

УСТОЙЧИВОСТЬ НИКЕЛЬ-ТИТАНОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ К ПЕРЕЛОМАМ

Микляев Станислав Валерьевич

К.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»
miklaev@mail.ru

Сущенко Андрей Валерьевич

Д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»
avs270270@mail.ru

Аверина Анна Сергеевна

К.м.н., врач-стоматолог-ортопед, ООО «Дентика»
г. Воронеж
annaavr1981@yandex.ru

Антонюк Анна Павловна

Старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»
annafntonyuk82@mail.ru

RESISTANCE OF NICKEL-TITANIUM TOOLS TO FRACTURES

**S. Miklyaev
A. Sushchenko
A. Averina
A. Antonyuk**

Summary. A wide range of rotating NiTi instruments in the dental market, where manufacturers provide only an exemplary resource of mechanical tools, conditionally dividing them into reusable and disposable, thus does not give recommendations on the service life and clinical recommendations depending on the complexity of the root canal system. The article discusses the results of studies of cyclic fatigue of NiTi instruments, as well as describes the mechanisms of fracture of these endodontic instruments. Careful observance of simple rules of use can significantly reduce the risk of fracture of tools during channel processing.

Keywords: root canal treatment, nickel-titanium, tool fracture.

Аннотация. Широкий ассортимент вращающихся NiTi-инструментов на стоматологическом рынке, где производители предоставляют лишь образцовый ресурс механических инструментов, условно разделяя их на многоразовые и одноразовые, таким образом, не дает рекомендаций по срокам эксплуатации и клинических рекомендаций в зависимости от сложности системы корневых каналов. В статье обсуждаются результаты исследований цикловой усталостной усталости NiTi-инструментов, так же описаны механизмы перелома данных эндодонтических инструментов. Тщательное соблюдение простых правил использования позволяет в значительной степени снизить риск перелома инструментов во время обработки канала.

Ключевые слова: обработка корневого канала, никель-титан, перелом инструмента.

Введение

В современной стоматологии при эндодонтическом лечении широко используют вращающиеся никель-титановые (NiTi) инструменты. Преимущества применения таких инструментов перед мануальной обработкой корневого канала с помощью стальных инструментов продемонстрированы многочисленными исследованиями. Многие стоматологи рассматривают вращающиеся NiTi-инструменты в качестве инструментов первого выбора для препарирования системы корневого канала. В то время как в некоторых европейских странах вращающиеся NiTi-инструменты относи-

тельно часто применяются уже несколько лет, в других регионах мира еще не сложилось однозначное отношение к ним. Например, в странах бывшего СССР сегодня NiTi-инструменты более или менее регулярно используют всего лишь 31% стоматологов. Оправданием отказа от рутинного применения вращающихся NiTi-инструментов является боязнь их перелома во время подготовки корневого канала.[3]

На самом деле перелом инструмента является относительно частым осложнением эндодонтического лечения. Опрос стоматологов показал, что 75% из них хотя бы один раз сталкивались с переломом инстру-

Таблица 1. Торсионная устойчивость некоторых NiTi- инструментов. Момент вращения при переломе в Нхсм (среднее значение из n=10) (n-количество экспериментов)

Размер по ISO	Flex Master	Protaper Universal	M-two
0,02/20	0,234		
0,02/25	0,513		
0,02/30	0,685		
0,02/35	0,986		
0,04/20	0,460	0,413	0,313
0,04/25	0,772	0,514	0,409
0,04/30	1,147	0,977	0,591
0,06/20	0,869	0,889	0,578
0,06/25	1,164	1,125	6,663
0,06/30	1,668	1,561	0,873

Таблица 2. Торсионная устойчивость некоторых NiTi- инструментов. Угол разворота при переломе в градусах (среднее значение из n=10)

Размер по ISO	Flex Master	Protaper Universal	M-two
0,02/20	712		
0,02/25	744		
0,02/30	760		
0,02/35	603		
0,04/20	660	729	744
0,04/25	535	627	794
0,04/30	524	584	834
0,06/20	385	499	598
0,06/25	416	552	575
0,06/30	398	538	550

мента в корневом канале. Среди тех, у кого перелом инструментов происходил более шести раз, было много профессиональных эндодонтистов.

По сути, каждый эндодонтист на собственном опыте может подтвердить высокую вероятность перелома инструментов в ходе лечения корневых каналов. Более того, можно предположить, что перелом инструмента является неизбежным и происходит рано или поздно. Ретроспективный анализ фактов перелома инструмента позволяет выявить причины и механизмы переломов, а также определить возможности предотвращения этого более чем неприятного осложнения.[1]

Исходя из всего выше сказанного, можно сделать вывод о том, что стоматологи, проводящие эндодонтическое лечение, должны четко представлять себе механизмы перелома NiTi- инструментов в корневом канале.

Обзор литературы. Причины возникновения переломов NiTi-инструментов

Согласно проведенному исследованию стоматологи определили следующие причины возникновения переломов файла:

1. повышенная нагрузка на инструмент (63%);
2. длительное время использования (42%);
3. сложная анатомия корневых каналов (37%);
4. неизвестные причины (33%);
5. неправильный угол наклона (18%);
6. отказ от использования жидкости для промывания (15%);
7. высокая скорость вращения инструмента (12%).

Степень корреляции предполагаемых причин перелома инструмента с результатами научных исследований представлена ниже.

Никель-титановый сплав

Вращающиеся NiTi-инструменты в большинстве случаев изготавливаются из сплава 55-Нитинол (55-Nitinol), который на 55% состоит из никеля и на 45% из титана. Этот сплав получили в 1963 г. в связи с заказом американского военно-морского флота. В 1975 г. впервые NiTi-сплав применили для изготовления внутриканальных инструментов. При увеличении нагрузки сплав Нитинол претерпевает изменение кристаллической решетки, после чего возвращается в исходное состояние. Из этого следует, что, в отличие от стальных инструментов, он имеет относительно длительную фазу эластической деформации. На практике это означает, что NiTi-инструменты обладают значительно большей эластичностью, чем стальные инструменты.[2] Так называемое псевдоэластическое поведение никель-титановых инструментов позволяет проводить адекватную обработку искривленных корневых каналов. Разумеется, из-за своей незначительной жесткости NiTi-сплав, в отличие от стали, имеет значительно меньшую режущую способность. Поэтому NiTi-инструменты гораздо быстрее выходят из строя, чем стальные.

Торсионные переломы (переломы при вращении инструмента)

Торсионная устойчивость внутриканального инструмента зависит от предела прочности на разрыв и торсионного угла (ISO-Norm 3630-1). Торсионным углом называется градус разворота при вращении инструмента по часовой стрелке, после заклинивания верхушки инструмента, при котором происходит перелом этого инструмента, а прочность на разрыв при скручивании достигает максимального крутящего момента.[4] Торсионная оценка для некоторых NiTi внутриканальных инструментов представлена в Табл. 1 и 2.

В экспериментальных условиях торсионные свойства NiTi-инструментов отличаются от стальных файлов. В то время как при заклинивании верхушки и дальнейшем вращении инструмент из высококачественной стали очень быстро раскручивается и уже после короткого времени при малом торсионном угле достигает своего максимального крутящего момента, NiTi-инструменты равномерно увеличивают крутящий момент в зависимости от торсионного угла. При достижении стальным инструментом максимального крутящего момента вначале происходит его пластическая деформация, а при дальнейшем вращении инструмент ломается. NiTi-инструменты ведут себя иначе: после достижения максимального крутящего момента наблюдается снижение значения скручивания перед переломом инструмента. В то время как у стальных инструментов попытка достижения максимального крутящего момента соответству-

ет перелому, у NiTi-инструментов показатель крутящего момента при переломе гораздо выше.[6]

Торсионное поведение NiTi-инструментов объясняется их псевдоэластическими свойствами, что имеет большое клиническое значение. В случае заклинивания верхушки стального файла в корневом канале сначала происходит пластическая деформация, при своевременном обнаружении которой можно вовремя отсортировать поврежденные файлы. У NiTi-инструментов, наоборот, определяются незначительные признаки пластической деформации, и их перелом происходит позднее при последующем применении, если до этого не будут видны признаки макроскопического изменения кристаллической решетки.

Во избежание торсионного перелома в корневом канале при препарировании канала в каждом случае для инструмента необходимо учитывать максимальный крутящий момент, который определяют в лабораторных условиях. В прямых или слегка искривленных корневых каналах возникающая сила скручивания (торсионная сила) значительно ниже границы перелома NiTi-инструментов, что определяет незначительный риск возникновения перелома.[5]

Разумеется, при заклинивании верхушки инструмента возникает экстремальный крутящий момент в этой области (например, когда верхушка инструмента заклинивается в точке схождения двух сходящихся каналов) (Рис 1). Исходя из этого инструменты с увеличивающимся диаметром в узких корневых каналах подвергаются повышенной торсионной нагрузке (эффект заклинивания) из-за большой поверхности соприкосновения между инструментом и стенкой корневого канала. В этой ситуации увеличивается трение, что приводит к необходимости дополнительного вертикального давления на инструмент, а это в свою очередь ведет к возможному достижению торсионной границы перелома и даже ее превышению. Исходя из этого понятно требование к созданию «гладкого пути» для NiTi-инструментов, который создается посредством изначального полного раскрытия корневого канала с помощью тонких ручных инструментов (ISO 15), что значительно снижает риск возникновения торсионного перелома.

Для лучшей оценки запаса прочности в отношении скручивания необходимо введение коэффициента безопасности (SQ) для каждого инструмента, предназначенного для обработки каналов. SQ является математическим коэффициентом крутящего момента, при котором в лабораторных условиях происходит перелом верхушки после заклинивания файла, и определяется средним рабочим крутящим моментом при истирании файла о дентин. Как уже подчеркивалось, SQ



Рис. 1. При обработке канала медиального корня удаленного первого моляра нижней челюсти произошел перелом NiTi-инструмента (увеличение в 30 раз)

не имеет большого клинического значения, поэтому дать количественную оценку возникновению перелома инструмента в корневом канале не так просто.[1]

Наиболее пригодным для предотвращения возникновения торсионного перелома является применение системы привода с управляемым крутящим моментом. По сравнению с неконтролируемым углом приложения силы при применении NiTi-инструментов в лабораторных условиях возникает гораздо меньше переломов, если система привода инструмента находилась под контролем оператора, потому что в последнем случае осуществляется контроль скорости вращения и крутящего момента. Доказано, что система является более эффективной при возможности использования незначительного значения крутящего момента ($< 1 \text{ Нхсм}$).

Безусловно, у некоторых моторов фактическое значение крутящего момента отличается от предварительно установленного, причем, иногда значительно. Несмотря на это, в клинических условиях применение системы привода с управляемым крутящим моментом относительно безопасно.[5]

Кроме того, при отсутствии промывания корневого канала во время его обработки увеличивается влияние торсионной нагрузки на NiTi-инструменты. В условиях *in vitro* промывание с помощью ЭДТА приводит к снижению торсионной силы в среднем на 11% по сравнению с работой в сухом корневом канале. В противовес этому имеются данные, что применение смазывающего геля имеет незначительный положительный эффект на устойчивость к перелому NiTi-файлов.

Усталостные переломы

Как было отмечено выше, при препарировании корневого канала критические крутящие моменты верхушки инструмента появляются относительно редко. На практике это не является основной причиной переломов при условии контроля крутящего момента системы приводного механизма. Часто переломы происходят вследствие усталости металла, обусловленной сгибающей нагрузкой на инструмент при препарировании корневого канала. Механическая усталость материала возникает в результате повторяющейся или длительной нагрузки, превышающей нижнюю торсионную границу перелома. Характерным для усталостного перелома является отсутствие очевидной пластической деформации файла.[2]

Усталостный перелом является динамическим, он может быть смоделирован *in vitro* с помощью свободного вращения инструментов в искусственном или естественном корневом канале с определенным искривлением. Необходимо отметить, что именно угол искривления корневого канала имеет решающее значение для возникновения переломов вращающихся NiTi-инструментов. Увеличение кривизны, как правило, ведет к увеличению изгибающей нагрузки и вместе с этим к возникновению перелома вращающегося инструмента. Нужно помнить, что перелом файла с наибольшей долей вероятности происходит в месте его наибольшего сгибания, а именно — в центре искривления корневого канала. Клинически перелом инструмента чаще всего происходит в медиальных корнях моляров нижней челюсти (50%) и щечных корнях моляров верхней

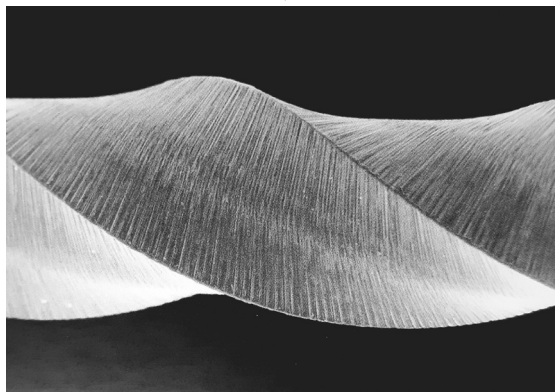


Рис. 2. Flex master (VDW)

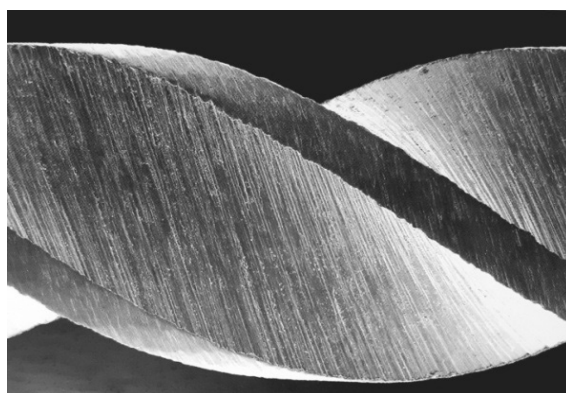


Рис. 3. Protaper Universal (Maillefer)

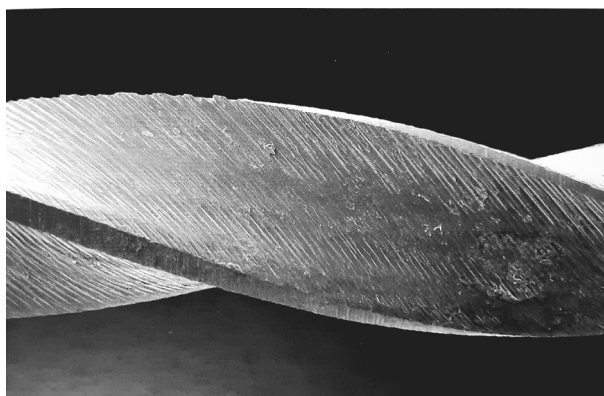


Рис. 4. M-two (VDW)

челюсти (25%). Переломы в прямых корнях фронтальных зубов и премоляров возникают относительно редко.[3]

Микроскопическое исследование NiTi-инструментов показывает, что уже после однократного приме-

ния на поверхности инструмента возникают начальные борозды (Рис. 2–4). Причем микрповреждения концентрируются прежде всего в области, которая во время препарирования в корневом канале подвергалась наибольшей изгибающей нагрузке. Основной причиной нарушения является образование на поверхности

инструмента борозд и насечек, которые в дальнейшем могут увеличиваться и приводить к перелому. Для уменьшения нагрузки на изгиб на инструменты и распределения ее на большую поверхность рекомендуется во время вращения в корневом канале файлом производить возвратно-поступательные движения в осевом направлении. Длительное вращение на одном месте приводит к усталостному перелому.

В сильно искривленных корневых каналах толстые никель-титановые инструменты значительно быстрее подвергаются усталостному перелому, чем тонкие. Поперечный размер и конусность вращающихся инструментов определяют особенности их вращения и длительность.[6] Это означает, что увеличение поперечного сечения инструмента и его конусности всегда приводит к увеличению образования трещин на инструменте при его введении в искривленный корневой канал. Необходимо отметить устойчивость никель-титановых инструментов к перелому при проведении торсионного теста, причем граница перелома толстых инструментов выше, чем тонких. Очевидно, что полученные *in vivo* результаты динамического теста экстраполировать на клиническую практику можно с очень большой осторожностью, а толстые инструменты в искривленных каналах изнашиваются быстрее тонких.

Большинство NiTi-систем эксплуатируется с незначительной скоростью вращения. По-видимому, имеются множество модификаций, предполагающих незначительное влияние скорости вращения на продолжительность жизни файла. Результаты проведенных исследований достаточно противоречивы. В то время как для профайлов увеличение скорости вращения инструмента с 150–166 до 333–350 об/мин, по одним исследованиям, приводит к увеличению переломов, по другим исследованиям, все происходит с точностью до наоборот, а именно к снижению числа деформаций при увеличении скорости вращения со 150 до 350 об/мин. При сравнении значения скорость вращения и искривления корневой канала оказывается, что последний фактор является решающим для устойчивости NiTi-инструментов к перелому. Значительное снижение скорости вращения в сильно искривленном канале не увеличивает продолжительность срока службы инструмента. С другой стороны, повышение скорости в равномерно искривленном канале редко приводит к перелому инструмента.[5]

Вращающиеся NiTi-инструменты в искривленных каналах сильно изнашиваются, поэтому возникает вопрос о частоте их применения. Данные литературы на этот счет противоречивы. В практике NiTi-инструменты из-за своей относительно высокой стоимости используют больше, чем стальные файлы.

Не следует слишком полагаться на определение видимой деформации в качестве критерия оценки качества инструмента. В эндодонтической клинике в течение полугода по этому признаку отсортировали 378 никель-титановых инструментов, после чего провели микроскопическое исследование на наличие дефектов. Причем у 50% отобранных файлов уже определяли явные макроскопические дефекты, у 28% определяли микроскопические повреждения, и у 21% определили готовность к перелому.

При помощи лабораторных исследований удалось установить следующие аспекты, касающиеся продолжительности функционирования NiTi-инструментов:

- ◆ уже после однократного применения на поверхности инструмента определяются повреждения;
- ◆ от 25 до 100% файлов после длительного применения имеют микротрещины;
- ◆ в искривленных корневых каналах можно определить связь между длительностью и наступлением усталостного перелома для конкретного типа инструмента. Такая связь может заключаться в степени искривления канала и в типе инструмента. Минимальная продолжительность использования до наступления перелома составляет 27 секунд, или 120 оборотов.[4]

Инструменты для обработки корневой канала из никель-титанового сплава подвергаются грубой обработке. После сложного процесса изготовления даже у новых никель-титановых файлов можно выявить неровности и дефекты поверхности. Однако неизвестно, оказывают ли эти дефекты отрицательное влияние на клинический срок службы инструментов и их устойчивость под действием сгибающей нагрузки.[8]

Для улучшения режущих свойств и устойчивости к переломам были разработаны различные формы никель-титановых инструментов (Рис. 6–8). Эластичность файлов в основном определяется формой их поперечного сечения. С помощью теоретических расчетов можно определить идеальную форму поперечного сечения для различных требований при подготовке корневой канала. Инструменты с треугольным U-образным поперечным сечением (Triple-U) при компьютерном моделировании обладали значительной эластичностью, но низкой устойчивостью к торсионной нагрузке. Файлы с треугольным и закрученным поперечным сечением (Triple-Helix) обладают значительно большей устойчивостью к торсионной нагрузке, но при этом имеют низкую эластичность. Исходя из этого можно определить требования к различным типам инструментов в зависимости от особенностей препарирования корневой канала, в то время как инструменты с треугольным U-образным сечением теоретически

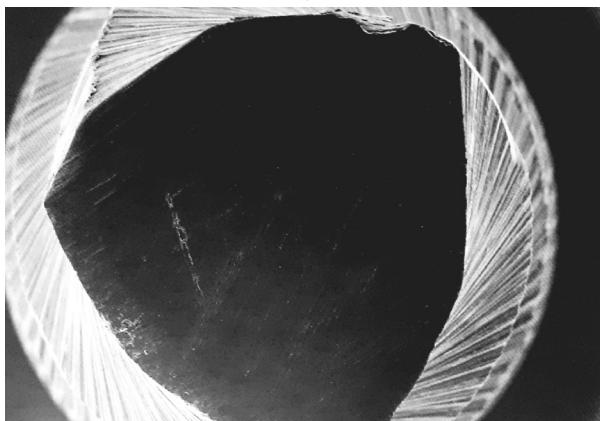


Рис. 6. Flexmaster (VDW)

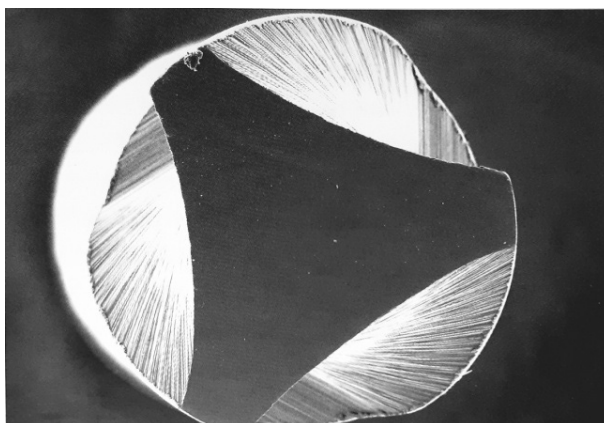


Рис. 7. Protaper Universal (Maillefer)

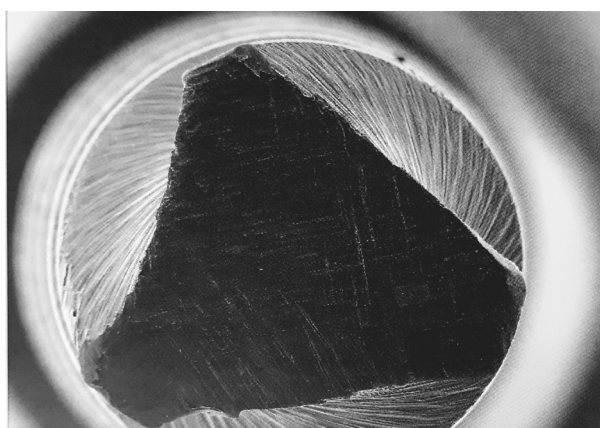


Рис. 8. M-two (VDW)

более безопасно могут использоваться в искривленных и не должны применяться в узких корневых каналах. Файлы с треугольным и закрученным сечением больше подходят для узких и не очень искривленных

каналов. В лабораторных условиях не было обнаружено различий между этими двумя типами инструментов с точки зрения их устойчивости к перелому. В настоящее время еще неизвестно, насколько включение ио-

нов азота увеличивает устойчивость NiTi-инструментов к перелому.[1]

Коррозия

В случае контакта дефекта никель-титановой поверхности с промывающим раствором и при проведении стерилизационной обработки возможно коррозионное повреждение, что увеличивает подверженность инструмента к перелому. Однако до настоящего времени не было доказано негативное воздействие растворов, используемых для промывания каналов, или стерилизации на устойчивость NiTi-инструментов к переломам. Погружение таких инструментов в 2,5% растворе NaOCl более чем на 48 часов не влияет на их механические свойства. Кроме того, NiTi-инструменты чрезвычайно устойчивы к 5,25% раствору NaOCl и 17% раствору ЭДТА. Химическая и термическая стерилизация не оказывает значительного эффекта на NiTi-инструменты. Кроме того, не отмечено увеличение числа переломов при многократно повторяющихся циклах автоклавирования при температуре 135–140 °С. В отдельных случаях возможно даже улучшение торсионной устойчивости после однократного первичного автоклавирования. Поэтому перед приме-

нением никель-титановых инструментов их рекомендуется стерилизовать.[7]

Выводы

Указанные во введении основные причины переломов NiTi-инструментов в ходе обработки каналов подтверждаются в лабораторных условиях. Необходимо избегать оказания на инструмент избыточного давления и его длительной эксплуатации, поскольку это часто приводит к перелому файла. Во всех искривленных каналах форсированное препарирование ведет к быстрому перелому инструмента. Для предотвращения переломов вращающихся никель-титановых инструментов необходимо соблюдать следующие правила:

1. отсутствие давления на инструмент и осуществление контроля момента вращения;
2. визуальный контроль инструментов перед каждым их применением;
3. создание «гладкого пути» с помощью тонких ручных инструментов;
4. своевременная отсортировка погнутых или деформированных инструментов;
5. достаточное промывание во время препарирования корневого канала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамчик А.А. Тестирование цикла усталости эндодонтических вращающихся никель-титановых инструментов «EASY SHAPE» и «PROTAPER» // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — М., 2014. — № 2. — С. 10–14.
2. Боровский Е.В. Отказ от пломбирования корневого канала методом одной пасты — неотложная задача эндодонтии / Е.В. Боровский // Клиническая стоматология. — 2000. — № 4. — С. 18–20.
3. Македонова Ю.А. Герметизирующая способность нового obturационного материала для корневых каналов Real Seal с технологией Resilon / Ю.А. Македонова, И.В. Фирсова // Саратовский научный медицинский журнал. — Саратов, 2012. — Т. VIII, № 1. — С. 111–114.
4. Пирани К., Яконо Ф., Генерали Л., Сассателли П., Лусварги Л., Гандольфи М.Г., Прати К. NuFlexEDM: внешние характеристики, металлургический анализ и усталостная прочность инновационных NiTi вращающихся инструментов, изготовленных электроэрозионной обработкой. Междунар. Эндод. Дж. 2016;49(5):483–93.
5. Сирак С.В., Щетинин Е.В., Слетов А.А. Суббантральная аугментация пористым титаном в эксперименте и клинике никель-титановые вращающиеся инструменты // J. endod. — 2011. — № 7 (37). — P. 1013–1016.
6. Современные представления о качестве эндодонтического лечения / С.В. Микляев, О.М. Леонова, А.В. Сущенко [и др.] // Медицина и физическая культура: наука и практика. — 2019. — Т. 1. — № 3. — С. 16–21. — DOI 10.20310/2658–7688–2019–1–3–16–21.
7. Фирсова И.В., Македонова Ю.А. Клинические и морфологические особенности реакции верхушечного периодонта при использовании различных групп эндогерметиков // И.В. Фирсова, Ю.А. Македонова // Эндодонтия today. — М., 2013. — № 2. — С. 7–12.
8. Шумилович, Б.Р. Сравнительная характеристика степени апикальной транспортировки и центрирующих свойств никель-титановых инструментов в аустенитной и мартенситовой фазах / Б.Р. Шумилович, С.В. Микляев // Медицина и физическая культура: наука и практика. — 2020. — Т. 2. — № 3(7). — С. 31–41. — DOI 10.20310/2658–7688–2020–2–3(7)–31–41.

© Микляев Станислав Валерьевич (miklaev@mail.ru), Сущенко Андрей Валерьевич (avs270270@mail.ru),

Аверина Анна Сергеевна (annaavr1981@yandex.ru), Антонюк Анна Павловна (annafntonyuk82@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»