

Сравнительная морфометрическая характеристика рабочей поверхности эндодонтических ротационных никель-титановых инструментов после максимальной циклической нагрузки

© Домбровская Ю.А.¹, Падерина Т.О.¹, Бенкен К.А.², Лубская Е.Ю.¹, Силин А.В.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

Резюме:

Цель. Морфометрический анализ рабочих поверхностей эндодонтических вращающихся никель-титановых инструментов.

Материалы и методы. Проанализирован химический состав, физические свойства трех видов эндодонтических вращающихся никель-титановых инструментов F2 различных типов: протейперы Universal (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария), ультратейперы Ultrataper (Eurofile, Шеньжень, Китай) и суперфайлы (Superfile, Eurofile, Шеньжень, Китай), а также проведена оценка эндодонтической обработки 75 эндоблоков.

Результаты. В данном исследовании показано, что эндодонтические ротационные инструменты имеют различный химический состав и неоднородность сплава. Выявлено среднее сопоставимое процентное содержание титана и никеля в исследуемых образцах сплавов. Качество эндодонтической обработки каналов эндоблоков различными вращающимися никель-титановыми инструментами также сопоставимо между собой и отвечает заданным критериям.

Выводы. Проведенный морфометрический анализ выявил разность структуры сплава металлов протейперов F2, при сопоставимом между собой содержании никеля (46-52%) и титана (38-41%). Содержание чистого никель-титанового сплава по периферии эндодонтического инструмента в протейперах Universal обеспечивают высокую режущую способность граней. Полученные данные о различной устойчивости к циклическим нагрузкам необходимо учитывать при эндодонтическом лечении многокорневых зубов. Анализ структуры никель-титанового сплава указывает на предопределенность развития фактуры инструмента при длительном использовании и необходимости учёта циклов работы эндодонтического ротационного инструмента.

Ключевые слова: эндодонтическое лечение, вращающийся никель-титановый инструмент, никель-титановый сплав, протейпер.

Статья поступила: 10.12.2021; **исправлена:** 13.02.2022; **принята:** 15.02.2022.

Конфликт интересов: Силин А.В. является членом редакционной коллегии, однако, влияние было нивелировано в процессе двойного слепого рецензирования.

Благодарности: Финансирование и индивидуальные благодарности для декларирования отсутствуют.

Для цитирования: 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. DOI: 10.36377/1726-7242-2022-20-1-12-19.

Comparative morphometric characteristics of the working surface of endodontic rotary nickel-titanium instruments after maximum cyclic loading

© Yulia A. Dombrovskaya¹, Tatiana O. Paderina¹, Konstantin A. Benken², Ekaterina Yu. Lubskaya¹, Alexei V. Silin¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Mechnikov St. Petersburg State Medical Academy" of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State University", St. Petersburg, Russia

Abstract:

Aim. Is the morphometric analysis of the working surfaces of endodontic rotating nickel-titanium instruments.

Materials and methods. The chemical composition and physical properties of the three types of endodontic rotating nickel-titanium F2 instruments have been analyzed: protaper Universal (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Ultrataper (Eurofile, China) and Superfile (Eurofile, China) protapers. The evaluation of endodontic treatment of 75 endoblocks was also carried out.

Results. The research work shows that endodontic rotary instruments have both different chemical composition and heterogeneity of the alloy. The average comparable percentage of titanium and nickel in the studied alloy samples has been revealed. The quality of endodontic treatment of the endoblocks' channels with various rotating nickel-titanium instruments is also comparable and meets the specified criteria.

Conclusion. The morphometric analysis has revealed a difference in the structure of the metal alloy of the F2 protapers, with a comparable content of nickel (46-52%) and titanium (38-41%). The content of pure nickel-titanium alloy along the periphery of the endodontic instrument in Universal protapers ensures high cutting ability of the faces. The obtained data on different resistance to cyclic loads should be taken into account in the endodontic treatment of multi-root teeth. The analysis of the structure of the nickel-titanium alloy indicates the predetermination of the development of the tool's fracture with prolonged use and the need to take into account the cycles of the endodontic rotary tool.

Keywords: endodontic treatment, rotating nickel-titanium instrument, nickel-titanium alloy, protaper.

Received: 10.12.2021; **revised:** 13.02.2022; **accepted:** 15.02.2022.

Conflict of interests: Alexei V. Silin is a member of the journal editorial board however, the influence was excluded in the double-blind peer review process.

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

For citation: Yulia A. Dombrovskaya, Tatiana.O. Paderina, Konstantin A. Benken, Ekaterina Yu. Lubskaya, Alexei V. Silin. Comparative morphometric characteristics of the working surface of endodontic rotary nickel-titanium instruments after maximum cyclic loading. *Endodontics today*. 2022; 20(1):12-19. DOI: 10.36377/1726-7242-2022-20-1-12-19.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Использование вращающихся никель-титановых эндодонтических инструментов: протейперов (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария), ультрапейперов (Ultrataper Eurofile, Шеньчжень, Китай) и суперфайлов (Superfile, Eurofile, Шеньчжень, Китай) является широко распространённой практикой клинической деятельности врача-стоматолога [1-3, 5, 12].

Результаты исследований циклической усталости вращающегося никель-титанового эндодонтического инструмента позволяет врачу-стоматологу осуществлять выбор инструментария при решении разных клинических задач [4-7, 11, 12].

По данным литературных источников изучение поверхности эндодонтического инструментария вращающихся никель-титановых инструментов, в частности протейперов, занимает ведущее место в современной эндодонтической практике [5, 6, 10, 12, 15].

Хотя вращающиеся никель-титановые инструменты имеют превосходную гладкость поверхности и устойчивость к циклической усталости от напряжения, вызванной механической нагрузкой и силой трения, имеют вероятность перелома инструмента до 20% [5, 13, 15].

Таким образом, понимание влияния механических нагрузок на рабочие поверхности никель-титановых вращающихся инструментов может дать полезную практическую информацию с точки зрения образования поверхностных дефектов и клинической безопасности [2, 3, 9-11, 15].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Морфометрический анализ рабочих поверхностей различных видов протейперов после получения ими максимальных циклическим нагрузок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализирован химический состав и физические свойства трёх видов машинных инструментов F2 различных типов: протейперов Universal (PTu,

Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария), ультрапейпер (Ultrataper, Eurofile, Шеньчжень, Китай) и суперфайл (Superfile, Eurofile, Шеньчжень, Китай). Новый инструмент извлекался из блистерной упаковки, автоклавированию не подвергался.

По стандартной методике работы с никель-титановыми ротационными инструментами (PTu) – обработаны эндоблоки (Endo-Training-Bloc) в количестве 75 штук с помощью эндомотора «VDW Silver» до момента отлома инструмента одним оператором в течение 10 дней. Блоки были разделены на три группы сравнения: 25 эндоблоков обработано протейперами Universal (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария), 25 эндоблоков – ультрапейперами (Ultrataper, Eurofile, Шеньчжень, Китай) и 25 блоков – суперфайлами (Superfile, Eurofile, Шеньчжень, Китай).

Для каждого эндодонтического блока был сформирован апикальный упор с помощью ручных к-файлов диаметром 6, 8, 10 и 15. Машинные файлы использовались последовательно SX, S1, S2, F1, F2, F3. Вводимым в канал ротационным никель-титановым инструментом выполнялось 3 – 5 пассивных клюющих движений в апикальном направлении, при достижении рабочей длины вращающийся файл незамедлительно извлекался из канала эндоблока.

После каждого файла проводилась ирригация канала эндоблока 3,25% раствором гипохлорита натрия, в качестве эндолубриканта использовался гель 17% ЭДТА. Критериями качества обработки стенок эндоблока являлись – форма канала в виде усечённого конуса, гладкость стенок, ирригационный раствор не выходил за пределы апикального отверстия из-за сформированного упора [1].

Оценка результатов осуществлялась с помощью настольного сканирующего электронного микроскопа TM3000, с режимом низкого вакуума, без предварительного напыления. Прибор оснащен приставкой энергодисперсионного микроанализа OXFORD. На каж-

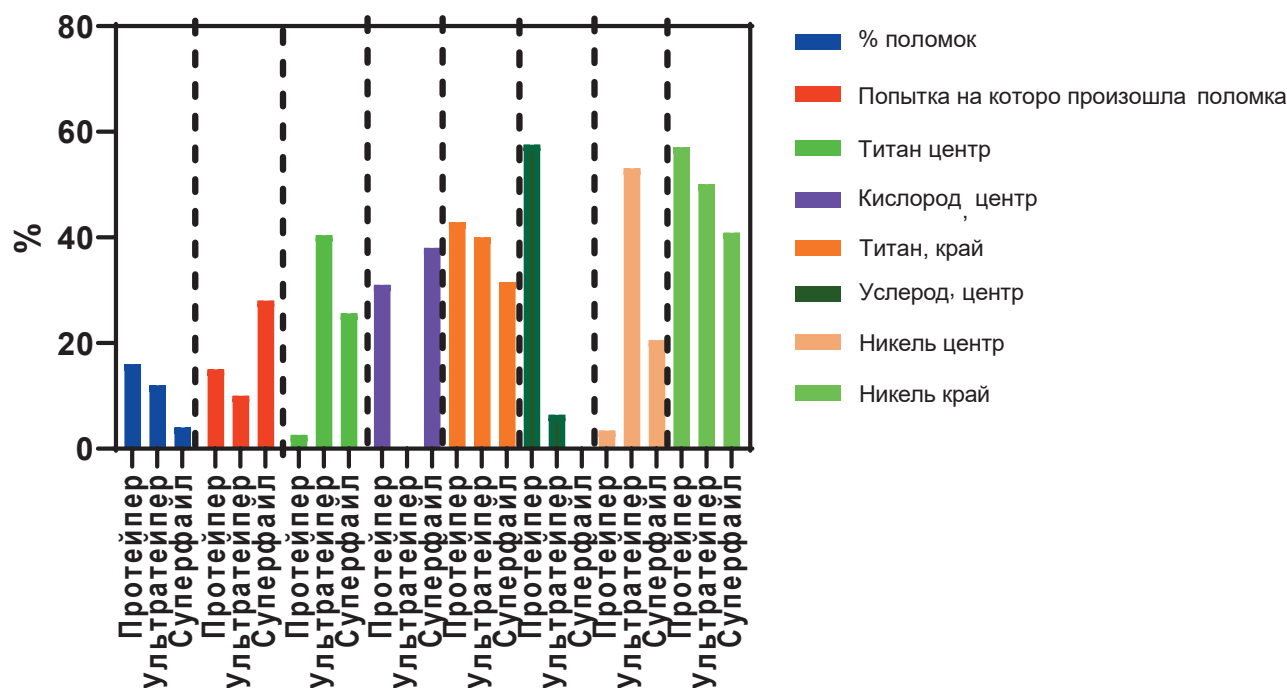


Рис. 1. Корреляция химического состава от вероятности поломки F2.

Fig. 1. Correlation of chemical composition from the probability of breakdown F2.

дом инструменте исследовались 5 точек поверхности отлома протейперов Universal (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария), ультратейперов (Ultrataper, Eurofile, Шеньжень, Китай) и суперфайлов (Superfile, Eurofile, Шеньжень, Китай).

В течение 20 секунд осуществлялся сбор данных, далее проводилась статическая обработка результатов качественного и количественного анализа с использованием модифицированного алгоритма Клифа-Лоримера, включая заданные оператором k-факторы, строилась диаграмма распределения химических элементов, выявленных при сканировании поверхности образца, значения выражались в процентах. Для оценки корреляций частоты поломок в зависимости от химического состава F2 проведен матричный анализ с расчетом коэффициента Пирсона.

Фотографирование осуществлялось с помощью стереомикроскопа Leica M205 C (Leica, Германия, 2007), который имеет программный модуль мультифокальной реконструкции, что дало возможность получить фотографии с большой глубиной фокуса.

Оценивалось качество эндодонтической обработки канала эндоблока, а также проводился морфометрический анализ режущих граней и области фрактуры никель-титанового инструмента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Максимальная пластическая деформация и разрушение суперфайла (Eurofile, Шеньжень, Китай) произошло на 20 эндоблоке, ультратейпера (Eurofile, Шеньжень, Китай) – на 10 эндоблоке, протейпера Universal (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария) – на 5 эндоблоке. Таким образом, процент поломок инструмента F2 протейперов Universal составил 20%, ультратейперов – 12%, суперфайлов – 4% от общего количества сломанных эндодонтических файлов, что совпадает с данными литературных источников [5, 13, 15].

Значение коэффициента Пирсона для никеля – 0,126 и титана 0,054 в области рабочей грани эндодонтического инструмента F2 указывает на линейную зависимость



Рис. 2. Линия фрактуры суперфайла. Ув. 2.

Fig. 2. Superfile's Fracture Line. Ext. 2.

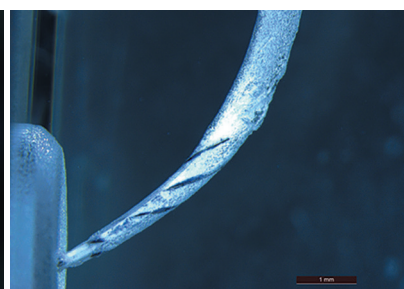


Рис. 3. Фрагмент верхушки инструмента суперфайл F2, заклиненного в процессе эндодонтической обработки.

Fig. 3. Fragment of the superfile F2 tool's tip jammed during the endodontic treatment.

от повышенной концентрации этих металлов на увеличение вероятности отлома кончика протейпера ($p < 0,05$). На диаграмме (Рис. 1) отражена корреляция химического состава вращающегося никель-титанового инструмента F2 от устойчивости к максимальной циклической нагрузке.

Суперфайл (Superfile, Eurofile, Шеньжень, Китай). На рисунке 2 представлен срез сломавшегося никель-титанового инструмента F2, после полученной циклической нагрузки, который геометрически представляет форму треугольника, видна неоднородная структура инструмента.

На рисунке 4 представлена поверхность ротационного никель-титанового инструмента имеет попереч-

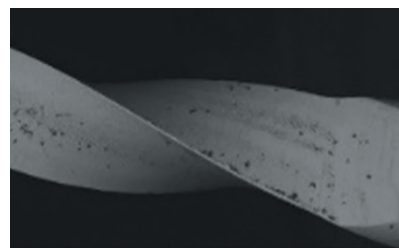


Рис. 4. Поверхность суперфайла F2. Ув. 60.

Fig. 4. Superfile's F2 surface. Ext. 60.

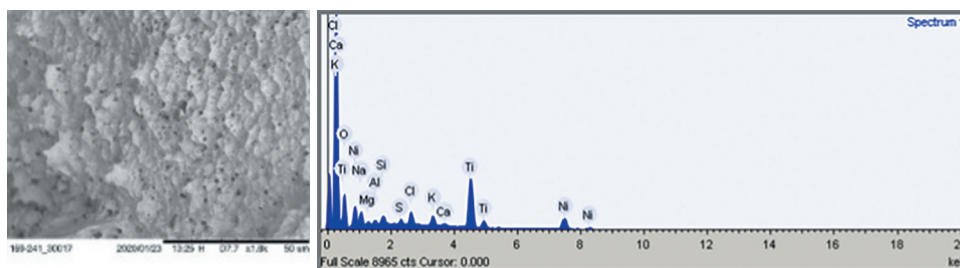


Рис. 5. Микроскопическая структура никель-титанового сплава. Ув. 1800.

Fig. 5. Microscopic structure of nickel-titanium alloy. Ext. 1800.

Таблица 1. Химический состав элементов режущего края суперфайла.

Table 1. Chemical composition of the elements of the superfile's cutting edge.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	22.485	0.311	52.982
Oxygen	4.678	0.272	8.275
Aluminum	0.352	0.034	0.369
Titanium	31.560	0.216	18.647
Nickel	40.925	0.288	19.728

Таблица 2. Химический состав глобул серого цвета в структуре суперфайла.

Table 2. Chemical composition of gray globules in the superfile's structure.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	2.134	0.239	8.848
Titanium	42.557	0.247	44.241
Nickel	55.309	0.267	46.911

Таблица 3. Химический состав включений в структуре суперфайла.

Table 3. Chemical composition of inclusions in the superfile's structure.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	8.644	0.373	29.543
Aluminum	0.255	0.054	0.388
Silicon	0.165	0.050	0.241
Titanium	39.578	0.256	33.919
Nickel	51.359	0.305	35.910

ную исчерченность, дефекты структуры в виде пор и углублений различной формы. Отлом произошел после максимальной циклической нагрузки при обработке 20 по счету эндоблока.

Микроскопически структура металла (Рис. 5) имеет форму серых глобул металла, размер которых примерно одинаков (1-5 мкм), между ними визуализируются полосы более светлого оттенка. Также видны включения примесей черного цвета.

Химический энергодисперсионный анализ поверхности отлома выявил высокое содержание титана 25% и никеля 20%, а также наличия атомов кислорода и примесей серы, фосфора, кальция, натрия в следовых количествах.

Анализ грани режущего никель-титанового инструмента выявил значительное содержание атомов углерода, обогащение которыми происходит в соответствии с методикойковки металла (таблица 1).

Анализ глобул серого цвета показал следующий результат 42,6% титана и 55,3 % никеля (таблица 2).

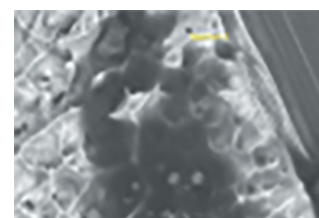


Рис. 6. Грань эндодонтического инструмента. Ув.4000.

Fig. 6. The facet of an endodontic instrument. Ext. 4000.

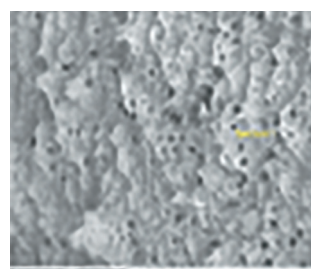


Рис. 7. Микроструктура никель-титанового инструмента. Ув.2000.

Fig. 7. Microstructure of nickel-titanium tools. Ext. 2000.

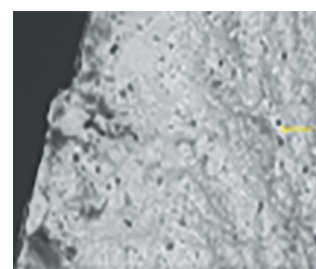


Рис. 8. Включения в структуру никель-титанового сплава. Ув.1000

Fig. 8. Inclusions in the structure of nickel-titanium alloy. Ext. 1000.



Рис. 9. Протейпер Universal F2. Ув.2

Fig. 9. Protaper Universal F2. Ext. 2.

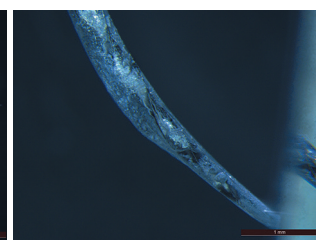


Рис. 10. Фрагмент протейпера Universal F2 в эндоблоке.

Fig. 10. Fragment of Universal F2 protaper in the endoblock.

Исследование включений показало, что они на 39,6% состоят из титана и на 51,4% – из никеля. В составе включений обнаружены атомы алюминия и кремния в следовых количествах (таблица 3).

Анализ из различных областей отлома поверхности инструмента выявил содержание никеля различное содержание никеля от 40 до 44% и титана от 31 до 34%.

На рисунке 11 видны дефекты поверхности, появившиеся после использования при эндодонтическом лечении, виде пор и отслоений поверхностного слоя. Также отмечается поперечная исчерченность рельефа наружного слоя металла.

На горизонтальном срезе (Рис. 12) наружный слой визуально отличается от внутреннего слоя большим содержанием пор и включений.

Вид режущей грани инструмента рисунке 13, выработавшего максимально возможно количество ротацион-

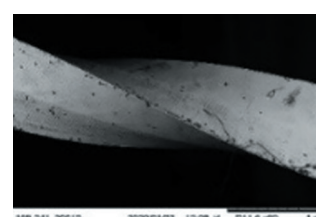


Рис. 11. Поверхность протейпера Universal F2 после использования. Ув.60.

Fig. 11. Surface of Protaper Universal F2 after use. Ext. 60.

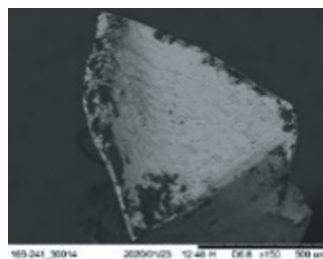


Рис. 12. Линия отлома протейпера Universal F2. Ув. 150.

Fig. 12. Break line of Protaper Universal F2. Ext. 150.

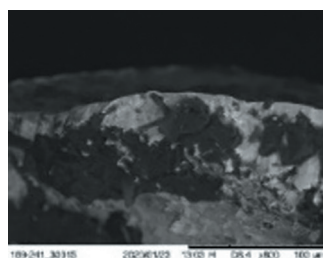


Рис. 13. Грань протейпера Universal F2. Ув. 800.

Fig. 13. Face of Protaper Universal F2. Ext. 800.

ных циклов и подвергшееся пластической деформации после обработки 5 по счету канала.

На рисунках 13 и 14 представлена различная структура слоёв инструмента. Далее проведен химический анализ границы между внутренним и наружным слоями. Отмечено содержание 33,7% титана и 43,4% никеля в наружном слое.

Анализ включений показал достаточно большой спектр химических элементов, что, безусловно, сказывается на устойчивости к циклическим нагрузкам. Вместе с тем, морфометрический анализ и различных точках поверхности фактуры инструмента показал неоднородность химической структуры с высоким содержанием никеля 50,4% и 39,3% титана (таблица 4).

Энергодисперсионный анализ данной поверхности указывает на высокое содержание никеля 42% и титана 57% в виде чистого сплава без примесей (таблица 5).

На рисунках 16, 17, 18 представлен ротационный никель-титановый ультратейпер F2. В области фактуры инструмента имеет треугольную форму сечения.

Микроскопически на рисунке 19 выявляются множественные дефекты рабочей поверхности инструмента, фактура произошла после максимальной циклической нагрузки при обработке по счету 10 канала.

Микроскопически на месте фактуры видны полосы металлов белого и серого цветов, глобулы отсутствуют, визуализируются включения черного цвета.

На рисунках 19 и 20 отражена структура инструмента из никель-титанового сплава, проведен химический энергодисперсионный анализ различных участков на линии отлома (таб.6).

Выявлена неравномерность распределения атомов титана и никеля, а также широкий спектр химических элементов в области включений: углерод, кислород, алюминий, кремний, сера, кальций, железо и цинк (таблица 7).

Вместе с тем области, прилегающие к включениям, содержат достаточное количество титана 42,2% и 51,9% никеля.

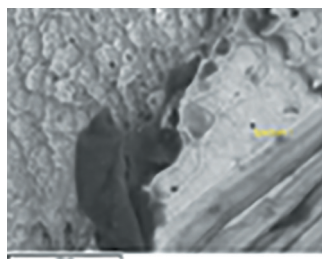


Рис. 14. Граница внутреннего и наружного слоёв инструмента. Ув. 4000.

Fig. 14. Boundary of the tool's inner and outer layers. Ext. 4000.

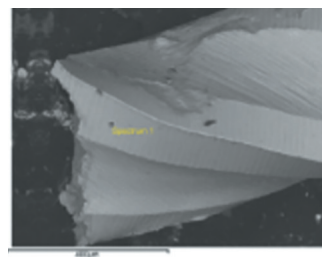
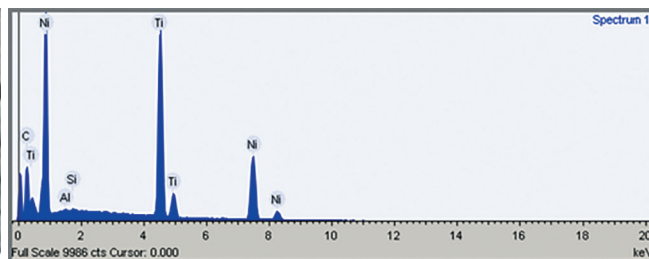


Рис. 15. Боковая грань фрагмента протейпера Universal. Ув. 150.

Fig. 15. The side face of Universal Protaper's fragment. Ext. 150.



Рис. 16. Ультратейпер F2. Ув. 2.

Fig. 16. Ultrataper F2. Ext. 2.

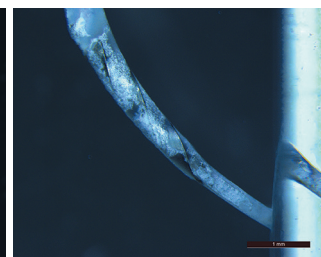


Рис. 17. Фрагмент ультратейпера F2 в эндблоке.

Fig. 17. Fragment of Ultrataper F2 in the endblock.

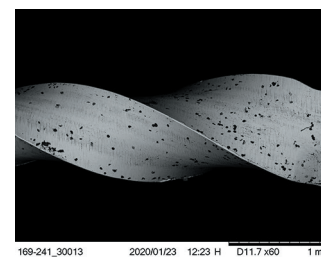


Рис. 18. Макроструктура витков ультратейпера F2. Ув. 60.

Fig. 18. Macrostructure of Ultrataper F2. Ext. 60.

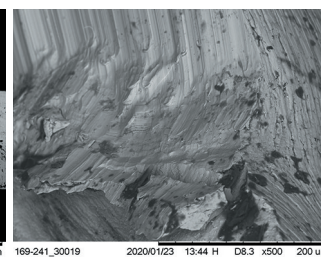


Рис. 19. Рабочая поверхности грани ультратейпера F2. Ув. 500.

Fig. 19. The working surface of the face of Ultrataper F2. Ext. 500.

Таблица 4. Химический состав центральной части протейпера Universal.

Table 4. Chemical composition of the central part of Protaper Universal.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	9.629	0.413	32.007
Aluminum	0.409	0.062	0.605
Silicon	0.251	0.056	0.357
Titanium	39.275	0.303	32.734
Nickel	50.436	0.359	34.297

Таблица 5. Химический состав периферической части протейпера Universal.

Table 5. Chemical composition of the peripheral part of Protaper Universal.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Titanium	42.907	0.533	47.947
Nickel	57.093	0.533	52.053

Таблица 6. Химический состав периферической части ультратейпера.

Table 6. Chemical composition of the peripheral part of Ultrataper.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	6.432	0.318	23.438
Titanium	40.447	0.236	36.959
Nickel	53.121	0.274	39.602

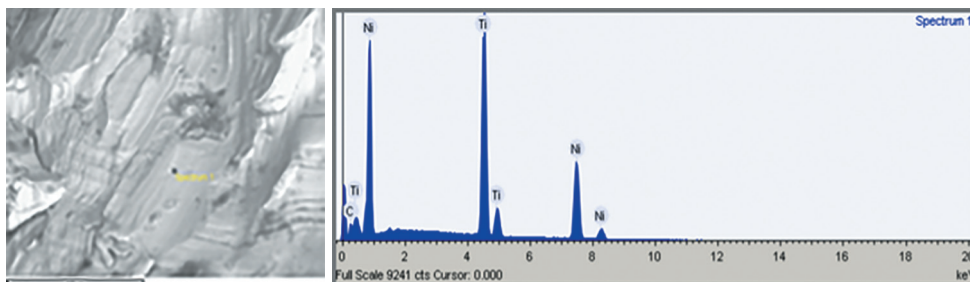


Рис. 20. Структура ультратейпера F2. Ув. 2000.

Fig. 20. Ultrataper F2 structure. Ext. 2000.

Таблица 7. Химический состав центральной части ультратейпера, прилегающий к включениям.

Table 7. Chemical composition of the central part of Ultrataper adjacent to the inclusions.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	5.500	0.394	20.456
Aluminum	0.234	0.063	0.387
Silicon	0.228	0.061	0.363
Titanium	42.145	0.316	39.307
Nickel	51.894	0.355	39.488

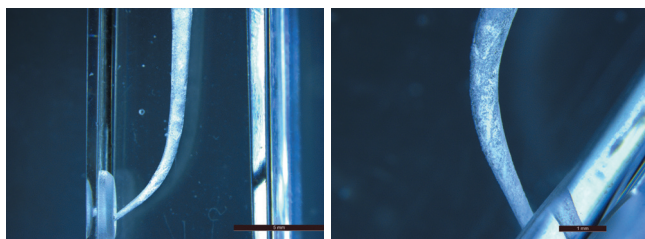


Рис. 22. Эндоблок, обработанный суперфайлами.

Fig. 22. Endoblock treated with superfiles.

Качество эндодонтической обработки каналов эндоблоков различными вращающимися никель-титановыми инструментами сопоставимо между собой, показано на рисунках 21, 22, 23 и отвечает заданным критериям.

ОБСУЖДЕНИЕ

По данным различных литературных источников, инструменты из никель-титанового сплава с содержанием 55% титана и 60% никеля изготавливают фрезерованием, поскольку невозможно добиться перманентной деформации путем кручения [2].

Важными свойствами никель-титановых сплавов являются низкий изгибающий момент, обеспечивающий высокую гибкость инструментов, и низкий модуль эластичности, выражающийся в «эффекте памяти формы» [3, 4].

Выбор инструмента для данного исследования обусловлен высокой популярностью у практикующих врачей на клиническом приеме [12]. Появление никель-титанового сплава в эндодонтии значительно расширило возможности механической обработки канала гибким инструментом с памятью формы [11,15]. Однако, по данным литературы различных источников, риски возникновения осложнений при использовании данных инструментов составляют от 3 до 20% [3, 5, 6, 7]. В ранее проведенных исследованиях [1, 9] выявлен большой

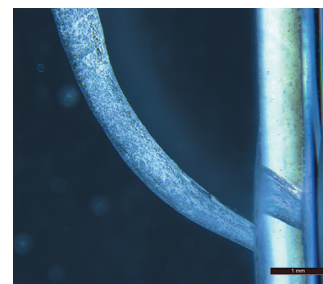


Рис. 21. Эндоблок, обработанный ультратейперами.

Fig. 21. Endoblock treated with ultratapers.

процент фрактур 12-40 % при использовании протейперов. При этом выявлено высокое качество эндодонтической обработки канала в эндоблоке.

В данном исследовании показано, что эндодонтические ротационные инструменты имеют различный химический состав [13,14]. Неоднородность сплава, в особенности, присутствие включений повышает риск появления зон хрупкости в металле.

Так, у протейперов Universal (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария) максимальное содержание чистого никель-титанового (никеля 42% и титана 57%) сплава концентрируется по периферии инструмента в области рабочих режущих граней, центральная часть инструмента представлена в 2 раза меньшим процентным содержанием этих элементов. Известно, что пластические деформационные процессы идут от периферии к центру [3], однако, сопротивление к торсионной нагрузке снижено, что приводит к перелому инструмента в области изгиба канала.

Суперфайл (Superfile, Eurofile, Шеньчжень, Китай) также имеет неоднородное распределение элементов по поверхности среза, включения представлены: натрием, магнием, алюминием, кремнием, серой, хлором, калием и кальцием. При этом статистической разницы в концентрациях никеля и титана по линии фрактуры выявлено не было.

Ультратейпер (Ultrataper, Eurofile, Шеньчжень, Китай) имеет принципиально другое строение металла – в виде слоев различных металлов. Включения в сплав различных атомов: алюминия, серы, кальций, цинка, железа, кремния присутствуют в следовых количествах. Анализ распределения атомов никеля и титана по поверхности линии отлома не выявил статистической разницы в концентрациях.

Выявленное среднее процентное содержание титана и никеля в исследуемых образцах: суперфайл (Superfile, Eurofile, Шеньчжень, Китай) – 38% и 50%, протейпер Universal (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария) – 36% и 46%, ультратейпер (Ultrataper, Eurofile, Шеньчжень, Китай) – 41% и 52% соответственно, показывает, что имеются отличия в пределах погрешности метода.

ВЫВОДЫ

1. Проведенный морфометрический анализ выявил разность структуры сплава металлов протейперов F2 при сопоставимом между собой содержании никеля (46-52%) и титана (38-41%).
2. Содержание чистого никель-титанового сплава по периферии эндодонтического инструмента в протейперах Universal (PTu, Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Швейцария) обеспечивают высокую режущую способность граней. Более однородная структура

- ультратейпера (Ultrataper Eurofile, Шеньчжень, Китай) и суперфайла, (Superfile, Eurofile, Шеньчжень, Китай) возможно, придает большую устойчивость к циклическим нагрузкам.
3. Полученные данные о различной устойчивости к циклическим нагрузкам протейперов F2 необходимо

учитывать при эндодонтическом лечении многокорневых зубов.

4. Анализ структуры никель-титанового сплава указывает на предопределённость развития фактуры инструмента при длительном использовании и необходимости учёта циклов работы эндодонтического ротационного инструмента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Скрыбина А, Эрцинь Ю. Сравнительная характеристика стабильности к циклическим нагрузкам Protaper universal, superfile и ultrataper. Материалы 93-й Всероссийской научно-практической студенческой конференции с международным участием. Министерство здравоохранения Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования, Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова. Санкт-Петербург: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова; 2020:489.

2. Манак Т.Н., Девятникова В.Г. Экспериментальное исследование физико-механических свойств никель-титановых роторных эндодонтических инструментов. Актуальные вопросы профилактики, диагностики и лечения стоматологических заболеваний: сб. науч. тр. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 20-летию 2-й каф. тер. стоматологии УО «Белорус. гос. мед. ун-т» и юбилею проф. Леуса П. А., Минск: Белорусский государственный медицинский университет; 2018: 91-95.

3. Митронин А, Останина Д, Митронин Ю. Морфометрический анализ рабочих поверхностей инструментов группы после препарирования канала. Эндодонтия Today. 2019;17(2):9-16.

4. Невструев К.А. Оценка "усталости" никель-титановых инструментов в процессе работы Державинский форум. 2019; 3(12):187-197.

5. Никель-титановый инструмент V поколения – инновационный подход к механической обработке корневых каналов, клинические возможности, протокол работы и сравнительная характеристика инструмента (клинический обзор) Шумилов Б.Р., Ростовцев В.В., Адунц Л.М., Селин Р.В. Успехи современной науки. 2017;1(6):67-74.

6. Собкина, Н.А. Анализ качества препарирования корневых каналов зубов эндодонтическими инструментами системы ProTaper, Российская стоматология. 2018;3:49-52.

REFERENCES:

1. A. Skriabina. Comparative characteristics of resistance to cyclic loads. Protaper universal, superfile and ultrataper Mechnikov Readings 2020. Materials of the 93rd All-Russian Scientific and Practical Student Conference with international participation, St. Petersburg, April 29-30, 2020 / Ministry of Health of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Northwestern State Medical University named after I.I. Mechnikov. St. Petersburg: I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University; 2020: 489.

2. T.N. Manak, V.G. Devyatnikova. Experimental study of physical and mechanical properties of nickel-titanium rotary endodontic instruments. Topical issues of prevention, diagnosis and treatment of dental diseases. Collection of scientific papers of the Republican Scientific and Practical conference with international participation dedicated to the 20th anniversary of the 2nd Department of Therapeutic Dentistry of the Belarussian State Medical University and Professor Peter A. Leus's anniversary. Under the general editorship of T.N. Manak, L.G. Borisenko. 2018. P. 91-95.

3. A.V. Mitronin, Yu.A. Ostanina, Yu.A. Mitronin. Morphometric analysis of the working surface of the group instruments after dissection of the root canal of Endodontia Today, 2019;17(2):9-16.

4. K.A. Nevstryev. Assessment of the "fatigue" of nickel-titanium tools during operation. Derzhavinsky Forum, 2019; 3(12):187-197.

5. Nickel-titanium instrument of the 5th Generation – an innovative approach to the mechanical treatment of root canals, clinical capabilities, work protocol and comparative characteristics of the instrument (clinical review). B.R. Shumilovich, V.V. Rostovtsev, L.M. Adunts, R.V. Selin. Success of modern science. 2017;1(6):67-74.

6. N.A. Sobkina. Analysis of the quality of preparation of root canals of teeth with endodontic instruments of the ProTaper system Russian dentistry. 2018;3:49-52.

7. A.S. Topunova. The experience of using rotating tools [Text] / A.S. Topunova // Bulletin of the Council of Young scientists and Specialists of the Chelyabinsk region. 2017;3(18):183-187.

8. V.E. Statkevich. Comparative characteristics of methods of instrumental treatment of the root canal. Trends of the development of science and education. 2018;45(7):56-57.

7. Topunova, A.S. Опыт применения вращающихся инструментов. Вестник совета молодых учёных и специалистов челябинской области. 2017;3(18):183-187.

8. Статкевич В.Э. Сравнительная характеристика методов инструментальной обработки корневого канала. Тенденция развития науки и образования. 2018;45(7):56-57.

9. Падерина Т.О. Анализ структурных особенностей Ni-Ti инструментов после их фактуры. 93-я Всероссийская научно-практическая студенческая конференция с международным участием. Санкт-Петербург: Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова; 2020:470

10. Zafar MS. Impact of Endodontic Instrumentation on Surface Roughness of Various Nickel-Titanium Rotary Files. Eur J Dent. 2021 May;15(2):273-280.

11. Barbara Müller. The advent of the nickel-titanium alloy in endodontics has significantly expanded the possibilities of machining the canal with a flexible instrument with shape memory. Dental Tribune. May 24, 2016.

12. T Stefanescu. Ni-Ti Rotary instrument fracture analysis after clinical use. Structure changes in used instruments. Environmental Engineering and Management Journal. 2016; 15(5):981-988.

13. Gu Y, Kum KY, Perinpanayagam H, Kim C, Kum DJ, Lim SM, Chang SW, Baek SH, Zhu Q, Yoo YJ. Various heat-treated nickel-titanium rotary instruments evaluated in S-shaped simulated resin canals. J Dent Sci. 2017 Mar;12(1):14-20. doi: 10.1016/j.jds.2016.04.006

14. Gutmann JL, Gao Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. Int Endod J. 2012 Feb;45(2):113-28. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01957.x.

15. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. Int Endod J. 2018 Oct;51(10):1088-1103. doi: 10.1111/iej.12924.

9. Analysis of structural features of ni-ti instruments after their fracturing. T.O. Paderina. Book: Mechnikov Readings-2020. Materials of the 93rd All-Russian Scientific and Practical Student Conference with international participation. Ministry of Health of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, the Northwestern State Medical University named after I.I. Mechnikov. 2020:470.

10. Zafar MS. Impact of Endodontic Instrumentation on Surface Roughness of Various Nickel-Titanium Rotary Files. Eur J Dent. 2021 May;15(2):273-280.

11. Barbara Müller. The advent of the nickel-titanium alloy in endodontics has significantly expanded the possibilities of machining the canal with a flexible instrument with shape memory. Dental Tribune. May 24, 2016.

12. Ni-Ti Rotary instrument fracture analysis after clinical use. Structure changes in used instruments, T Stefanescu, April 2016, Environmental Engineering and Management Journal 15(5):981-988. Various heat-treated nickel-titanium rotary instruments evaluated in S-shaped simulated resin canals

13. Gu Y, Kum KY, Perinpanayagam H, Kim C, Kum DJ, Lim SM, Chang SW, Baek SH, Zhu Q, Yoo YJ. Various heat-treated nickel-titanium rotary instruments evaluated in S-shaped simulated resin canals. J Dent Sci. 2017 Mar;12(1):14-20. doi: 10.1016/j.jds.2016.04.006

14. Gutmann JL, Gao Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. Int Endod J. 2012 Feb;45(2):113-28. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01957.x.

15. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. Int Endod J. 2018 Oct;51(10):1088-1103. doi: 10.1111/iej.12924.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Домбровская Ю.А.*¹ – к.м.н., доцент кафедры стоматологии общей практики, ORCID ID: 0000-0001-7715-1008.

*Падерина Т.О.*¹ – ординатор кафедры стоматологии общей практики, ORCID ID: 0000-0003-3421-2709.

*Бенкен К.А.*² – ведущий специалист образовательного центра микроскопии и микроанализа, ORCID ID: 0000-0003-1108-4652.

*Лубская Е.Ю.*¹ – ассистент кафедры стоматологии общей практики, ORCID ID: 0000-0003-4193-0346.

*Силин А.В.*¹ – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой стоматологии общей практики, ORCID ID: 0000-0002-3533-5615.

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 191015, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41.

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9.

AUTHOR INFORMATION:

*Yulia A. Dombrovskaya*¹ – PhD, Associate professor of the Department of General Practice Dentistry, ORCID ID: 0000-0001-7715-1008.

*Tatiana.O. Paderina*¹ – resident student of the Department of Dentistry of General Practice, ORCID ID: 0000-0003-3421-2709.

*Konstantin A. Benken*² – leading specialist of the educational center for microscopy and microanalysis, ORCID ID: 0000-0003-1108-4652.

*Ekaterina Yu. Lubskaya*¹ – Assistant of the Department of Dentistry of General Practice, ORCID ID: 0000-0003-4193-0346.

*Alexei V. Silin*¹ – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of General Practice Dentistry, ORCID ID: 0000-0002-3533-5615.

¹Mechnikov St. Petersburg State Medical Academy. 41 Kirochnaya st, Saint-Petersburg, 191015, Russia.

²Saint-Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya emb., Saint-Petersburg, 199034, Russia.

ВКЛАД АВТОРОВ:

Домбровская Ю.А. – существенный вклад в замысел и дизайн исследования.

Падерина Т.О. – сбор данных или анализ и интерпретацию данных.

Бенкен К.А. – сбор данных или анализ и интерпретацию данных.

Лубская Е.Ю. – подготовка статьи или ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания.

Силин А.В. – существенный вклад в замысел и окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

AUTHOR'S CONTRIBUTION:

Yulia A. Dombrovskaya – has made a substantial contribution to the concept and design of the article.

Tatiana.O. Paderina – the acquisition, analysis, or interpretation of data for the article.

Konstantin A. Benken – the acquisition, analysis, or interpretation of data for the article.

Ekaterina Yu. Lubskaya – drafted the article or revised it critically for important intellectual content.

Alexei V. Silin – has made a substantial contribution to the concept and approved the version to be published.

Координаты для связи с авторами / Coordinates for communication with authors:

Домбровская Ю.А. / Yulia A. Dombrovskaya, E-mail: j_dombrowskaja@mail.ru