

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.91>

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭНДОДОНТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРНЕВЫХ КАНАЛОВ ЗУБОВ

Обзор

Даников В.В.^{1,*}, Гришина Ю.А.², Захаров М.А.³, Королева А.С.⁴^{1, 2, 3, 4} Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (valera.danikov[at]mail.ru)

Аннотация

Отмечено, что за последние десятилетия технологии и методики обработки корневых каналов претерпели значительные изменения. Систематический анализ последних исследований показал эффективность применения инструмента из никель-титанового сплава (Ni-Ti), гипохлорит натрия и ЭДТА являются наиболее востребованными при химической обработке полостей каналов, на инструментальном этапе обработки приоритетными являются методы механизированной обработки. Сделан вывод о том, что современные методы эндодонтической обработки каналов позволяют тщательно подготовить полость корня для последующей obturации. В целях медикаментозной санации целесообразно применение комбинации ЭДТА и гипохлорита натрия (NaOCl) в концентрации 2,5-3%. Инструмент из легированной коррозионноустойчивой стали имеет значительно низкие физические характеристики в сравнении с никель-титановым, что подтверждается рядом испытаний. Механическая обработка ручными способами уступает место механизированным системам с возможностью ультразвукового усиления, позволяющим сохранить структуру канала и произвести очистку более тщательно.

Ключевые слова: эндодонтия, современные технологии, стоматология.

MODERN METHODS OF ENDODONTIC TREATMENT OF TEETH ROOT CANALS

Review article

Danikov V.V.^{1,*}, Grishina Y.A.², Zakharov M.A.³, Koroleva A.S.⁴^{1, 2, 3, 4} Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

* Corresponding author (valera.danikov[at]mail.ru)

Abstract

It is noted that over the last decades the technologies and methods of root canal treatment have undergone significant changes. Systematic analysis of recent studies has shown the effectiveness of using tools made of nickel-titanium alloy (Ni-Ti), sodium hypochlorite and EDTA are the most demanded in chemical treatment of root canal cavities, at the instrumental stage of treatment the methods of mechanized treatment are the priority. It is concluded that modern methods of endodontic canal treatment allow to thoroughly prepare the root cavity for subsequent obturation. For the purposes of medical sanitation it is advisable to use a combination of EDTA and sodium hypochlorite (NaOCl) in the concentration of 2.5-3%. Tools made of alloyed corrosion-resistant steel have significantly lower physical characteristics in comparison with nickel-titanium, which is confirmed by a number of tests. Mechanical treatment by manual methods is giving way to mechanized systems with the possibility of ultrasonic amplification, allowing to preserve the structure of the canal and to clean more thoroughly.

Keywords: endodontics, modern technologies, dentistry.**Введение**

Методы эндодонтического лечения направлены на купирование инфекционного процесса и предотвращение возможных осложнений заболеваний пульпы и периодонта. Эндодонтическое лечение пользуется большим спросом в связи с большой распространенностью кариеса, составляющей от 25 до 40% в различных регионах, но является одним из самых сложных направлений в стоматологии [28]. Остается актуальным вопрос разработки новых подходов к обработке корневых каналов, совершенствование инструментов и методик восстановления структуры зуба после лечебного вмешательства.

За последнее время опубликовано большое количество исследований в области эндодонтического лечения, запатентованы усовершенствованные системы и химические препараты для обработки каналов, разработаны новые подходы к диагностике, внедрены новые аппараты визуализации. С внедрением новых технологий процесс эндодонтического лечения становится более безопасным и предсказуемым. Так, появление в 1993 году (John McSpadden и Ben Johnson) файлов из никель-титанового (NiTi) сплава позволило осуществлять препарирование с большей скоростью и сохранять исходную анатомическую структуру каналов [12], [13]. А цифровая обработка изображений и конусо-лучевая-КТ повышают информативность диагностики [2].

Основные результаты

Клинические испытания инструмента из никель-титанового сплава показали более высокие прочностные характеристики по сравнению с инструментом из нержавеющей стали [13]. Так, никель-титановый инструмент оказался более эластичным, устойчивым к усталостному излому и торсионной нагрузке. Инструмент из данного сплава позволяет снизить долю лечебных ошибок и уменьшить механическое повреждение канала [14], [15], [16].

Этапы эндодонтического лечения включают в себя: создание первичного доступа, удаление тканей пульпы, расширение и обработка каналов, obturацию пломбировочным материалом, коронарную герметизацию

(восстановление). Для организации прямолинейного доступа в корневой канал, уменьшения угла искривления используются инструменты от Dentsply Sirona (файлы и шейперы Protaper Next, WaveOne), Kerr (Profile), Medin (система HyFlex), VDW (Reciproc и Mtwo) [10]. Процесс инструментальной и медикаментозной обработки состоит из нескольких этапов: создание «ковровой дорожки», измерение длины канала и инструментальная обработка [7], [9].

Для медикаментозной обработки применяется гипохлорит натрия (NaClO) в концентрации $0,5\% < n < 5,25\%$ или раствор ЭДТА (этилендиаминтетраацетат). Гипохлорит натрия используется для очистки остатков экстирпированной соединительной ткани пульпы, некротизированных тканей и продуктов распада из-за его выраженных протеолитических свойств [5]. Является сильным основанием ($\text{pH} > 11$) и обладает бактерицидными свойствами, окисляет и подвергает гидролизу белковые молекулы клеток как грамотрицательных, так и грамположительных микроорганизмов [7], [16]. Обладает кровоостанавливающим действием, воздействуя посредством окисления на белки крови и гемоглобин и инициирует процесс коагуляции в просвете сосудов. Концентрация $0,5\%$ применима для обработки апикальной части каналов, концентрации $>3\%$ для устья и зубной полости. Концентрация 3% наиболее распространена и наиболее часто используется в практике. Кроме того, повышение температуры раствора при низкой концентрации улучшает его гидролитические свойства [1], [11].

Четырехосновная этилендиаминтетрауксусная кислота не применяется в эндодонтии в чистом виде в силу невозможности достичь нужной концентрации препарата в 17% , необходимой для достижения целевого результата. Применяется натриевая соль – этилендиаминтетраацетат (аналоги – Трилон Б, Largal Ultra, гель Canal+), запускающая реакции выделения ионов – хелатирование [23]. Хелатирование ионов кальция из дентина и дэбриса приводит к их размягчению, что необходимо при механической обработке. В эксперименте Waltimo T. M. et al. выявлены фунгицидные свойства ЭДТА в отношении *C. Albicans* и *A. Nigrum*, что объясняется выделением ионов кальция из клеточной стенки эндопатогенов, содержащей хитин. Экспозиция обработки составляет в среднем 30-45 минут [18]. Для ускорения процесса возможно увеличение количества ирриганта или его ультразвуковая активация.

Вследствие выраженных протеолитических свойств, NaOCl в высоких концентрациях ($5,25\%$, 6%) следует применять под строгим контролем в целях предупреждения эрозии поверхности корневого канала. Исследования биоматериала посредством электронной микроскопии показало, что ЭДТА не способен растворить протеогликановый слой *lamina limitans* [14]. Таким образом, деминерализация канальцевого дентина с помощью ЭДТА требует дополнительного использования NaOCl [18].

С целью удаления смазанного слоя применяется комбинация хелатов. Смазанный слой имеет в строении 2-3 подслоя: минерализованный (гидроксипатит) и органический (остатки тканей зуба после фрезеровки, клеточный компонент погибших микроорганизмов) [25]. Соответственно, для удаления минеральных отложений используется ЭДТА, для органического компонента – гипохлорит натрия. Препараты не оказывают требуемого эффекта при раздельном применении и для достижения должных результатов необходимо комбинированное использование [28]. Для случаев со сложной анатомией зуба, для зачистки истмусов, перешейков с сформировавшимися пробками из дэбриса и дезинфекции целесообразно после удаления смазанного слоя добавление гидроокиси кальция, создающей сильнощелочную среду в дентине и оказывающего выраженное бактерицидное действие [4].

Стоит учесть, что комбинированное использование ротационного инструмента и ирригации ЭДТА или гипохлоритом не позволит уменьшить время процедуры [22]. Это объясняется продолжительным временным периодом до размягчения поверхностных слоев дентина [17]. Наоборот, работа фрезы в жидкой среде (гель или жидкость) способствует быстрому загрязнению и скоплению отходов обработки на режущей грани насадки. Никель-титановые имеют свойство запоминания формы и при предварительном размягчении раствором ЭДТА высок риск транспорта и или стрип-перфорации канала [4], [10].

Скорость обработки корневых каналов с помощью инструментов значительно превышают такую при медикаментозном воздействии. Основной целью вида обработки является подготовка биопленки к химической дезинфекции и сохранение более толстого слоя дентина [19]. В настоящее время разработаны и применяются следующие методы эндодонтической обработки: апикально-корональные (стандартная, сбалансированных сил и техника step back), коронально-апикальные (crown-down), антикурватурная обработка [3].

Для зубов с прямой формой корневых каналов и круглым сечением применяется стандартный метод. На первых этапах канал проходят К-римерами № 8 – 15 до верхушечного отверстия вращательными движениями, следом расширяют канал на рабочую длину пилящими движениями с постепенным увеличением номера файла до достижения намеченного диаметра [6], [8].

Техника сбалансированных сил (Balanced-forced technique) является более универсальной и может применяться для работы как с прямой, так и со сложной архитектурой канала [4]. Длину рабочего канала определяют введением К-файла до момента упора, после чего, поворачивая инструмент на $90-1200$ по часовой стрелке, снимается верхний слой дентина. Вторым этапом ример поворачивают в обратном направлении на 2700 , удерживая на том же уровне. Извлечение инструмента производится вращательными движениями по часовой стрелке. На основе данной техники разработаны инструменты с реципрокным движением файла [2], [5].

Согласно технике Step-back обработка канала от верхушечного отверстия до устья производится инструментом с постепенным переходом на больший диаметр инструмента. Начиная с минимального размера К-file, работу продолжают до Master Apical File (№ 25), после чего канала расширяют последовательно инструментами № 30, 35, 40 и удаляют скопившийся осадок. Завершают процедуру обработкой устья Gates Glidden. Из недостатков техники отмечается возможность формирования дентинных пробок, изменение анатомической позиции апикальной части и перфорации стенки корня [25], [26], [27].

Коронально-апикальная техника Crown Down работает по принципу, обратному описанному в предыдущих техниках. Таким образом, предусмотрена поэтапная работа от устья к верхушке с уменьшением размера инструмента. Коронарно-апикальные методы нашли место при механизированных способах расширения просвета.

Положительными сторонами данного метода является исключение вероятности проталкивания стружки вглубь канала и риск распада пульпы [16], [17], [19]. Отрицательной стороной метода является то, что снижается точность определения рабочей глубины, поэтому её определяют в два этапа. На первом этапе расширения вводится файл №35 на глубину приблизительно 15-16 мм, затем определяют промежуточную рабочую длину и проходят инструментом апикальную часть на это же расстояние. На предпоследнем этапе измеряется окончательная рабочая длина и расширяют канал до неё. Машинная обработка ротационным инструментом проводится по описанной схеме [10].

Антикурватурное расширение производится Н-файлами фирмы Kerr, изготовленными из нержавеющей стали. Перед началом использования инструменту придаётся форма кривизны канала, и проводят обработку стороной с большим углом изгиба, что предупреждает перфорацию стенки канала по малой кривизне. В системе SAF (самоадаптирующийся файл) файл представлен полым сетчатым цилиндром с тонкими стенками из никель-титанового сплава, что позволяет принимать ему форму канала («один инструмент на весь канал»). Технология позволяет сохранить исходную форму канала. Вращательные движения приводят к радиальному расширению файла и тем самым создаётся равномерное давление на стенки. Никель-титановые файлы ProTaper представлены двумя видами – формирующими (S1,2,x) для работы в коронковой и средней части и финишными (F1,2,3) для обработки апекса [20], [21], [24].

Разработки Michael Hulsmaann, Paul M. H. Dummer и др. положили начало новой эре в лечении заболеваний пародонта с внедрением никель-титановых вращающихся инструментов [8], [11], [23]. По устройству, типу режущих движений и используемому сплаву они разделены на 3 группы: с радиальными плоскостями и сверлящим механизмом; с треугольным поперечным сечением и режущим типом движений; с вариативной геометрией файла и изменяющимся вариантом движений. Гибкая конструкция инструмента позволяет обрабатывать труднодоступные места и с меньшими временными затратами [1].

Большая часть инструмента изготавливается по технологиям шлифования, лазерного травления или путем пластической деформации при высокой или низкой температуре. Инструменты первой группы наиболее применимы для пассивной обработки канала. В настоящее время применяются, например, LightSpeed (1990 г.) и ProFile (1994 г.). Отличительной чертой их является U-образная форма и при работе ими специальное строение наконечника позволяет направлять файл напрямую к апексу [21]. Но их применение имеет некоторые ограничения. Так, в данном типе инструментов преобладает сверлящее движение, что приводит к образованию смазанного слоя большей толщины и консистенции, отличной от таковой при режущем типе. С другой стороны, статистические исследования *in vitro* показали небольшое количество ошибок препарирования [13], [16], [18].

Вторая группа с конструкцией для активного препарирования и имеющая поперечное треугольное сечение имеют большие прочностные характеристики на изгиб. Наиболее устойчивыми по отношению к изгибающим нагрузкам являются инструменты с ромбовидным сечением. К компаниям, производящим данные инструменты, относятся FKG, MicroMega, Braseller, Sweden e Martina и др. При использовании инструмента данной группы относительно высок риск перелома инструмента в канале, ввинчивания и втягивания при достижении рабочей длины [28], [29].

Для сложных анатомических случаев применяются инструменты третьей группы (WaveOne, ReDent-Nova, Endo-EZE, звуковые и ультразвуковые Cavi-Endo, ENAC). В WaveOne применена технология возвратно-поступательного движения (впервые была использована в Giromatic). Формирующие характеристики аналогичны системам с непрерывным типом вращения, но при возвратно-поступательном вращении продукты обработки скапливаются в апикальной части вместо их выведения в коронковую часть зуба [4], [8], [27]. Это создает дополнительные трудности для работы и требует периодической очистки файла [4].

Ультразвуковые аппараты задают файлу вибрацию по типу синусовой волны, при которой наконечник инструмента отражает область антиузла. Это позволяет передавать большее количество энергии на вращающийся файл, но требует дополнительного контроля и при неправильной настройке приводит к истончению стенок корневой системы. Оценка результатов обработки каналов с ультразвуковой активацией (Recipro) показала меньший остаток пломбировочного материала в корневой системе зубов по сравнению с ProTaper и мануальной техникой (R. A. Bernardes и соавт.) [2], [10], [17].

Современные эндомоторы с помощью встроенных микропроцессоров самостоятельно регулируют частоту оборотов и силу крутящего момента в соответствии с характеристиками никель-титанового файла. Внедрение апекслокатора в моторы позволяет предотвратить перфорацию канала. Лабораторные и клинические испытания доказали целесообразность использования моторного инструмента вместе с лубрикантами (например, RCPrep, Glyde) [11]. Для удаления поломанного инструмента применяют щипцы с наклоном головки на 450 и 900, модифицированные боры Gates-Glidden, иглы с проволочной петлей, ультразвуковые насадки, экстракторы [5], [7], [8].

Исследование Nelly Schulz-Weidner и соавт. *in vitro* систем механической подготовки корневых каналов (FlexMaster, HyFlex EDM) в сравнении с ручной (K-File) с оценкой морфологии каналов нативных препаратов зубов посредством μ -компьютерной томографии с изотропным разрешением сканирования 10 мкм позволило сделать следующие выводы:

- механическая обработка позволила достичь лучших значений коэффициента центрирования по сравнению с ручной;
- меньшая эластичность файла из нержавеющей стали по сравнению с никель-титановым приводит к отклонению (отклонение от центральной оси более чем на 0,3 мм считалось клинически значимым) инструмента от центральной оси и чрезмерному воздействию на стенки канала в процессе препарирования;
- системы FlexMaster, HyFlex EDM заметно сократили время на проведение процедуры по сравнению с K-File;

Исследования Huang, Barasuo и соавт. также отметили лучшие показатели центрирования систем ProTaper Next, HyFlex CM и HyFlex EDM в сравнении с механическими методами [15], [20].

Заключение

Таким образом, современные методы эндодонтической обработки каналов позволяют тщательно подготовить полость корня для последующей obturации. В целях медикаментозной санации целесообразно применение комбинации ЭДТА и гипохлорита натрия (NaOCl) в концентрации 2,5-3%. Инструмент из легированной коррозионностойкой стали имеет значительно низкие физические характеристики в сравнении с никель-титановым, что подтверждается рядом испытаний. Механическая обработка ручными способами уступает место механизированным системам с возможностью ультразвукового усиления, позволяющим сохранить структуру канала и произвести очистку более тщательно.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.91.1>

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.91.1>

Список литературы / References

- Almanei K.K. Quality of root canal treatment of molar teeth provided by Saudi dental students using hand and rotary preparation techniques: Pilot study / K.K. Almanei // *Saudi Endodontic Journal*. — 2018. — 8.1. — p. 1-6.
- Bernardes R.A. Comparison of three retreatment techniques with ultrasonic activation in flattened canals using micro-computed tomography and scanning electron microscopy / R.A. Bernardes [et al.] // *International endodontic journal*. — 2016. — 49.9. — p. 890-897.
- Betancourt A.R. Overview of Ultrasound in Dentistry for Advancing Research Methodology and Patient Care Quality with Emphasis on Periodontal/Peri-implant Applications / A.R. Betancourt [et al.] // *Journal of Medical Physics*. — 2023.
- Bóveda C. The Role of Modern Technologies for Dentin Preservation in Root Canal Treatment / C. Bóveda, A. Kishen // *Minimally Invasive Approaches in Endodontic Practice*. — 2021. — p. 1-32.
- Buerklein S. Effectiveness of root canal instrumentation for the treatment of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis / S. Buerklein, A. Arias // *International Endodontic Journal*. — 2023. — Vol. 56. — p. 395-421.
- Chu D. The effectiveness of nickel-titanium versus stainless steel instrumentation for non-surgical endodontic therapy: a systematic review protocol / D. Chu, C. Lockwood // *JBI Evidence Synthesis*. — 2015. — Vol. 13. — №. 6. — p. 127-138.
- Donnermeyer D. Impact of new cross-sectional designs on the shaping ability of rotary NiTi instruments in S-shaped canals / D. Donnermeyer [et al.] // *Odontology*. — 2020. — 108. — p. 174-179.
- Iandolo A. Modern Therapeutic Strategies in Endodontics and Restorative Dentistry / A. Iandolo // *Medicina (Kaunas)*. — 2023. — 59(2). — p. 333.
- Iandolo A. Modern technologies in Endodontics / A. Iandolo [et al.] // *Italian Journal of Endodontics*. — 2016. — p. 2-9.
- Kuzekanani M. Nickel-Titanium rotary instruments: Development of the single-file systems / M. Kuzekanani // *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*. — 2018. — p. 386.
- Liang Y. Evolution and development: engine-driven endodontic rotary nickel-titanium instruments / Y. Liang, L. Yue // *International Journal of Oral Science*. — 2022. — Vol. 14.
- Martins J.N.R. Unveiling the Performance of Nickel-Titanium Endodontic Instruments through Multimethod Research: A Review / N.R.J. Martins [et al.] // *Applied Sciences*. — 2023. — p. 7048.
- Munawwar M. Comparison of Step-Down Versus Step-Back Hand Preparation Technique of Root Canals / M. Munawwar, M.B. Munir, M. Sajid // *Annals Of Abbasi Shaheed Hospital And Karachi Medical & Dental College*. — 2019. — p. 45-50.
- Peters O.A. Mechanical properties of a novel nickel-titanium root canal instrument: Stationary and dynamic tests / A.O. Peters, A. Arias, A. Choi // *Journal of Endodontics*. — 2020. — p. 994-1001.
- Schulz-Weidner N. Evaluation of Mechanical Versus Manual Root Canal Preparation in Primary Molars—A Comparative In Vitro Study / N. Schulz-Weidner [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. — 2023. — p. 7718.
- Silva Emmanuel J.N.L. Mechanical tests, metallurgical characterization, and shaping ability of nickel-titanium rotary instruments: a multimethod research / J.N.L. Emmanuel Silva [et al.] // *Journal of Endodontics*. — 2020. — p. 1485-1494.
- Togoe M.M. Modern approaches of analysis and treatment of endodontic lesions using the endoscope and the optical coherence tomography / M.M. Togoe [et al.] // *Romanian J Oral Rehabil*. — 2019. — 11. — p. 38-51.
- Xu H. Effects of concentration of sodium hypochlorite as an endodontic irrigant on the mechanical and structural properties of root dentine: A laboratory study / Xu H., A. Zhang, F. Lin [et al.] // *Int Endod J*. — 2022. — 55(10). — p. 1091-1102.
- Zavattini A. Outcome of root canal treatments using a new calcium silicate root canal sealer: a non-randomized clinical trial / A. Zavattini [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. — 2020. — Vol. 9. — №. 3. — p. 782.
- Базикян Э.А. Эндодонтия: учебное пособие / Э.А. Базикян. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2016. — 160 с.
- Бирагова А.К. Определение эффективности ручных никель-титановых инструментов при механической обработке корневых каналов с различной анатомией в эксперименте / А.К. Бирагова, А.А. Беленчиков, А.А. Епихев // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. — 2019. — Т. 13. — №. 1. — С. 79-81.

22. Бритова А.А. Стоматология. Эндодонтия: учебное пособие для вузов / А.А. Бритова. — Москва: Юрайт, 2023. — 177 с.
23. Бутвиловский А.В. Консервативное эндодонтическое лечение: современные принципы и методы / А.В. Бутвиловский [и др.] // Современная стоматология. — 2018. — 2 (71). — С. 30-33.
24. Глухова Е.А. Клинико-лабораторное обоснование эффективности эндодонтического лечения / Е.А. Глухова, Г.С. Межевикина // Наука молодых – *Egreditio Juvenium*. — 2019. — Т. 7. — № 2. — с. 294-300.
25. Кузьмина Д.А. Эндодонтическое лечение зубов: методология и технология: учеб. пособие / Д.А. Кузьмина, О.Л. Пихур, А.С. Иванов. — Санкт-Петербург: СпецЛит, 2019. — 285 с.
26. Петушкова Е.В. Сравнительная характеристика современных эндодонтических систем для повторной ревизии корневых каналов / Е.В. Петушкова // Стоматология. — 2022. — Т. 101. — № 3. — с. 100-101.
27. Рувинская Г.Р. Современные принципы эндодонтического лечения: учебно-методическое пособие / Г.Р. Рувинская, М.А. Ушакова. — Казан. ун-т, 2021. — 42с.
28. Хабадзе З.С. Анализ бактерицидного действия гипохлорита натрия и хлоргексидина на резистентные микроорганизмы биопленки (*E. Faecalis*, *S. Albicans*) / З.С. Хабадзе [и др.] // Эндодонтия Today. — 2020. — Т. 18. — № 4. — с. 36-43.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Almani K.K. Quality of root canal treatment of molar teeth provided by Saudi dental students using hand and rotary preparation techniques: Pilot study / K.K. Almani // *Saudi Endodontic Journal*. — 2018. — 8.1. — p. 1-6.
2. Bernardes R.A. Comparison of three retreatment techniques with ultrasonic activation in flattened canals using micro-computed tomography and scanning electron microscopy / R.A. Berardes [et al.] // *International endodontic journal*. — 2016. — 49.9. — p. 890-897.
3. Betancourt A.R. Overview of Ultrasound in Dentistry for Advancing Research Methodology and Patient Care Quality with Emphasis on Periodontal/Peri-implant Applications / A.R. Betancourt [et al.] // *Journal of Medical Physics*. — 2023.
4. Bóveda C. The Role of Modern Technologies for Dentin Preservation in Root Canal Treatment / C. Bóveda, A. Kishen // *Minimally Invasive Approaches in Endodontic Practice*. — 2021. — p. 1-32.
5. Buerklein S. Effectiveness of root canal instrumentation for the treatment of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis / S. Buerklein, A. Arias // *International Endodontic Journal*. — 2023. — Vol. 56. — p. 395-421.
6. Chu D. The effectiveness of nickel-titanium versus stainless steel instrumentation for non-surgical endodontic therapy: a systematic review protocol / D. Chu, C. Lockwood // *JBI Evidence Synthesis*. — 2015. — Vol. 13. — № 6. — p. 127-138.
7. Donnermeyer D. Impact of new cross-sectional designs on the shaping ability of rotary NiTi instruments in S-shaped canals / D. Donnermeyer [et al.] // *Odontology*. — 2020. — 108. — p. 174-179.
8. Iandolo A. Modern Therapeutic Strategies in Endodontics and Restorative Dentistry / A. Iandolo // *Medicina (Kaunas)*. — 2023. — 59(2). — p. 333.
9. Iandolo A. Modern technologies in Endodontics / A. Iandolo [et al.] // *Italian Journal of Endodontics*. — 2016. — p. 2-9.
10. Kuzekanani M. Nickel-Titanium rotary instruments: Development of the single-file systems / M. Kuzekanani // *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*. — 2018. — p. 386.
11. Liang Y. Evolution and development: engine-driven endodontic rotary nickel-titanium instruments / Y. Liang, L. Yue // *International Journal of Oral Science*. — 2022. — Vol. 14.
12. Martins J.N.R. Unveiling the Performance of Nickel-Titanium Endodontic Instruments through Multimethod Research: A Review / N.R.J. Martinis [et al.] // *Applied Sciences*. — 2023. — p. 7048.
13. Munawwar M. Comparison of Step-Down Versus Step-Back Hand Preparation Technique of Root Canals / M. Munawwar, M.B. Munir, M. Sajid // *Annals Of Abbasi Shaheed Hospital And Karachi Medical & Dental College*. — 2019. — p. 45-50.
14. Peters O.A. Mechanical properties of a novel nickel-titanium root canal instrument: Stationary and dynamic tests / A.O. Peters, A. Arias, A. Choi // *Journal of Endodontics*. — 2020. — p. 994-1001.
15. Schulz-Weidner N. Evaluation of Mechanical Versus Manual Root Canal Preparation in Primary Molars—A Comparative In Vitro Study / N. Schulz-Weidner [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. — 2023. — p. 7718.
16. Silva Emmanuel J.N.L. Mechanical tests, metallurgical characterization, and shaping ability of nickel-titanium rotary instruments: a multimethod research / J.N.L. Emmanuel Silva [et al.] // *Journal of Endodontics*. — 2020. — p. 1485-1494.
17. Togoe M.M. Modern approaches of analysis and treatment of endodontic lesions using the endoscope and the optical coherence tomography / M.M. Togoe [et al.] // *Romanian J Oral Rehabil*. — 2019. — 11. — p. 38-51.
18. Xu H. Effects of concentration of sodium hypochlorite as an endodontic irrigant on the mechanical and structural properties of root dentine: A laboratory study / Xu H., A. Zhang, F. Lin [et al.] // *Int Endod J*. — 2022. — 55(10). — p. 1091-1102.
19. Zavattini A. Outcome of root canal treatments using a new calcium silicate root canal sealer: a non-randomized clinical trial / A. Zavattini [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. — 2020. — Vol. 9. — № 3. — p. 782.
20. Bazikyan E.A. Endodontics: textbook [Endodontics: textbook] / E.A. Bazikyan. — Moscow: GEOTAR-Media, 2016. — 160 p. [in Russian]
21. Biragova A.K. Opredelenie effektivnosti ruchnyh nikel'-titanovyh instrumentov pri mekhanicheskoy obrabotke kornevnyh kanalov s razlichnoj anatomiej v eksperimente [Determination of the effectiveness of hand-held nickel-titanium instruments during mechanical treatment of root canals with different anatomy in an experiment] / A.K. Biragova, A.A. Belenchekov, A.A. Epihev // *Vestnik novyh medicinskih tekhnologij. Elektronnoe izdanie* [Bulletin of new medical technologies. Electronic edition]. — 2019. — Vol. 13. — 1. — p. 79-81. [in Russian]

22. Britova A.A. Stomatologiya. Endodontiya: uchebnoe posobie dlya vuzov [Dentistry. Endodontics: textbook for universities] / A.A. Britova. — Moscow: Yurayt, 2023. — 177 p. [in Russian]
23. Butvilovsky A.V. Konservativnoe endodonticheskoe lechenie: sovremennye principy i metody [Conservative endodontic treatment: modern principles and methods] / A.V. Butvilovskij [et al.] // Sovremennaya stomatologiya [Modern dentistry]. — 2018. — 2 (71). — P. 30-33. [in Russian]
24. Glukhova E.A. Kliniko-laboratornoe obosnovanie effektivnosti endodonticheskogo lecheniya [Clinical and laboratory substantiation of the effectiveness of endodontic treatment] / E.A. Gluhova, G.S. Mezhevikina // Nauka molodyh – Eruditio Juvenium [Science of the Young – Eruditio Juvenium]. — 2019. — Vol. 7. — № 2. — p. 294-300. [in Russian]
25. Kuzmina D.A. Endodonticheskoe lechenie zubov: metodologiya i tekhnologiya: ucheb. posobie [Endodontic dental treatment: methodology and technology: study guide] / D.A. Kuzmina, O.L. Pikhur, A.S. Ivanov. — St. Petersburg: SpetsLit, 2019. — 285 p. [in Russian]
26. Petushkova E.V. Sravnitel'naya harakteristika sovremennyh endodonticheskikh sistem dlya povtornoj revizii kornevyh kanalov [Comparative characteristics of modern endodontic systems for repeated revision of root canals] / E.V. Petushkova // Stomatologiya [Dentistry]. — 2022. — Vol. 101. — № 3. — p. 100-101. [in Russian]
27. Ruvinskaya G.R. Sovremennye principy endodonticheskogo lecheniya: uchebno-metodicheskoe posobie [Modern principles of endodontic treatment: educational manual] / G.R. Ruvinskaya, M.A. Ushakova. — Kazan. univ., 2021. — 42 p. [in Russian]
28. Khabadze Z. S. Analiz baktericidnogo dejstviya gipohlorita natriya i hlorgeksidina na rezistentnye mikroorganizmy bioplenki (E. Faecalis, C. Albicans) [Analysis of the bactericidal effect of sodium hypochlorite and chlorhexidine on resistant biofilm microorganisms (E. Faecalis, C. Albicans)] / Z.S. Khabadze [et al.] // Endodontiya Today [Endodontics Today]. — 2020. — Vol. 18. — № 4. — p. 36-43. [in Russian]