



Сравнительный анализ эффективности механической обработки корневых каналов различными системами Ni-Ti файлов

О.А. Антонова , В.А. Воинова ✉, Ю.А. Митронин

Российский университет медицины, г. Москва, Российская Федерация

✉ viktea.voinova@mail.ru

Резюме

ВВЕДЕНИЕ. Одним из основных этапов эндодонтического лечения является качественная механическая обработка корневых каналов. Большое количество различных ротационных Ni-Ti файлов на стоматологическом рынке ставит перед врачом трудный выбор, особенно в условиях импортозамещения. В связи с чем, понимание и знание особенностей строения и эффективности той или иной системы инструментов в конкретном клиническом случае является необходимым аспектом для успешного лечения.

ЦЕЛЬ. При помощи сканирующей электронной микроскопии и компьютерной микротомографии проанализировать качество механической обработки корневого канала файлами отечественного и зарубежного производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В ходе исследования были отобраны однокорневые и многокорневые зубы с различной кривизной корневого канала, которые распределяли в соответствии с используемой системой Ni-Ti файлов: группа 1 – RM-файлы (РусМед), группа 2 – ProTaper Universal (Dentsply Mallifier), группа 3 – M-two (VDW).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Анализ сканирующей электронной микроскопии шлифов зубов показал, что наибольшее количество открытых дентинных канальцев определяется при обработке корневого канала инструментами группы 1 ($55,4 \pm 1,37$) и группы 3 ($60,25 \pm 1,59$). Центрирующая способность при кривизне корневого канала $20-25^\circ$ не имела существенных различий между используемыми инструментами. При кривизне корневого канала $40-45^\circ$ значение данного параметра значительно снижалось во всех группах инструментов, наибольшим оно было у групп 1 и 3.

ВЫВОДЫ. Выявлено, что наилучшее качество механической обработки корневого канала было получено при использовании RM-файлов и Mtwo в образцах с кривизной канала до 25° .

Ключевые слова: Ni-Ti файлы, микро-КТ, сканирующая электронная микроскопия, механическая обработка

Информация о статье: поступила – 01.07.2024; исправлена – 10.08.2024; принята – 13.08.2024

Конфликт интересов: Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: Финансирование и индивидуальные благодарности для декларирования отсутствуют.

Для цитирования: Антонова О.А., Воинова В.А., Митронин Ю.А. Сравнительный анализ эффективности механической обработки корневых каналов различными системами Ni-Ti файлов. *Эндодонтия Today*. 2024;22(3):206–211. <https://doi.org/10.36377/ET-0032>

Comparative analysis of the effectiveness of mechanical treatment of root canals by various Ni-Ti file systems

Olesya A. Antonova , Viktoriia A. Voinova ✉, Yuriy A. Mitronin

Russian University of Medicine, Moscow, Russia Federation

✉ viktea.voinova@mail.ru

Abstract

INTRODUCTION. One of the main stages of successful endodontic treatment is high-quality mechanical treatment of root canals. A large number of various rotary Ni-Ti files in the dental market poses a difficult choice for the doctor, especially in the context of import substitution. It is necessary to have knowledge about the effectiveness of different system of instruments in a particular clinical case.

AIM. With the help of scanning electronic mycoroscopy and computer microtomography, to analyze the quality of mechanical treatment of the root canal with files of domestic and foreign production.

MATERIALS AND METHODS. During the study, single-root and multi-root teeth with different root canal curvature were selected, which were distributed according to the Ni-Ti file system used: group 1 – RM files (RusMed), group 2 – ProTaper Universal (Dentsply Mallifier), group 3 – M-two (VDW).

RESULTS. The analysis of scanning electron microscopy of tooth showed that the largest number of open dentine tubules is determined when treating the root canal with instruments of the group 1 (55.4 ± 1.37) and group 3 (60.25 ± 1.59). The centering ability with a curvature of the root canal of $20-25^\circ$ had no significant

differences between the tools used. With a curvature of the root canal of 40–45°, the value of this parameter decreased significantly in all groups of instruments, it was greatest in the groups 1 and 3.

CONCLUSION. It was revealed that the best quality of mechanical treatment of the root canal was obtained using RM-files and Mtwo in samples with a channel curvature of up to 25°.

Keywords: Ni-Ti files, computer microtomography, scanning electron microscopy, mechanical processing

Article info: received – 01.07.2024; revised – 10.08.2024; accepted – 13.08.2024

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests.

Acknowledgments: There are no funding and individual acknowledgments to declare.

For citation: Antonova O.A., Voinova V.A., Mitronin Yu.A. Comparative analysis of the effectiveness of mechanical treatment of root canals by various Ni-Ti file systems. *Endodontics Today*. 2024;22(3):206–211. (In Russ.) <https://doi.org/10.36377/ET-0032>

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими факторами, обуславливающими успех в эндодонтии, являются формирование, ирригация и obturation корневого канала. Данные этапы тесно взаимосвязаны, поэтому грамотное выполнение каждого из них непосредственно влияет на прогноз лечения. Так, механическая обработка не только способствует элиминации бактериального фактора, обладающего высокими проникающими способностями, но и создает благоприятные условия для работы ирригационных растворов и плотной obturation системы корневых каналов [1–3]. Однако, наиболее часто врачи-стоматологи сталкиваются с осложнениями именно на этапе инструментальной обработки: начиная от перфораций стенок корневого канала и заканчивая фрактуризацией эндодонтического инструмента. Последние открытия, связанные с изучением анатомии зуба, диктуют новые правила и подходы в прохождении корневых каналов: сложность и неоднородность строения системы эндодонта, наличие изгибов и неправильной формы поперечного сечения требуют от инструмента повышенной гибкости, а возросшая частота появления трещин корня говорит о необходимости бережного отношения не только к перикервикальному дентину [4–6]. Ротационные никель-титановые инструменты произвели революцию в эндодонтии за счет их высокой режущей способности, устойчивости к изгибам и ускорения рабочего процесса [7–9].

В настоящее время стоматологический рынок предлагает широчайший спектр инструментов с различными модификационными особенностями, однако такое разнообразие говорит о том, что ключ к созданию идеальной системы еще не найден [1; 10]. Поэтому по-прежнему актуальным направлением современной стоматологии является анализ эффективности механической обработки корневых каналов различными Ni-Ti файлами. Особенно это касается инструментов отечественного производства, эффективность которых изучена недостаточно, а потребность значительно возросла в связи с наступлением эпохи импортозамещения (рис. 1).

ЦЕЛЬ

Оценить эффективность механической обработки корневого канала и центрирующую способность Ni-Ti эндодонтических инструментов отечественного и зарубежного производства.

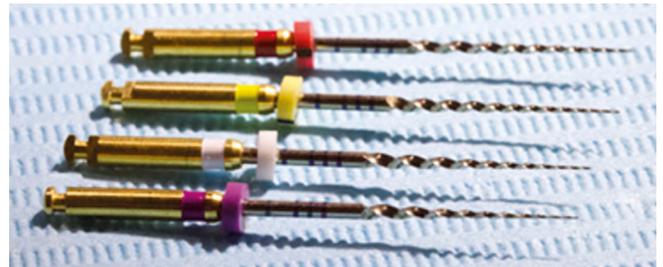


Рис. 1. Ni-Ti инструменты РМ-файлы (РусМед)

Fig. 1. Ni-Ti instruments RM-files (RusMed)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С целью определения востребованности Ni-Ti инструментов в амбулаторной практике врача-стоматолога был проведен опрос врачей-стоматологов на онлайн-платформе YandexForms. Респондентам было необходимо указать частоту использования ротационных файлов и предпочтения в выборе системы. Далее, для экспериментального исследования *in vitro*, было отобрано 72 зуба, удаленных по медицинским показаниям, среди которых 27 резцов, 3 клыка и 42 моляра. Образцы распределили в соответствии с количеством корней (одно- и многокорневые) и кривизны корневого канала (20–25° и 40–45°), после чего были сформированы три группы в зависимости от используемой системой Ni-Ti файлов: группа 1 – РМ-файлы (РусМед), группа 2 – ProTaper Universal (Dentsply Mallifier), группа 3 – M-two (VDW).

Методика подготовки зубов была идентична у всех трех групп. Вслед за созданием доступа осуществлялось формирование ковровой дорожки ручными эндодонтическими инструментами до размера по ISO 20. Далее проводилось препарирование корневого канала согласно методике, указанной в инструкции производителя. Крутящий момент и скорость вращения для эндомотора также устанавливалась индивидуально по рекомендациям фирм. После каждого инструмента проводилась ирригация корневого канала 3% раствором гипохлорита натрия и проверка проходимости ручным файлом 15 по ISO.

По завершении механической обработки из однокорневых зубов в количестве 30 (по 10 зубов в каждой группе) были изготовлены шлифы, которые подвергались сканирующей электронной микроскопии (Mira 3 FEF SEM, Tescan, Czech Republic) для оценки очищающей способности инструментов.

Многокорневые зубы сканировали в аппарате для компьютерной микротомографии (NEOSCAN X-ray Micromograph) до обработки, затем делили на две группы в зависимости от кривизны корневого канала: 20–25° и 40–45° по Шнайдеру (по 14 зубов в каждой группе), что соответствует средне и сильно изогнутым корневым каналам. После обработки также осуществлялось микро-КТ с последующим изучением срезов на уровне устьевой, средней и апикальной трети корневого канала и анализом динамики изменения диаметра (рис. 2).

Критерии качества препарирования были следующие:

1. Количество и диаметр открытых дентинных канальцев на поверхности препарированного корневого канала на единицу площади

2. Центрирующая способность инструмента, определяемая по формуле $(M1 - M2) / (D1 - D2)$ (рис. 3).

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ Statistica 10 при уровне достоверности $p < 0,05$ с анализом по критерию Стьюдента.



Рис. 2. Подготовительный этап компьютерной микротомографии: помещение образцов в NEOSCAN X-ray Micromograph

Fig. 2. Computer microtomography (preparatory stage): Sample placement in NEOSCAN X-ray Micromograph

РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным опроса 108 практикующих врачей-стоматологов было выявлено, что 73% респондентов используют машинные эндодонтические файлы, среди них 85% - ротационные системы. Большая часть респондентов (83%) предпочитает инструменты зарубежного производителя. На вопрос «почему?» были получены следующие ответы: не знали о существовании отечественных инструментов, были сомнения в качестве таковых и не нуждались в смене системы. Также установлены наиболее часто используемые системы: ProTaper Universal (29%) и Mtwo (23%). Врачи-стоматологи с PM-файлами знакомы не были.

Сканирующая электронная микроскопия шлифов однокорневых зубов из группы 1 позволила выявить большое количество открытых дентинных канальцев ($55,4 \pm 1,37$) с минимальным количеством дентинных опилок на стенке корневого канала. В группе 2 значение данного параметра было наименьшим: наблюдалась неоднородность поверхности, просвет канальцев был заполнен остатками дебриса. При анализе шлифов группы 3 образцов количество дентинных канальцев составило $60,25 \pm 1,59$, просвет канальцев четкий. На рис. 4 наглядно представлена поверхность корневого канала после механической обработки корневого канала с измерением диаметра дентинных канальцев.

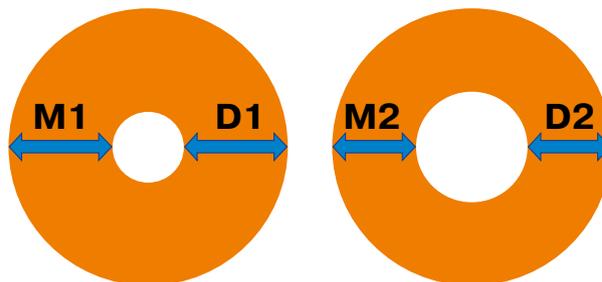


Рис. 3. Схема определения центрирующей способности

Fig. 3. Scheme of determining of centering ability

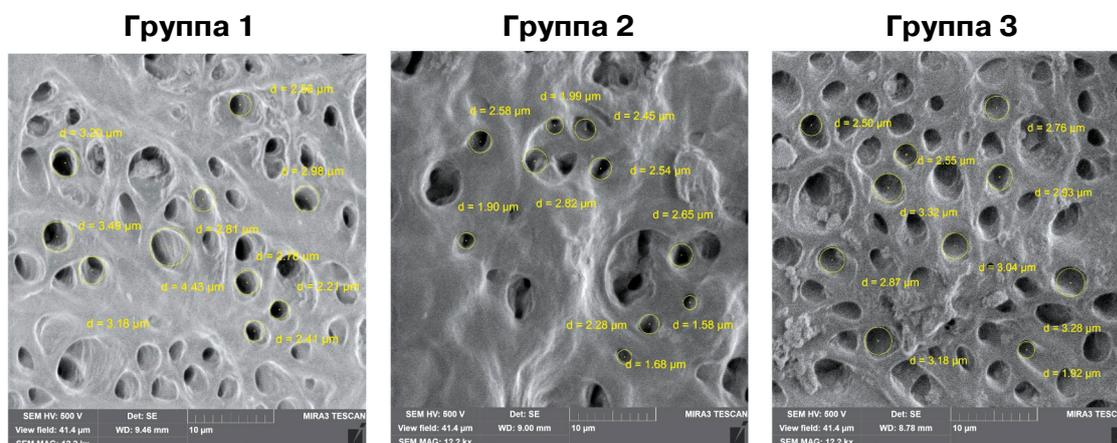


Рис. 4. Электронная микроскопия: поверхность корневого канала после механической обработки различными системами инструментов (цифрами указаны значения диаметра дентинных канальцев)

Fig. 4. Electron microscopy: The surface of the root canal after mechanical treatment by various Ni-Ti systems (the figures indicate the diameter of the dentine tubules)

Послойное исследование 42 корневых каналов многокорневых зубов позволило отметить особенности строения, влияющие на значения центрирующей способности инструмента. Во-первых, форма поперечного сечения изменяется от устья к диаметру: в верхней трети чаще встречался овальный контур, в то время как при продвижении к нижней трети просвет корневого канала имел круглую форму [4]. Во-вторых, изгиб корневого канала чаще всего располагался на уровне устьевого и средней трети корневого канала.

Центрирующую способность определяли путем наложения исходных и контрольных проекций при помощи программы DataViewer, где изменения, полученные после механической обработки, высвечивались белым цветом. Это позволило проводить измерения строго на одном уровне и снизить вероятность ошибки в расчетах. Специфика препарирования на различных уровнях корневого канала при использовании различных систем отражена на рис. 5. Наибольшая центрирующая способность у всех групп инструментов наблюдается в апикальной трети корневого канала, в области средней и устьевого третей она значительно снижается.

Анализ центрирующей способности инструментов в группе с кривизной корневого канала 20–25° наибольшее значение на всех уровнях было зафиксировано при использовании систем 1 и 3, что соответствует $0,45 \pm 0,07$, $0,56 \pm 0,027$, $0,63 \pm 0,011$ и $0,48 \pm 0,08$, $0,54 \pm 0,07$, $0,68 \pm 0,012$ соответственно на уровнях устьевого, средней и апикальной третей. Группа 2 отличалась несколько меньшими значениями данного параметра на уровне средней и апикальной третей: $0,46 \pm 0,03$, $0,52 \pm 0,05$ и $0,58 \pm 0,009$.

С повышением кривизны корневого канала до 40–45° центрирующая способность всех трех групп инструментов снижалась на всех уровнях корневого канала. Это связано с тем, что изгиб зачастую расположен ближе к устьевой части. Центрирующая способность у инструментов групп 1 и 3 оказалась выше, по сравнению с группой 2, однако между собой они не имели статистически значимых различий. Были получены следующие данные: $0,36 \pm 0,01$, $0,47 \pm 0,011$, $0,52 \pm 0,027$ и $0,38 \pm 0,073$, $0,43 \pm 0,02$, $0,55 \pm 0,014$ в зонах от устьевого до апикальной третей. В группе 2 зафиксированы значения: $0,35 \pm 0,087$, $0,38 \pm 0,03$ и $0,41 \pm 0,02$. Более подробно результаты сравнения центрирующей способности инструментов представлены в табл. 1 и 2.

ОБСУЖДЕНИЕ

Посредством сканирующей электронной микроскопии было выявлено, что наилучшее качество поверхности после механической обработки корневого канала получено при использовании РМ-файлов и Mtwo. Данные инструменты имеют достаточную режущую способность для очищения корневого канала и эвакуации детрита. При использовании файлов ProTaper Universal не удалось достичь качественной обработки: у образцов данной группы поверхность конового канала наиболее неоднородная.

Локализация изгиба и форма поперечного сечения корневого канала обуславливали различия центрирующей способности инструментов. Наибольшее

значение данного параметра было получено при использовании РМ-файлов и Mtwo в группах корневых каналов с кривизной 20–25°. При кривизне канала 40–45° у РМ-файлов и Mtwo значения центрирующей способности также не имели весомых отличий, однако она была больше по сравнению с другой группой.

ВЫВОДЫ

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными представленными инструментами будут для клинических случаев, где корневые каналы имеют округлое сечение и изгиб до 25°. Также следует отметить, что инструменты отечественного производства не уступают зарубежным представителям и могут быть рекомендованы к использованию.

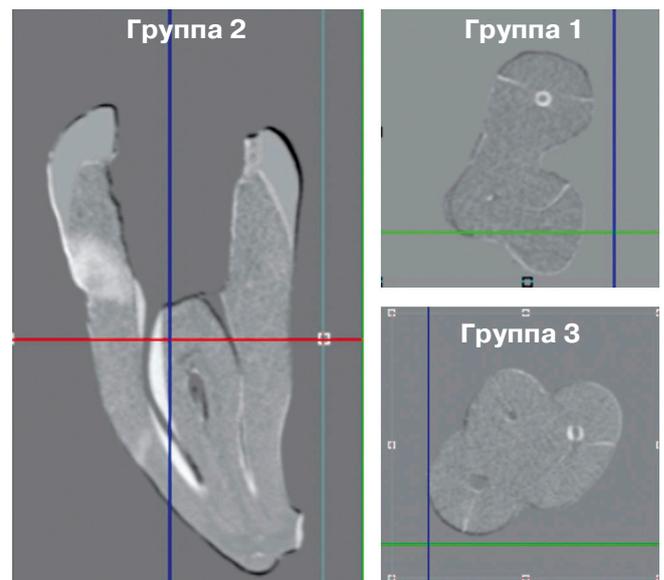


Рис. 5. Микро-КТ: динамика изменения корневого канала после механической обработки

Fig. 5. Micro-CT: Dynamics of changes in the root canal after mechanical treatment

Таблица 1. Значения центрирующей способности при кривизне канала 20–25°

Table 1. The values of centering ability with curvature of a root canal 20–25°

Зона изменения	Используемые инструменты		
	РМ-файлы	ProTaper	Mtwo
Устьева треть	$0,45 \pm 0,07$	$0,46 \pm 0,03$	$0,48 \pm 0,08$
Средняя треть	$0,56 \pm 0,027$	$0,52 \pm 0,05$	$0,54 \pm 0,07$
Апикальная треть	$0,63 \pm 0,011$	$0,58 \pm 0,009$	$0,68 \pm 0,012$

Таблица 2. Значения центрирующей при кривизне канала 40–45°

Table 2. The values of centering ability with curvature of a root canal 40–45°

Зона изменения	Используемые инструменты		
	РМ-файлы	ProTaper	Mtwo
Устьева треть	$0,36 \pm 0,01$	$0,35 \pm 0,087$	$0,38 \pm 0,073$
Средняя треть	$0,47 \pm 0,011$	$0,38 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,02$
Апикальная треть	$0,52 \pm 0,027$	$0,41 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,014$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Орехова Л.Ю., Вашнева В.Ю., Порхун Т.В., Зайцева Ю.А. Сравнительная эффективность механической обработки корневых каналов современными ni-ti инструментами. *Эндодонтия Today*. 2020;18(2):10–15. <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2020-18-2-10-15>
Orekhova L.Yu., Vashneva V.Yu., Porkhun T.V., Zaitseva Yu.A. Comparative effectiveness of root canal machining with modern ni-ti tools. *Endodontics Today*. 2020;18(2):10–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2020-18-2-10-15>
- Беляева Т.С., Заблоцкая Н.В., Митронина Н.В., Байтокова А.А., Алимухамедова С.Ш. Устойчивость к циклической нагрузке различных систем реципрокных эндодонтических инструментов (лабораторное исследование). *Cathedra-Кафедра. Стоматологическое образование*. 2023;(85):44–49.
Belyaeva T.S., Zablotskaya N.V., Mitronina N.V., Baitokova A.A., Alimukhamedova S.Sh. Cycling fatigue resistance of various reciprocating endodontic instrument systems (laboratory study). *Cathedra. Dental Education*. 2023;(85):44–49. (In Russ.)
- Рединова Т.Л., Пудова Е.И., Шарифуллина И.Х., Есюнина А.А., Загребин И.В. Частота встречаемости различных вариантов строения корневых каналов и методы механической их обработки в практике врача-стоматолога-терапевта. *Эндодонтия Today*. 2022;20(3):215–221. <https://doi.org/10.36377/1726-7242-2022-20-3-215-221>
Redinova T.L., Pudova E.I., Sharifullina I.C., Yesyunina A.A., Zagrebin I.V. The frequency of occurrence of various variants of the structure of root canals and methods of their mechanical treatment in the practice of a dentist-therapist. *Endodontics Today*. 2022;20(3):215–221. (In Russ.) <https://doi.org/10.36377/1726-7242-2022-20-3-215-221>
- Пяткова И.В., Орехова Л.Ю., Порхун Т.В., Силин А.В. Определение показаний к выбору метода препарирования системы корневых каналов полновращательными и реципрокными инструментами. *Эндодонтия Today*. 2020;18(1):21–26. <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2020-18-1-21-26>
Pyatkova I.V., Orekhova L.Yu., Porkhun T.V., Silin A.V. Determination of indications for the choice of the preparation method of the root canal system with rotation and reciprocation instruments. *Endodontics Today*. 2020;18(1):21–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2020-18-1-21-26>
- Митронин А.В., Ведмицкая В.В., Хромова Л.А. Оценка состояния апикальной части корней зубов после их препарирования различными ротационными эндодонтическими системами. *Эндодонтия Today*. 2019;17(3):3–7. <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2019-17-3-3-7>
Mitronin A.V., Vedmitskaya V.V., Khromova L.A. Assessment of the apical part of the roots after their instrumentation by different endodontic systems. *Endodontics Today*. 2019;17(3):3–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2019-17-3-3-7>
- Митронин А.В., Собкина Н.А., Помещикова Н.И., Дмитриева Л.А. Использование компьютерной микрофотографии для оценки качества эндодонтической обработки зуба при использовании современных инструментов. *Эндодонтия Today*. 2018;16(1):22–26. Режим доступа: <https://www.endodont.ru/jour/article/view/173> (дата обращения: 23.06.2024).
Mitronin A.V., Sobkina N.A., Pomeshchikova N.I., Dmitrieva L.A. Use of computer microtomography to assess the quality of endodontic tooth treatment using modern instruments. *Endodontics Today*. 2018;16(1):22–26. (In Russ.) Available at: <https://www.endodont.ru/jour/article/view/173> (accessed: 23.06.2024).
- Девятникова В.Г. Экспериментальное исследование качества механической обработки корневых каналов зубов реципрокными и циклическими эндодонтическими системами. *Современная стоматология*. 2020;(2):68–72.
Devyatnikova V.G. An experimental study of the quality of machining of root canals with reciprocal and cyclic endodontic systems. *Sovremennaya Stomatologiya*. 2020;(2):68–72. (In Russ.)
- Джулианджели Д.Ф., Романоли К., Кортес Д.Г.Н., Интерличе Р. Закрытие перфорации корня с помощью МТА Repair HP (клинический случай). *Cathedra-Кафедра. Стоматологическое образование*. 2022;(82):6–8.
Giuliangeli D.F., Romagnoli K., Cortes D.G.N., Interliche R. Root perforation sealing using MTA Repair (case report). *Cathedra. Dental Education*. 2022;(82):6–8. (In Russ.)
- Останина Д.А., Митронин Ю.А., Анисимова Д.В., Митронин А.В. Оптимизация сложного эндодонтического лечения никель-титановыми файлами мартенситной и аустенитной модификации. *Эндодонтия Today*. 2024;22(1):4–10. <https://doi.org/10.36377/ET-0004>
Ostanina D.A., Mitronin Yu.A., Anisimova D.V., Mitronin A.V. Optimization of difficult endodontic treatment with nickel-titanium files in martensitic and austenitic phase. *Endodontics Today*. 2024;22(1):4–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.36377/ET-0004>
- Домбровская Ю.А., Падерина Т.О., Бенкен К.А., Лубская Е.Ю., Силин А.В. Сравнительная морфометрическая характеристика рабочей поверхности эндодонтических ротационных никель-титановых инструментов после максимальной циклической нагрузки. *Эндодонтия Today*. 2022;20(1):12–19. <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2022-20-1-12-19>
Dombrovskaya Yu.A., Paderina T.O., Benken K.A., Lubskaya E.Yu., Silin A.V. Comparative morphometric characteristics of the working surface of endodontic rotary nickel-titanium instruments after maximum cyclic loading. *Endodontics Today*. 2022;20(1):12–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2022-20-1-12-19>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Антонова Олеся Александровна – ассистент кафедры терапевтической стоматологии и эндодонтии, ФГБОУ ВО «Российский университет медицины»; 127006, Российская Федерация, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4; <https://orcid.org/0000-0003-4732-0493>

Воинова Виктория Алексеевна – студент стоматологического факультета, ФГБОУ ВО «Российский университет медицины»; 127006, Российская Федерация, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4; <https://orcid.org/0009-0001-0670-0871>

Митронин Юрий Александрович – аспирант кафедры терапевтической стоматологии и эндодонтии, ассистент кафедры пропедевтики терапевтической стоматологии, ФГБОУ ВО «Российский университет медицины»; 127006, Российская Федерация, г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 4; <https://orcid.org/0000-0002-3118-2869>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olesya A. Antonova – Assistant of the Department of Therapeutic Dentistry and Endodontics, Russian University of Medicine; 4, Dolgorukovskaya St., Moscow 127006, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-4732-0493>

Viktoriia A. Voinova – Student of the Department of the Faculty of Dentistry, Russian University of Medicine; 4, Dolgorukovskaya St., Moscow 127006, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0001-0670-0871>

Yuriy A. Mitronin – Postgraduate Student of the Department of Therapeutic Dentistry and Endodontics; assistant of the Department of Propaedeutics of Therapeutic Dentistry, Russian University of Medicine; 4, Dolgorukovskaya St., Moscow 127006, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3118-2869>

ВКЛАД АВТОРОВ

О.А. Антонова – существенный вклад в замысел и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, подготовка статьи, критический пересмотр статьи в части значимого интеллектуального содержания, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

В.А. Воинова – проведение исследований, сбор и анализ данных, подготовка статьи.

Ю.А. Митронин – сбор данных, анализ и интерпретация данных, подготовка статьи.

AUTHOR'S CONTRIBUTION

Olesya A. Antonova – has made a substantial contribution to the concept or design of the article; the acquisition, analysis or interpretation of data for the article; drafted the article; revised the article critically for important intellectual content; approved the version to be published.

Viktoriia A. Voinova – the acquisition, analysis of data for the article; drafted the article.

Yuriy A. Mitronin – the acquisition, analysis, or interpretation of data for the article; drafted the article.