficiency of root canal treatment with Er: yYAG laser. Biomedical Photonics. 2019;8(4):11–16. (In Russ.)]. https://doi.org/10.24931/2413-9432-2019-8-4-11-16
15. Fahim S. Z., Ghali R. M., Hashem A. A., Farid M. M. The efficacy of 2780 nm Er, Cr; YSGG and 940 nm Diode Laser in root canal disinfection: A randomized clinical trial. Clinical oral investigations. 2024;28(3):175. https://doi.org/10.1007/s00784-024-05563-z
16. Abaza M. M., Harhash T. A.H., Zaky A. A. Comparative analysis of laser and ultrasonic irrigation techniques for smear layer removal in endodontics. Lasers in medical science. 2025;40(1):522. https://doi.org/10.1007/s10103-025-04766-4
17. Shi L., Wan J., Yang Y., Yao Y., Yang R., Xie W. Evolution of the combined effect of different irrigation solutions and activation techniques on the removal of smear layer and dentin microhardness in oval-shaped root canal: An in-vitro study. Biomolecules & biomedicine. 2023;23(1):126–136. https://doi.org/10.17305/bjbms.2022.7440
18. Постников М. А., Корчагина М. С., Романова Т. В., Магсумова О. А., Сагиров М. Р. Диодный лазер — современный универсальный инструмент врача-стоматолога. Российская стоматология. 2023;16(1):35–41. [Postnikov M. A., Korchagina M. S., Romanova T. V., Magsumova O. A., Sagirov M. R. Diode laser is a modern universal tool for a dentist. Russian journal of stomatology. 2023;16(1):35–41. (In Russ.)]. https://doi.org/10.17116/rosstomat20231601135
19. Gök T., Er Karaoglu G., Korucu H. Effect of phthalocyanine, methylene blue and toluidine blue photosensitizers on the adhesive interface of fiber posts: a confocal laser microscopy study. Lasers in Medical Science. 2025;40(1):106. https://doi.org/10.1007/s10103-025-04369-z
20. Chungkham S., Sambashivaiah S., Kulal R., Devi A. N. Comparison of Photodynamic Therapy (PDT) Using Methylene Blue and Toluidine Blue for the Treatment of Chronic Periodontitis — A Clinical and Microbiological Study. Journal of pharmacy & bioallied sciences. 2025;17(Suppl. 2): S1353-S1355. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_124_25
21. Рабинович И. М., Бабиченко И. И., Васильев А. В., Голубева С. А., Захарова К. Е. Изучение структуры стенки корневых каналов зубов после фотодинамического воздействия. Стоматология. 2018;97(1):16–21. [Rabinovich I. M., Babichenko I. I., Vasil'ev A.V., Golubeva S. A., Zakharova K. E. Root canals dentinal wall structure after photodynamic exposure. Stomatologiya. 2018;97(1):16–21. (In Russ.)]. https://doi.org/10.17116/stomat201897116-21
22. Рабинович И. М., Лебеденко И. Ю., Русанов Ф. С., Захарова К. Е. Изучение адгезии обтурационных материалов к дентину корня после фотодинамического воздействия. Клиническая стоматология. 2017;(4):4–7. [Rabinovich I. M., Lebedenko I.Ju., Rusanov F. S., Zaharova K. E. The study of adhesion of obturation materials to the root dentin after photodynamic exposure. Klinicheskaya stomatologiya. 2017;(4):4–7. (In Russ.)]. https://elibrary.ru/item.asp?id=30684140
23. Hoedke D., Enseleit C., Gruner D., Dommisch H., Schlafer S., Dige I. et al. Effect of photodynamic therapy in combination with various irrigation protocols on an endodontic multispecies biofilm ex vivo. International endodontic journal. 2018;51(Suppl. 1): e23-e34. https://doi.org/10.1111/iej.12763
24. Li Y., Sun G., Xie J., Xiao S., Lin C. Antimicrobial photodynamic therapy against oral biofilm: influencing factors, mechanisms, and combined actions with other strategies. Frontiers in microbiology. 2023;14:1192955. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1192955
25. Shahbazi S., Esmaeili S., Feli M., Asnaashari M. Photodynamic Therapy in Root Canal Disinfection: A Case Series and Mini-Review. Journal of lasers in medical sciences. 2022;13: e19. https://doi.org/10.34172/jlms.2022.19
26. Asnaashari M., Kooshki N., Salehi M. M., Azari-Marhabi S., Amin Moghadassi H. Comparison of Antibacterial Effects of Photodynamic Therapy and an Irrigation Activation System on Root Canals Infected With Enterococcus faecalis: An In Vitro Study. Journal of lasers in medical sciences. 2020;11(3):243–248. https://doi.org/10.34172/jlms.2020.41
27. Farrag M. E.A., El Agamy R. A.A., El Kalla I. H., Abdellatif A. M. Clinical and Radiographic Evaluation of Photodynamic Therapy in Root Canal Treatment of Primary Molars: A 15-month Randomized Clinical Trial. International journal of clinical pediatric dentistry. 2026;19(2):200–209. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-3453
28. Das U., Giri J., Ayer A. Effectiveness of antimicrobial photodynamic therapy in endodontic infection: a systematic review and meta-analysis. BMC Oral Health. 2025;26(1):116. https://doi.org/10.1186/s12903-025-07501-1
29. Oliveira-Aguiar J., Salmon B., Lourenço P. R., Faria-E-Silva A. L., Souza-Gabriel A. E., Sousa-Neto M. D. et al. Does adjunctive photodynamic therapy enhance sodium hypochlorite-based root canal disinfection? A systematic review and meta-analysis. Photodiagnosis and photodynamic therapy. 2026;58:105400. https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2026.105400
30. Караков К. Г., Хачатурян Э. Э., Узденов М. Б., Узденова Л. Х., Хачатурян А. Э., Еременко А. В. и др. Современный взгляд на антибактериальную обработку корневого канала с помощью лазерной фотодинамической терапии. Проблемы стоматологии. 2019;15(1):23–27. [Karakov K., Khachaturyan E., Uzdenov M., Uzdenoba L., Khachaturyan A., Eryomenko A. et al. Modern view on antibacterial treatment of a root channel with a break-off of endodontic tool. Actual problems in dentistry. 2019;15(1):23–27. (In Russ.)]. https://doi.org/10.18481/2077-7566-2019-15-1-23-27
31. Лосев Ф. Ф., Кречина Е. К., Иванова Е. В., Кукса Е. Ю., Гусева И. Е. Применение фотодинамической терапии в комплексном лечении хронического генерализованного пародонтита средней степени. Стоматология. 2023;102(2):11–15. [Losev F. F., Krechina E. K., Ivanova E. V., Kuksa E.Yu., Guseva I. E. The use of photodynamic therapy in the complex treatment of chronic generalized moderate periodontitis. Stomatology. 2023;102(2):11–15. (In Russ.)]. https://doi.org/10.17116/stomat202310202111
32. Кречина Е. К., Мягкова А. В., Абдурахманова З. У., Рассадина А. В., Гусева И. Е., Погабало И. В. Оценка фотодинамического воздействия на состояние микроциркуляции и оксигенации в тканях пародонта при лечении хронического генерализованного пародонтита. Стоматология. 2024;103(2):18–23. [Krechina E. K., Myagkova A. V., Abdurakhmanova Z. U., Rassadina A. V., Guseva I. E., Pogabalo I. V. Evaluation of the photodynamic effect on the state of microcirculation and oxygenation in periodontal tissues in the treatment of chronic generalized periodontitis. Stomatology. 2024;103(2):18–23. (In Russ.)]. https://doi.org/10.17116/stomat202410302118
33. Тарасова М. М. Фотодинамическая терапия при лечении хронического генерализованного пародонтита: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Москва; 2024. 26 с. [Tarasova M. M. Photodynamic therapy in the treatment of chronic generalized periodontitis: abstract of a dissertation for the degree of candidate of medical sciences. Moscow; 2024. 26 p. (In Russ.)]. https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_013214723?page=1&rotate=0&theme=white
34. Самусенков В. О. Клинико-лабораторный мониторинг применения фотодинамической терапии в комплексном лечении воспалительных заболеваний полости рта: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Москва; 2022. 46 с. [Samusenkov V. O. Clinical laboratory monitoring of the use of photodynamic therapy in the complex treatment of inflammatory diseases of the oral cavity: abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences. Moscow; 2022. 46 p. (In Russ.)]. https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_011853624?page=1&rotate=0&theme=white
35. Артемова О. А. Клинико-лабораторное обоснование применения фотодинамической терапии для профилактики и лечения пациентов с воспалительными заболеваниями слизистой оболочки рта: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Москва; 2023. 25 с. [Artemova O. A. Clinical and laboratory justification for the use of photodynamic therapy for the prevention and treatment of patients with inflammatory diseases of the oral mucosa: abstract of a dissertation for the degree of candidate of medical sciences. Moscow; 2023. 25 p. (In Russ.)]. https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_011638799?page=1&rotate=0&theme=white
36. Doshi P., Oswal P., Srinidhi S. R., Bhujbal M., Malu K. Antimicrobial efficacy of ozone therapy in endodontic treatment: A systematic review. Endodontics Today. 2025;23(1):80–87. https://doi.org/10.36377/ET-0073
37. Костионова-Овод И. А., Свечникова М. В., Постников М. А. Перспектива применения фотодинамической терапии в стоматологии. Актуальные проблемы медицины. 2025;48(2):204–210. [Kostionova-Ovod I. A., Svechnikova M. V., Postnikov M. A. Prospects of application of photodynamic therapy in dentistry. Challenges in Modern Medicine. 2025;48(2):204–210. (In Russ.)]. https://doi.org/10.52575/2687-0940-2025-48-2-204-210
38. Наумович С. А., Плавский В. Ю., Кувшинов А. В. Антимикробная фотодинамическая терапия: преимущества, недостатки и перспективы развития. Современная стоматология. 2020;(1):11–16. [Naumovich S., Plavsky V., Kuvshinov A. Antimicrobial photodynamic therapy: advantages, disadvantages and development prospects. Sovremennaya stomatologiya. 2020;(1):11–16. (In Russ.)]. https://elibrary.ru/item.asp?id=42642360
39. Вайц С. В., Даурова Ф. Ю., Вайц Т. В., Гальцова А. В. Фотодинамическая терапия в эндодонтии. Институт стоматологии. 2021;(1):97–99. [Vaits S. V., Daurova F.Yu., Vaits T. V., Galtsova A. V. Photodynamic therapy in endodontics. Institut stomatologii. 2021;(1):97–99. (In Russ.)]. https://elibrary.ru/item.asp?id=45632840
40. Kumar B., Kannalil Lalu A., Caushi S., Devatha P., Nagra T. S., Sharma B. Endodontic Irrigation: From Current Concepts to Future Innovations. International Journal of Advanced Research. 2026;14(02):276–290. https://doi.org/10.21474/IJAR01/22743