

© Team of authors, 2025 / © Коллектив авторов, 2025
3.1.7. Dentistry / 3.1.7. Стоматология

Microhardness of root dentin depending on root canal treatment technique

Yu.A. Taptun, M.K. Makeeva, Z.S. Khabadze, S.V. Martynova,
Yu.S. Kozlova, M.J. Grigoryan, I.A. Voronov

Patrice Lumumba Russian University (RUDN University), Moscow, Russia
E.V. Borovsky Institute of Dentistry, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)
Medical and Biological University of Innovation and Continuous Education FMBC named after A.I. Burnazyan FMBA
Contacts: Yulia Aleksandrovna Taptun – e-mail: taptun_yua@pfur.ru

Микротвердость корневого дентина в зависимости от методов внутриканальной обработки корневого канала

Ю.А. Таптун, М.К. Макеева, З.С. Хабадзе, С.В. Мартынова,
Ю.С. Козлова, М.Ж. Григорян, И.А. Воронов

Российский университет им. Патриса Лумумбы (РУДН), Москва, Россия
Институт Стоматологии им. Е.В. Боровского, Первый МГМУ имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Москва, Россия
МБУ ИНО ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России Москва, Россия
Контакты: Таптун Юлия Александровна – e-mail: taptun_yua@pfur.ru

根管治疗技术对牙本质微硬度的影响

Yu.A. Taptun, M.K. Makeeva, Z.S. Khabadze, S.V. Martynova,
Yu.S. Kozlova, M.J. Grigoryan, I.A. Voronov

俄罗斯人民友谊大学 (RUDN University), 莫斯科, 俄罗斯
E.V. Borovsky Institute of Dentistry, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)
Medical and Biological University of Innovation and Continuous Education FMBC named after A.I. Burnazyan FMBA
联系方式: Yulia Aleksandrovna Taptun – 邮箱: taptun_yua@pfur.ru

Purpose. To analyze literature on the influence of mechanical and chemical root canal treatment and methods of activating irrigation solutions on the microhardness of root dentin.

Material and methods. Literature search was conducted in PubMed, E-library, CyberLeninka, Google Scholar, and Wiley Online Library databases on September 3, 2023, and March 2, 2025, using keywords. Articles in English and Russian were selected for analysis. Inclusion criteria: original articles in periodicals, in vitro and in situ studies, studies on extracted human teeth, studies assessing the microhardness of dentin. The search in the PubMed database yielded 83 publications, 109 were found in the e-library scientific electronic library, 12 in the CyberLeninka database, 141 in Google Scholar, and 217 in the Wiley online library. After excluding duplicates and evaluating the inclusion/exclusion criteria, 17 articles remained.

Results. A review of the literature on the effects of mechanical processing showed that rotary tools remove more dentin than hand tools; reciprocating tools remove more dentin than tools with continuous rotation; TruNatomy files are the safest among rotary tools in terms of dentin microhardness. The use of sodium hypochlorite at a concentration of 2.5% or greater leads to an irreversible decrease in the microhardness of dentin, regardless of the use of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), although 5% EDTA showed the smallest decrease in the microhardness of dentin. A significant decrease in microhardness was observed in the root canals that underwent ultrasonic activation.

Conclusion. Based on the analyzed literature, we found that all rotary tools, as well as the use of sodium hypochlorite 2.5% or greater and EDTA 17%, lead to a decrease in the microhardness of dentin. The influence of irrigation solution activation techniques on root dentin microhardness has not been sufficiently studied and requires further investigation.

Key words: microhardness of root dentin, hardness of root dentin, strength of root dentin, mechanical treatment of root canal, chemical treatment of root canal, amount of mineral components of dentin, irrigation, ultrasonic activation, sound activation, endoactivator

Conflicts of interest. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. The study received no funding.

For citation: Taptun Yu.A., Makeeva M.K., Khabadze Z.S., Martynova S.V., Kozlova Yu.S., Grigoryan M.J., Voronov I.A. Microhardness of root dentin depending on root canal treatment technique. Head and neck. Russian Journal. 2025;13(3):171–177

Doi: 10.25792/HN.2025.13.3.171-177

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

Цель исследования: проанализировать источники литературы, посвященные влиянию механической, медикаментозной обработки корневого канала, методов активации ирригационных растворов на микротвердость корневого дентина.

Материал и методы. Поиск литературных источников проводили в базах данных PubMed, e-library, КиберЛенинка, Google Scholar, Wiley online library 3 сентября 2023 г. и 2 марта 2025 г. по ключевым словам. Для анализа отбирались статьи на английском и русском языках. Критерии включения: оригинальные статьи в периодических журналах, *in vitro* и *in situ* исследования, исследования на удаленных зубах человека, исследования, по оценке микротвердости дентина. В результате поиска в базе PubMed было найдено 83 источника, в научной электронной библиотеке e-library – 109, в базе КиберЛенинка – 12, в Google Scholar – 141, а в Wiley online library – 217. После исключения дублирования и оценки на предмет критериев включения/невключения осталось 17 литературных источников.

Результаты. Анализ литературы по влиянию механической обработки показал, что роторные инструменты удаляют больше дентина, чем ручные инструменты, инструменты с возвратно-поступательным движением удаляют больше дентина, чем инструменты с непрерывным вращением, самые безопасные среди роторных инструментов по отношению к микротвердости дентина – TruNatomy файлы. Использование гипохлорита натрия от 2,5% концентрации ведет к необратимому снижению микротвердости дентина, вне зависимости от использования этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), хотя 5% ЭДТА показал наименьшее снижение микротвердости дентина. В корневых каналах, подвергшихся ультразвуковой активации, наблюдалось значительное снижение микротвердости.

Заключение. На основании проанализированной литературы было выявлено, что все роторные инструменты, а также использование гипохлорита натрия от 2,5%, и ЭДТА 17%, приводят к снижению микротвердости дентина. Тема влияния методов активации ирригационных растворов на микротвердость корневого дентина недостаточно освещена в исследованиях и нуждается в дальнейшем изучении.

Ключевые слова: микротвердость корневого дентина, твердость корневого дентина, прочность корневого дентина, механическая обработка корневого канала, медикаментозная обработка корневого канала, количество минеральных компонентов дентина, ирригация, ультразвуковая активация, звуковая активация, эндоактиватор

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Тапун Ю.А., Макеева М.К., Хабадзе З.С., Мартынова С.В., Козлова Ю.С., Григорян М.Ж., Воронов И.А. Микротвердость корневого дентина в зависимости от методов внутриканальной обработки корневого канала. *Head and neck. Голова и шея. Российский журнал.* 2025;13(3):171–177

Doi: 10.25792/HN.2025.13.3.171-177

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов.

目的: 分析机械与化学根管治疗以及冲洗液活化方法对根部牙本质微硬度影响的文献。

材料与方法: 分别于2023年9月3日和2025年3月2日在 PubMed、E-library、CyberLeninka、Google Scholar 与 Wiley Online Library 数据库使用关键词进行文献检索。选择英文与俄文文章纳入分析。纳入标准: 期刊发表的原创论文、体外与原位研究、基于拔除的人牙的研究、评估牙本质微硬度的研究。PubMed 检索得到83篇, E-library 科学电子图书馆109篇, CyberLeninka 12篇, Google Scholar 141篇, Wiley 在线图书馆217篇。剔除重复并依据纳入/排除标准评估后, 剩余17篇。

结果: 关于机械处理影响的文献回顾显示: 旋转器械去除的牙本质质量多于手用器械; 往复运动器械去除的牙本质质量多于连续旋转器械; 在旋转器械中, TruNatomy 锉在牙本质微硬度方面最为安全。使用浓度为2.5%或更高的次氯酸钠会导致牙本质微硬度不可逆下降, 这与是否使用乙二胺四乙酸 (EDTA) 无关, 尽管5% EDTA 显示出对牙本质微硬度的降幅最小。在接受超声活化的根管中观察到微硬度显著降低。

结论: 基于所分析的文献, 我们发现所有旋转器械, 以及使用2.5%及以上的次氯酸钠和17% EDTA, 均会导致牙本质微硬度下降。关于冲洗液活化技术对根部牙本质微硬度的影响研究仍不充分, 需进一步探讨。

关键词: 根部牙本质微硬度, 根部牙本质硬度, 根部牙本质强度, 根管机械处理, 根管化学处理, 牙本质矿物成分含量, 冲洗, 超声活化, 声波活化, EndoActivator

利益冲突声明: 作者声明不存在利益冲突。

资助声明: 本研究由作者团队资助。

引用格式: Taptun Yu.A., Makeeva M.K., Khabadze Z.S., Martynova S.V., Kozlova Yu.S., Grigoryan M.J., Voronov I.A. Microhardness of root dentin depending on root canal treatment technique. *Head and neck. Russian Journal.* 2025;13(3):171–177

Doi: 10.25792/HN.2025.13.3.171-177

作者声明: 作者对所提供数据的原创性及插图 (表格、图片、患者照片) 的发表合法性负责。

Введение

В процессе эндодонтического лечения дентин корня зуба подвергается механическому воздействию инструментов, химическому действию ирригационных растворов и физическим факторам активации ирригантов при помощи звуковых и ультразвуковых систем [1]. Сохранение прочностных характеристик корневого дентина, в частности микротвердости корневого дентина, является одной из основных задач врача-стоматолога для предотвращения осложнений: трещин, а также для успешных отдаленных результатов проведенного эндодонтического лечения.

Постэндодонтические переломы зубов могут возникать из-за потери структуры зуба, вызванных эндодонтическими и восстановительными процедурами, такими как подготовка полости доступа, и ирригация корневого канала [2].

Качественное эндодонтическое лечение невозможно без применения современных средств, однако негативной стороной их применения является снижение микротвердости корневого дентина. Таким образом перед клиницистом стоит задача проведения качественного лечения с минимально возможным негативным влиянием на прочность зуба [3]. Для соблюдения этого баланса необходимо грамотное применение инструментов, средств ирригации и материалов, при этом особое внимание следует уделять их комбинации между собой при обработке зуба.

Целью работы обзора литературы было выявление влияния механической обработки корневого канала, ирригационных растворов и методов активации ирригантов на микротвердость корневого дентина, особое внимание уделяли влиянию их сочетаний, что было необходимо для выполнения одной из задач научной работы, а именно выбору комбинаций методов и средств обработки образцов зубов для экспериментального исследования параметров микротвердости и упругопластической деформации.

Материал и методы

Обзор литературы является частью научной работы, одобренной Комитетом по этике Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы протоколом №7 от 21 апреля 2022 г.

Поиск литературных источников проводили по базам данных e-library, cyberleninka, PubMed, GoogleScholar, Wiley online library 3 сентября 2023 г. и 2 марта 2025 г. с использованием следующих запросов: для англоязычных источников – (microhardness of root dentin), OR (hardness of root dentin), OR (strength of root dentin), OR (mechanical treatment of root canal), OR (medicinal treatment of root canal), OR (amount of mineral components of dentin), OR (irrigation), OR (ultrasonic activation), OR (sound activation), OR (endoactivator), для русскоязычных источников – (микротвердость корневого дентина), (твердость корневого дентина), (прочность корневого дентина), (механическая обработка корневого канала), (медикаментозная обработка корневого канала), (количество минеральных компонентов дентина), (ирригация), (ультразвуковая активация), (звуковая активация), (эндоактиватор). Ключевые слова поиска были выбраны с применением словаря ключевых слов MeSH. Поиск указанных словосочетаний проводился в названиях, резюме, а также среди ключевых слов публикаций. Для анализа отбирались статьи на английском и русском языках.

После исключения дублирований оставшиеся публикации проанализированы на предмет соответствия критериям включения/не включения. Критерии включения: оригинальные статьи в периодических журналах, *in vitro* и *in situ* исследования, исследования на удаленных зубах человека, исследования, в которых проводили оценку микротвердости дентина после механической и медикаментозной обработки, а также после активации звуковыми и ультразвуковыми методами. Критерии невключения: тезисы и статьи в сборниках конференций, книги, учебная литература, исследования с применением зубов животных, реставрированных зубов, исследования, в которых оценку микротвердости проводили только для коронкового дентина, исследования микротвердости интактного дентина, исследования по дезинфекции корневого канала лазером, а также публикации, для которых информация резюме не была достаточной для оценки соответствия критериям включения, а полный текст отсутствовал в базе/на сайте журнала. Поиск и отбор публикаций проводился с учетом рекомендаций PRISMA (выборочно).

Результаты

По результатам поиска с указанием ключевых слов в базе PubMed было найдено 83 источника, в научной электронной библиотеке e-library – 109, в базе КиберЛенинка – 12, в GoogleScholar – 141, а в Wiley online library – 217. После исключения дублирования и оценки на предмет критериев включения/невключения осталось 17 литературных источников, представленных в таблицах.

Механическая обработка корневого канала и ее влияние на микротвердость корневого дентина представлена в табл. 1.

Медикаментозная ирригация – один из важнейших этапов лечения эндодонта. Известны следующие цели ирригации корневого канала: качественное удаление бактерий в корневом канале на всем протяжении, в т.ч. в области разветвлений (латеральные анастомозы, дельты), удаление биопленки, удаление смазанного слоя, детрита, продуктов распада. Наиболее часто используемые ирригационные растворы в эндодонтической практике – это гипохлорит натрия (Sodium hypochlorite 3–5%), хлоргексидина биглюконат (Solution Chlorhexidini bigluconatis 2%) и этилендиаминтетрауксусная кислота 17% (ЭДТА 17%).

В данной статье был проведен анализ влияния ирригантов на микротвердость корневого дентина (табл. 2).

На структурные элементы корневого дентина и показатели микротвердости корневого дентина могут влиять также методы активации ирригационных растворов. В настоящее время наиболее часто применяется звуковой (колебательный) метод и ультразвуковой метод активации растворов. Звуковой метод активации применяется при помощи аппарата Endoactivator (Dentsply Sirona; США), а ультразвуковая ирригация осуществляется с применением ультразвуковых пассивных насадок, например IrriSafe (Satelec; Франция). Влияние методов активации ирригационных растворов представлено в табл. 3.

Обсуждение

Для проведения качественного эндодонтического лечения применяются различные виды инструментов. По результатам опроса установлены наиболее часто используемые системы: ProTaper Universal, ProTaper Gold и Mtwo [21]. Примечательно то, что все роторные инструменты снижают микротвердость корневого дентина в результате того, что создают микротрещи-

Таблица 1: Публикации, включенные в анализ литературы согласно критериям отбора по влиянию механической обработки корневых каналов на микротвердость корневого дентина
 Table 1: Publications included in the literature analysis according to the selection criteria for the effect of mechanical treatment of root canals on the microhardness of root dentin

| Год Year | Число публикаций Number of publications | Авторы Authors | Заключение Conclusion |
|-------------|--|--|---|
| 2009 | 2 | C.A. Bier и соавт. [4] C.A. Bier et al. [4] S.Y. Ahn и соавт. [5] S.Y. Ahn et al. [5] | Дефекты поверхности дентина не были обнаружены в необработанных каналах, а также в корнях, подготовленных ручными файлами и S-ApeX. При подготовке ProTaper, ProFile и GT Rotary файлом дефекты дентина были обнаружены в 16%, 8 и 4% зубов No dentin surface defects were found in untreated canals or in roots treated with manual files and S-ApeX. ProTaper, ProFile, and GT Rotary file treatment resulted in dentin defects in 16%, 8%, and 4% of teeth, respectively. Инструменты с возвратно-поступательным движением, как правило, удаляли больше дентина, чем инструменты с непрерывным вращением. При обработке инструментами с возвратно-поступательным движением поверхность дентина имеет больше дефектов, чем после инструментов с непрерывным вращением Reciprocating instruments generally removed more dentin than continuous rotation instruments. When treated with reciprocating instruments, the dentin surface has more defects than after treatment with continuous rotation instruments. |
| 2010 | 1 | H.C. Kim и соавт. [6] H.C. Kim et al. [6] | Вращающиеся инструменты с повышенной конусностью оказывают повышенную нагрузку на стенки корневого канала Rotary instruments with increased taper exert increased stress on the root canal walls. |
| 2014 | 1 | V. Ashwinkumar и соавт. [7] V. Ashwinkumar et al. [7] | После обработки вращающимися инструментами ProTaper поверхность дентина имела значительно большее число дефектов по сравнению с ручными инструментами ProTaper и инструментами WaveOne. Ручные K-файлы Ni-Ti не вызвали поверхностных дефектов ни на одном из уровней корневого канала After treatment with ProTaper rotary instruments, the dentin surface had significantly more defects compared with manual ProTaper tools and WaveOne instruments. Manual Ni-Ti K-files did not cause surface defects at any root canal level. |
| 2015 | 2 | X.G. Li, Q. Wang [8] S. Tavanafar и соавт. [9] S. Tavanafar et al. [9] | В лабораторных условиях эксперименты показали, что влияние на устойчивость корня к перелому не имеет статистической разницы при использовании ротационных инструментов из никель-титана и ручных инструментов из нержавеющей стали Все три метода обработки (H-файл (n=30), ротационного файла BioRaCe (n=30) и однофайловой возвратно-поступательной системы WaveOne (n=30) привели к ослаблению структуры корней и сделали их восприимчивыми к перелому при меньшей нагрузке, чем неподготовленные корни. Сопротивление разрушению корней, подготовленных с помощью системы WaveOne, было аналогично сопротивлению корням, подготовленным с помощью ручных и ротационных инструментов NiTi Laboratory experiments have shown that there is no statistically significant difference in root fracture resistance when using nickel-titanium rotary instruments and stainless steel manual tools. All three treatment methods (H-file (n=30), BioRaCe rotary file (n=30), and WaveOne single-file reciprocating system (n=30)) weakened the root structure and made it susceptible to fracture under less stress than untreated roots. The resistance to fracture of roots treated with the WaveOne system was similar to that of roots treated with manual and rotary NiTi instruments. |
| 2016 | 1 | I.M. Makeeva и соавт. [10] I.M. Makeeva et al. [10] | С расширением корневых каналов до 1/2 диаметра корня образование вертикальной трещины происходит при достоверно меньшей нагрузке по сравнению с зубами, корневые каналы которых расширены до 1/3 диаметра With root canal dilation to 1/2 of the root diameter, vertical cracks form under significantly lower loads compared with teeth where root canals are dilated to 1/3 of the diameter |
| 2022 | 1 | S. Nassar и соавт. [11] S. Nassar et al. [11] | Зубы, обработанные ручными файлами NiTi, обладают наибольшей устойчивостью к разрушению по сравнению со всеми машинными системами. Наиболее устойчивыми к разрушению оказались корни, обработанные файлами TruNatomy, по сравнению с файлами ProTaper Next, ProTaper Gold и WaveOne Teeth treated with NiTi manual files are the most resistant to fracture compared to all machine systems. Roots treated with TruNatomy files were found to be the most resistant to fracture compared with ProTaper Next, ProTaper Gold, and WaveOne files |

ны и борозды в дентинном слое, а также удаляют дентин корня зуба. В ранних исследованиях замечено, что наравне с ручными инструментами S-ApeX файлы (вращающиеся NiTi инструменты с обратной конусностью) не повреждали корневую дентин в процессе обработки, а инструменты с возвратно-поступательным движением, как правило, удаляли больше дентина, чем инструменты с непрерывным вращением. Также немаловажно, что роторные инструменты с повышенной конусностью провоцируют повышенную нагрузку на стенки корневого канала, что в свою очередь увеличивает риск осложнений в процессе лечения. Среди ротационных и возвратно-поступательных инструментов наиболее устойчивыми к разрушению оказались корни,

обработанные файлами TRN (TruNatomy), а с расширением корневых каналов до 1/2 диаметра корня образование вертикальной трещины наиболее прогнозируемо, чем расширение до 1/3 диаметра.

Что касается ирригационных растворов, гипохлорит натрия и ЭДТА комплексно снижают микротвердость корневого дентина. Существует прямая зависимость концентрации ирригационного раствора и показателей микротвердости корневого дентина: чем выше концентрация ирриганта, тем выше риск снижения прочностных характеристик корня зуба, а также прямая зависимость от времени воздействия раствора на корневую дентин.

Таблица 2: Публикации, включенные в анализ литературы согласно критериям отбора по влиянию ирригантов на микротвердость корневого дентина
Table 2: Publications included in the literature analysis according to the selection criteria for the effect of irrigants on root dentin microhardness

| Год Year | Число публикаций Number of publications | Авторы Authors | Заключение Conclusion |
|-------------|--|--|---|
| 2007 | 1 | Т.С. Sayin и соавт. [12] T.C. Sayin et al. [12] | Использование только ЭДТА или ЭДТА в сочетании с NaOCl (гипохлорит натрия) привело к максимальному снижению микротвердости дентина The use of EDTA alone or EDTA in combination with NaOCl (sodium hypochlorite) resulted in the maximum reduction in dentin microhardness |
| 2010 | 1 | К. Zhang и соавт. [13] K. Zhang et al. [13] | Поверхностное разрушающее действие NaOCl на минерализованный дентин необратимо и присутствует независимо от того, используется ли впоследствии ЭДТА в качестве последнего активного ирриганта. ЭДТА удаляет апатитовую фазу, обедненную коллагеном, которая морфологически воспринимается как эрозия стенки канала The superficial destructive effect of NaOCl on mineralized dentin is irreversible and occurs regardless of whether EDTA is subsequently used as the final active irrigant. EDTA removes the collagen-depleted apatite phase, which is morphologically perceived as canal wall erosion |
| 2012 | 1 | Е. Uzunoglu и соавт. [14] E. Uzunoglu et al. [14] | Было обнаружено, что на устойчивость к разрушению корней, подвергшихся эндодонтическому лечению, по-разному влияют различные концентрации ЭДТА при разном времени воздействия. Наибольшая средняя устойчивость к перелому была получена в группе, обработанной 5% ЭДТА в течение 10 минут. Это примерно в 2 раза больше, чем наименьшая средняя устойчивость к перелому, которая была получена в группе, обработанной 17% ЭДТА в течение 10 минут The authors found that the resistance to fracture of roots that had undergone endodontic treatment was affected differently by different concentrations of EDTA at different exposure times. The highest mean fracture resistance was obtained in the group treated with 5% EDTA for 10 minutes. This is approximately twice as high as the lowest mean fracture resistance obtained in the group treated with 17% EDTA for 10 minutes |
| 2017 | 1 | Л.С. Gu и соавт. [15] L.S. Gu et al. [15] | Взаимодействие минерализованного дентина с раствором NaOCl способствует проникновению ЭДТА, что затем приводит к растворению апатита. После применения NaOCl ЭДТА растворяет разреженный остаточный минеральный слой коллагена, а также обнажает подлежащий дентин, который необратимо разрушается NaOCl The interaction of mineralized dentin with NaOCl solution promotes the penetration of EDTA, which then leads to the dissolution of apatite. After the application of NaOCl, EDTA dissolves the sparse residual mineral layer of collagen and also exposes the underlying dentin, which is irreversibly destroyed by NaOCl |
| 2018 | 2 | М.С. Lantigua Domínguez и соавт. [16] M.C. Lantigua Domínguez et al. [16] В.М. Lima Nogueira и соавт. [17] B.M. Lima Nogueira et al. [17] | Применялось несколько видов растворов: 2,5% NaOCl+17% ЭДТА и 2% гель хлоргексидина биглюконата+17% ЭДТА. Было замечено, что конечное использование ЭДТА в качестве ирриганта не снижало устойчивости к переломам корней Several types of solutions were used: 2.5% NaOCl+17% EDTA and 2% chlorhexidine bigluconate gel+17% EDTA. The authors noted that the final use of EDTA as an irrigant did not reduce resistance to root fractures При использовании в качестве ирригационного протокола 2,5% NaOCl+17% ЭДТА+2,5% NaOCl и 2,5% NaOCl+17% ЭДТА+0,9% NaCl наблюдалась значительная потеря минералов и изменение соотношения Ca/P When using 2.5% NaOCl+17% EDTA+2.5% NaOCl and 2.5% NaOCl+17% EDTA+0.9% NaCl in the irrigation protocols, significant mineral loss and changes in the Ca/P ratio were observed |
| 2020 | 1 | З.С. Хабадзе и соавт. [18] Z.S. Khabadze et al. [18] | Увеличение времени экспозиции и концентрации гипохлорита натрия приводит к сочетанной потере минеральных компонентов корневого дентина и его микротвердости, прочности на изгиб, упругости Increasing the exposure time and concentration of sodium hypochlorite leads to a combined loss of mineral components in the root dentin and its microhardness, flexural strength, and elasticity |

Таблица 3. Публикации, включенные в анализ литературы согласно критериям отбора по влиянию звукового и ультразвукового методов активации ирригантов на микротвердость корневого дентина
Table 3. Publications included in the literature analysis according to the selection criteria for the effect of the sound and ultrasound methods of irrigant activation on the microhardness of root dentin

| Год Year | Число публикаций Number of publications | Авторы Authors | Заклучение Conclusion |
|-------------|--|--|--|
| 2021 | 1 | И. Tsenova-Ilieva, Е. Karova. [19] | Все режимы ирригации значительно снизили среднюю твердость дентина. Микротвердость дентина снижалась независимо от используемых протоколов орошения All irrigation modes significantly reduced the mean dentin hardness. Dentin microhardness decreased regardless of the irrigation protocols used |
| 2024 | 1 | Н. Khurana и соавт. [18] N. Khurana et al. [20] | Микротвердость дентина корня значительно снижалась при использовании 3% и 5% растворов NaOCl. В группе, обработанной 2% раствором хлоргексидина биглюконата, также наблюдалось снижение микротвердости по сравнению с контрольной группой, но эта разница не была статистически значимой. В группах, подвергшихся ультразвуковой активации, наблюдалось более значительное снижение микротвердости по сравнению с группами, не подвергавшимися ультразвуковой активации The microhardness of root dentin decreased significantly when using 3% and 5% NaOCl solutions. In the group treated with a 2% chlorhexidine digluconate solution, a decrease in microhardness was also observed compared with the control group, but this difference was not statistically significant. The groups subjected to ultrasonic activation showed a more significant decrease in microhardness compared with the groups not subjected to ultrasonic activation |

Активация ирригационных растворов позволяет увеличить эффективность дезинфицирующей способности ирригантов в корневом канале. Ультразвуковые и звуковые системы активации ирригационных растворов обладают кавитационным акустическим действием, что, по мнению многих авторов [22, 23], улучшает качество дезинфекции корневых каналов. Звуковые системы обладают определенным преимуществом перед ультразвуковыми: они вибрируют с меньшей частотой, но с большей амплитудой, а также следует уточнить, что вибрирующие движения звуковых систем совершаются в вертикальной плоскости. Благодаря меньшей чистоте вибрации реже возникает поломка инструментов, образование ступенек и скопление дентинных опилок, но при этом возникают сложности с обработкой апикальной трети канала.

Тема влияния методов активации ирригационных растворов на микротвердость корневого дентина недостаточно освещена в исследованиях и нуждается в дальнейшем изучении.

На основании анализа включенных в обзор исследований можно сделать вывод, что инструменты с возвратно-поступательными движениями удаляют больше корневого дентина и оставляют больше дефектов на стенке канала по сравнению с инструментами полного вращения; увеличение времени и концентрации ирригантов, а также активация ирригационных растворов приводит к значительному снижению микротвердости корневого дентина. Однако для приложения этих результатов к клинической практике необходимо учитывать влияние микробного фактора, устранение которого является первостепенной задачей эндодонтического лечения. Поиск оптимальных с точки зрения дезинфекции системы корневых каналов и сохранения прочности корня подходов представляет большой интерес для практикующих врачей-стоматологов.

Заключение

На основании анализа литературы можно заключить, что каждый этап эндодонтического лечения может оказывать на микротвердость дентина негативное влияние различной степени выраженности. Выявление подходов, уменьшающих это негативное влияние, является перспективным направлением для будущих исследований.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Tonini R., Salvadori M., Audino E., et al. Irrigating Solutions and Activation Methods Used in Clinical Endodontics: A Systematic Review. *Oral Health*. 2022;3. Doi: 10.3389/froh.2022.838043.
2. Tang W., Wu Y., Smales R.J. Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. *J. Endod.* 2010;36(4):609–17. Doi: 10.1016/j.joen.2009.12.002.
3. Zoryan A.V., Aslanova A.O., Korovkin I.A., Kolganov G.S. Irrigation of root canals in everyday endodontics. *Medical Alphabet*. 2025;1:82–87. DOI 10.33667/2078-5631-2025-1-82-87. [Зорян А.В., Асланова А.О., Коровкин И.А., Колганов Г.С. Ирригация корневых каналов в повседневной эндодонтии. *Медицинский алфавит*. 2025;1:82–87. DOI 10.33667/2078-5631-2025-1-82-87 (In Russ.)].
4. Bier C.A., Shemesh H., Tanomaru-Filho M., Wesselink P.R., Wu M.K. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J. Endod.* 2009;35(2):236–8. Doi: 10.1016/j.joen.2008.10.021.
5. Ahn S.Y., Kim H.C., Kim E. Kinematic Effects of Nickel-Titanium Instruments with Reciprocating or Continuous Rotation Motion: A Systematic Review of In Vitro Studies. *J. Endod.* 2016;42(7):1009–17. Doi: 10.1016/j.joen.2016.04.002.
6. Kim H.C., Lee M.H., Yum J., et al. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J. Endod.* 2010;36:1195–9.
7. Ashwinkumar V., Krithikadatta J., Surendran S., Velmurugan N. Effect of reciprocating file motion on microcrack formation in root canals: an SEM study. *Int. Endod. J.* 2014;47(7):622–7. Doi: 10.1111/iej.12197.
8. Li X.G., Wang Q. Effects of different root canal preparation methods on root fracture resistance: A systematic review of the literature. *World J. Stomatol.* 2015;4(2):108–14 Doi: 10.5321/wjs.v4.i2.108.
9. Tavanafar S., Karimpour A., Karimpour H., et al. Effect of Different Instrumentation Techniques on Vertical Root Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth. *J. Dent. (Shiraz)*. 2015;16(Suppl. 1):50–5.
10. Makeeva I.M., Byakova S.F., Novozhilova N.E., et al. Experimental assessment of the effect of the degree of root canal expansion on the stability of tooth roots and the occurrence of a vertical crack. *Endodontics Today*. 2016;02(16):72–75. [Макеева И.М., Бякова С.Ф., Новожилова Н.Е. и др. Экспериментальная оценка влияния степени расширения корневых каналов на устойчивость корней зубов и возникновению вертикальной трещины. *Эндодонтия Today*. 2016;02(16):72–75 (In Russ)].
11. Nassar S., Shetty H.K., Nair P.M.S., et al. Comparative Evaluation of Fracture Resistance of Endodontically Treated Bicuspid Instrumented With Hand Files, TruNatomy, ProTaper Next, ProTaper Gold, and WaveOne – An In vitro Study. *J. Pharm. Bioallied Sci.* 2022;14(Suppl. 1):S600–4. Doi: 10.4103/jpbs.jpbs_739_21.
12. Sayin T.C., Serper A., Cehreli Z.C., Orlu H.G. The effect of EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl with and without subsequent NaOCl treatment on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2007;104(3):418–24. Doi: 10.1016/j.tripleo.2007.03.021.
13. Zhang K., Tay F.R., Kim Y.K., et al. The effect of initial irrigation with two different sodium hypochlorite concentrations on the erosion of instrumented radicular dentin. *Dent. Mater.* 2010;26(6):514–23. Doi: 10.1016/j.dental.2010.01.009.
14. Uzunoglu E., Aktemur S., Uyanik M.O., et al. Effect of ethylenediaminetetraacetic acid on root fracture with respect to concentration at different time exposures. *J. Endod.* 2012;38(8):1110–3. Doi: 10.1016/j.joen.2012.04.026.
15. LS, Huang X.Q., Griffin B., Bergeron B.R., et al. Primum non nocere – The effects of sodium hypochlorite on dentin as used in endodontics. *Acta Biomater.* 2017;61:144–56. Doi: 10.1016/j.actbio.2017.08.008.
16. Lantigua Domínguez M.C., Feliz Pedrinha V., Oliveira Athaide da Silva L.C., et al. Effects of Different Irrigation Solutions on Root Fracture Resistance: An In Vitro Study. *Iran. Endod. J.* 2018;13(3):367–72. Doi: 10.22037/iej.v13i3.19247.
17. Lima Nogueira B.M., da Costa Pereira T.I., Pedrinha V.F., de Almeida Rodrigues P. Effects of Different Irrigation Solutions and Protocols on Mineral Content and Ultrastructure of Root Canal Dentine. *Iran. Endod. J.* 2018;13(2):209–15. Doi: 10.22037/iej.v13i2.19287.
18. Хабадзе З.С., Генералова Ю.А., Шубаева В.С. и др. Анализ влияния гипохлорита натрия на структурные компоненты дентина. *Эндодонтия Today*. 2020;18(3):61–66. <https://doi.org/10.36377/1683-2981-2020-18-3-61-66>
19. Tsenova-Ilieva I., Karova E. The effect of different irrigants with or without ultrasonic activation on root dentin microhardness. *Journal of IMAB – Annual Proceeding (Scientific Papers)*. 2021;27(1). Doi: 10.5272/jimab.2021271.3534.
20. Khurana N., Mann J., Kaur A., et al. Comparative Evaluation of the Effect of Different Irrigation Regimens With and Without Ultrasonic Activation on Root

- Dentin Microhardness: An In Vitro Study. Cureus. 2024;16(11):e73854. Doi: 10.7759/cureus.73854.*
21. 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):206–11. Doi: 10.36377/ET-0032.
 22. Pasqualini D., et al. Comparative evaluation of the antimicrobial efficacy of a 5% sodium hypochlorite subsonic-activated solution. J. Endod. 2010;36(8):1358–60.
 23. Sorokoumova D.V., Grigoriev S.S., Lapteva K.A., et al. Comparative Evaluation of the Effectiveness of Ultrasonic and Sound Methods of Irrigation Solution Activation in Root Canals with Simple and Complex Anatomy (Experimental Study). Problems of Dentistry. 2019;15(1):57–62. Doi: 10.18481/2077-7566-2018-15-1-57-62. Russian (Сорокоумова Д.В., Григорьев С.С., Лаптева К.А. и др. Сравнительная оценка эффективности ультразвуковых и звуковых методов активации ирригационного раствора в корневых каналах с простой и сложной анатомией (экспериментальное исследование). Проблемы стоматологии. 2019;15(1):57–62. Doi: 10.18481/2077-7566-2018-15-1-57-62).

Поступила 12.04.2025

Получены положительные рецензии 01.06.25

Принята в печать 20.08.25

Received 12.04.2025

Positive reviews received 01.06.25

Accepted 20.08.25

Вклад авторов. М.К. Макеева, Ю.А. Тартун — концепция и дизайн исследования, написание текста. З.С. Хабадзе, С.В. Мартынова — сбор и обработка материала. Ю.С. Козлова, М.Ж. Григорян — статистическая обработка данных. М.К. Макеева, И.А. Воронов — редактирование.

Author's contributions. M.K. Makeeva, Yu.A. Tartun — research concept and design, writing the text. Z.S. Khabadze, S.V. Martynova — collection and processing of the material. Y.S. Kozlova, M.J. Grigoryan — statistical data processing. M.K. Makeeva, I.A. Voronov — editing.

Информация об авторах:

Тартун Юлия Александровна — ассистент кафедры терапевтической стоматологии Медицинский институт Российского Университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Адрес: 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; тел.: +7 (916) 660-69-92; e-mail: tartun_yua@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-0733-2687.

Макеева Мария Константиновна — к.м.н., доцент, доцент кафедры терапевтической стоматологии Медицинский институт Российского Университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Адрес: 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; тел.: +7 (905) 741-64-37; e-mail: makeeva_mk@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-4230-629X.

Хабадзе Зураб Суликоевич — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии Медицинский институт Российского Университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Адрес: 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; тел.: +7 (926) 566-66-92; e-mail: khabadze_zs@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-7257-5503.

Мартынова Светлана Васильевна — ассистент кафедры терапевтической стоматологии Медицинский институт Российского Университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Адрес: 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; тел.: +7 (916) 313-35-21; e-mail: podkopaeva_sv@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-8393-9819.

Козлова Юлия Семеновна — к.м.н., ассистент кафедры детской, профилактической стоматологии и ортодонтии, Институт Стоматологии им. Е.В. Боровского, Первый МГМУ имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Адрес: 119048 Москва, ул. Трубецкая, д. 8 стр. 2; доцент кафедры стоматологии, МБУ ИНО ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Адрес: 123098 Москва Ул. Живописная, д. 46, стр. 8; e-mail: kozlova_yus@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-8218-5074.

Григорян Милена Жирайровна — ассистент кафедры терапевтической стоматологии Медицинский институт Российского Университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Адрес: 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; тел.: +7 (926) 584-11-45; e-mail: grigoryan_mzh@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-7436-8698.

Воронов Игорь Анатольевич — д.м.н., доцент, профессор кафедры ортопедической стоматологии Медицинский институт Российского Университета Дружбы Народов им. Патриса Лумумбы. Адрес: 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: voronov_ia@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-6873-5869

Information about the authors:

Yulia Aleksandrovna Tartun — Assistant of the Conservative Dentistry Department, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Address: 6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow; tel.: +7 (916) 660-69-92; e-mail: tartun_yua@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-0733-2687.

Maria Konstantinovna Makeeva — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Conservative Dentistry Department at the Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Address: 6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow; tel.: +7 (905) 741-64-37; e-mail: makeeva_mk@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-4230-629X.

Zurab Sulikoevich Khabadze — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Conservative Dentistry Department, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Address: 6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow; tel.: +7 (926) 566-66-92; e-mail: khabadze_zs@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-7257-5503.

Svetlana Vasilyevna Martynova — Assistant of the Conservative Dentistry Department, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Address: 6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow; tel.: +7 (916) 313-35-21; e-mail: podkopaeva_sv@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-8393-9819.

Yuliya Semenovna Kozlova — Assistant of Professor, Department of Pediatric, Preventive Dentistry and Orthodontics, E.V. Borovsky Institute of Dentistry, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) Address: 119048 Moscow, Trubetskaya Street, 8, Building 2; Associate Professor Department of Dentistry, Medical and Biological University of Innovation and Continuous Education FMBC named after A.I. Burnazyan FMBA. Address: 123098 Moscow, Zhivopisnaya Street, 46, Building 8; e-mail: kozlova_yus@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-8218-5074.

Milena Zhirayrovna Grigoryan — Assistant Professor of the Conservative Dentistry Department, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Address: 6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow; tel.: +7 (926) 584-11-45; e-mail: grigoryan_mzh@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-7436-8698.

Voronov Igor Anatolyevich — Dr. Sc. (Med.), Associate Professor, Professor of Prosthetic Dentistry department at the Medical Institute of the Peoples Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba. Address: 117198 Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6; e-mail: voronov_ia@pfur.ru. ORCID: 0000-0002-6873-5869