



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
МЕДИЦИНСКИ ФАКУЛТЕТ



НЕНАД М. СТОШИЋ

**Евалуација ефикасности ротирајућих никл-
титанијумских инструмената у препарацији
канала коренова зуба комплексне морфологије**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ниш, 2023



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF MEDICINE



NENAD M. STOŠIĆ

**Evaluation of Efficiency of Rotary Nickel-
Titanium Instruments in Preparation of Tooth Root
Canals With Complex Morphology**

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2023

Подаци о докторској дисертацији:

Ментор:

Доц. др Јелена Поповић, Медицински факултет Универзитета у Нишу

Наслов:

Евалуација ефикасности ротирајућих никл-титанијумских инструмената у препарацији канала коренова зуба комплексне морфологије

Резиме:

Због високе флексибилности и сечивне ефикасности, као и очувања природне форме канала корена, ротирајући ендодонтски инструменти од никл-титанијума представљају инструменте избора у ендодонтском третману. Међутим, изненадна фрактура током препарације представља једну од тежих компликација која је најчешће последица појаве цикличног замора. Циљ истраживања је био да се провери и упореди сечивна ефикасност, отпорност на циклични замор и фрактуру приликом обраде каналних система различитим никл-титанијумским инструментима у различитим угловима закривљености, и у условима изложености средствима за дезинфекцију и циклусима стерилизације. У студији је испитано шест типова ротирајућих ендодонтских инструмената, конвенционални ProTaper Universal и третирани BioRace, ProTaper Next, Twisted File, HyFlex CM и WaveOne Gold инструменти нових генерација. Испитивање сечивне ефикасности и квалитета обраде код различитих типова инструмената извршено је СЕМ анализом дентинске површине пре и после уклањања размазног слоја. Испитивање ефикасности и цикличног замора различитих типова ендодонтских инструмената извршено је у артифицијелним каналима различитих углова и радијуса повијености. Електрохемијско испитивање осетљивости на корозију извршено је потенциодинамичком методом након чега је извршена СЕМ анализа површине као и тест цикличног замора. Инструменти су стерилисани у аутоклаву на 1, 3, и 5 циклуса стерилизације након чега је вршена СЕМ анализа и тест цикличног замора. Најефикасније чишћење дентинске површине канала корена је показао WaveOne Gold. Код HyFlex CM групе инструмената је доказан највећи коефицијент отпорности на циклични замор. Највећа отпорност на корозионо дејство NaOCl је уочена код инструмената WaveOne Gold. Доказано је да је корозија имала значајан утицај на смањење отпорности на циклични замор код свих група инструмената. Позитиван утицај стерилизације у аутоклаву на повећање отпорности на циклични замор уочен је код нових генерација инструмената. Резултати су показали да третирани инструменти нових генерација имају утицаја на бољу обраду

дентина канала корена, као и да показују већу отпорност на циклични замор, на дејство иригационих раствора и стерилизацију у аутоклаву.

Научна област:

Стоматологија

Научна
дисциплина:

Болести зуба и ендодонција

Кључне речи:

канал корена, дентин, ендодонтски инструменти, никл-титанијум, циклични замор, стерилизација, корозија

UDK:

616.314-16:615.471(043.3)

CERIF
класификација:

B730

Тип лиценце
Креативне
заједнице:

CC BY-NC-ND

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral
Supervisor:

Doc. dr Jelena Popović, DMD, PhD, Medical Faculty,
University of Niš

Title:

Evaluation of Efficiency of Rotary Nickel-Titanium Instruments in
Preparation of Tooth Root Canals With Complex Morphology

Abstract:

Due to the high flexibility and cutting efficiency, as well as the preservation of the initial form of the root canal, rotary nickel-titanium endodontic instruments are the instruments of choice in endodontic treatment. However, a sudden fracture during preparation is one of the more serious complications, which is most often the result of cyclic fatigue. The aim of the research was to analyse and compare cutting efficiency, resistance to cyclic fatigue and fracture during root canal treatment with different nickel-titanium instruments at different angles of curvature, and under conditions of exposure to disinfectants and sterilization cycles. The study examined six types of rotating endodontic instruments, conventional ProTaper Universal and treated BioRace, ProTaper Next, Twisted File, HyFlex CM and WaveOne Gold instruments of new generations. Examination of cutting efficiency was performed by SEM analysis of the dentine surface before and after removal of the smear layer. Testing the efficiency and cyclic fatigue was performed in artificial canals with different bend angles and radii. Electrochemical testing of corrosion sensitivity was performed using the potentiodynamic method. The instruments were sterilized in an autoclave for 1, 3, and 5 sterilization cycles, after which SEM analysis and a cyclic fatigue test were performed. The most effective cleaning of the dentine surface was demonstrated by WaveOne Gold. HyFlex CM group of instruments has proven the highest coefficient of resistance to cyclic fatigue. The highest resistance to the corrosion effect of NaOCl was observed in WaveOne Gold instruments. It was proven that corrosion had a significant effect on the reduction of cyclic fatigue resistance in all groups of instruments. The positive influence of autoclave sterilization on increasing resistance to cyclic fatigue was observed in new generations of instruments. The results showed that the treated instruments have an impact on the better influence to the dentin of the root canal, as well as that they show greater resistance to cyclic fatigue, to the action of irrigation solutions and sterilization in an autoclave.

Scientific
Field:

Dentistry

Scientific
Discipline:
Key Words:

Restorative Dentistry and Endodontics
root canal, dentin, endodontic instruments, nickel-titanium, cyclic fatigue, sterilization, corrosion

UDC:

616.314-16:615.471(043.3)

CERIF
Classification:

B730

Creative
Commons
License
Type:

CC BY-NC-ND

Захвалница

Докторска дисертација је реализована под менторством доц. др Јелене Поповић којој дугујем велику захвалност на указаном поверењу, стрпљењу и конструктивној помоћи, која ми је увек уносила сигурност, враћала осмех на лице подршком, знањем, а пре свега показала шта је бити врхунски стручњак како у послу, тако и у породици.

Захвалан сам проф. др Александру Митићу, проф. др Славољубу Живковићу и доц. др Кости Тодоровићу на директном и несебичном посматрању мог рада али и мог развоја као будућег стручњака њиховог ранга.

С обзиром на то да је живот једно велико истраживање, неко се погуби у том истраживању, али сам имао среће да у овом научном истраживању учествује и доц. др Душан Петковић са Машинског факултета у Нишу, коме се захваљујем на стрпљењу и помоћи.

Такође, захвалност дугујем Мирославу Миљковићу запосленом у Научно истраживачком центру за биомедицину, Медицински факултет у Нишу, на несебичној помоћи у лабораторијском раду.

Задовољство ми је што могу да истакнем значај подршке матичног колектива на Одељењу за болести зуба и ендодонцију Клинике за денталну медицину у Нишу, током моје досадашње професионалне каријере. Захваљујем се свим колегама, колегиницама запосленим на Клиници за денталну медицину.

Наравно увек је породица та која нам даје крила, али их и сече немилим догађајима и које остају у нама као имплант. Осмех се врати када чврсто станемо на нови степенник живота. Живота своје породице, супруге и ћерке, које су ми дале и вратиле смисао и професионалном животу, на чему сам им неизмерно захвалан.

Бескрајну захвалност на истински безрезервној подршци и пожртвованости, љубави и стрпљењу дугујем свом брату, оцу и мајци којој овај рад и посвећујем.

Докторска дисертација је део резултата научноистраживачког пројекта са Медицинског факултета Универзитета у Нишу, који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (451-03-68/2022-14/200113)

САДРЖАЈ:

1. УВОД.....	14
2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ	17
2.1 АНАТОМСКЕ И МОРФОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КАНАЛА КОРЕНА	18
2.2 ЕНДОДОНТСКИ ИНСТРУМЕНТИ - ИСТОРИЈАТ	19
2.2.1 Ендодонтски инструменти и њихова стандардизација.....	21
2.2.2 Основни облици ручних ендодонтских инструмената	22
2.3.3 Модификација основних типова инструмената	23
2.3 ИНСТРУМЕНТИ ОД НИКЛ ТИТАНИЈУМА.....	25
2.3.1 Легура никл-титанијума	25
2.3.2 Процес производње и побољшана површинска обрада инструмента.....	27
2.3.3 Дизајн ротирајућих каналних инструмента	34
2.4 МАШИНСКА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА КАНАЛА КОРЕНА	36
2.5 КОРОЗИЈА	38
2.6 ТРОШЕЊЕ	39
2.7 ФРАКТУРА РОТИРАЈУЋИХ НИТИ КАНАЛНИХ ИНСТРУМЕНТА	40
2.8 ФАКТОРИ КОЈИ ДОВОДЕ ДО ПРЕЛОМА.....	42
2.8.1 Искуство оператера.....	42
2.8.2 Техника инструментације	42
2.8.3 Динамика употребе инструмента	43
2.8.3.1 Обртни момент	43
2.8.3.2 Брзина	43
2.8.3.3 Манипулација инструментом	44
2.8.4 Број употреба	44

2.8.5	Анатомска конфигурација канала корена	45
2.8.6	Металургија (процес производње)	46
2.8.7	Дизајн инструмента	46
2.8.8	Утицај ириганаса.....	46
2.8.9	Утицај стерилизације	47
3.	ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА	48
4.	МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ	50
4.1	ИНСТРУМЕНТИ.....	51
4.2	ИСПИТИВАЊЕ СЕЧИВНЕ ЕФИКАСНОСТИ РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА.....	51
4.3	СЕМ АНАЛИЗА	53
4.4	ТЕСТ ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА	54
4.5	ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКО ИСПИТИВАЊЕ КОРОЗИЈЕ ЕНДОДОНТСКИХ ИНСТРУМЕНАТА.....	55
4.6	ИСПИТИВАЊЕ УТИЦАЈА СТЕРИЛИЗАЦИЈЕ У АУТОКЛАВУ НА УЛТРАСТРУКТУРУ И ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР КОД NiTi ИНСТРУМЕНАТА	57
4.7	СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА.....	57
4.8	ИНСТИТУЦИЈЕ У КОЈИМА ЈЕ ОБАВЉЕНО ИСТРАЖИВАЊЕ	58
5.	РЕЗУЛТАТИ.....	59
5.1	УЛТРАСТРУКТУРНА АНАЛИЗА ДЕНТИНА КАНАЛА КОРЕНА ЗУБА НАКОН МЕХАНИЧКЕ ОБРАДЕ ПРЕ И ПОСЛЕ ЗАВРШНЕ ИРИГЦИЈЕ.....	60
5.2	РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА НЕТРЕТИРАНИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА.....	64

5.2.1	Резултати вредности цикличног замора добијени тестирањем инструмената у каналу угла закривљености од 45°	64
5.2.2	Резултати вредности цикличног замора добијени тестирањем инструмената у каналу угла закривљености од 60°	66
5.3	СКЕНИНГ ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА.....	69
5.4	РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА УТИЦАЈА СТЕРИЛИЗАЦИЈЕ НА ПОЈАВУ ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА КОД РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА	71
5.4.1	Резултати вредности цикличног замора након тестирања стерилисаних инструмената у каналу са углом закривљености од 45°	71
5.4.2	Резултати вредности цикличног замора након тестирања стерилисаних инструмената у каналу са углом закривљености од 60°	78
5.5	СКЕНИНГ ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА НАКОН ПРОЦЕСА СТЕРИЛИЗАЦИЈЕ И ТЕСТА ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА	87
5.6	РЕЗУЛТАТИ ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКОГ ИСПИТИВАЊА РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА.....	90
5.7	РЕЗУЛТАТИ УТИЦАЈА КОРОЗИОНОГ ДЕЛОВАЊА НАТРИЈУМ ХИПОХЛОРИТА НА ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА.....	93
5.7.1	Резултати испитивања цикличног замора након тестирања у каналу са углом закривљености од 45°	93
5.7.2	Резултати испитивања цикличног замора након тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60°	95
5.8	СКЕНИНГ ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА НАКОН ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКОГ ИСПИТИВАЊА КОРОЗИОНОГ ДЕЈСТВА НАТРИЈУМ ХИПОХЛОРИТА И ТЕСТА ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА.....	98

6. ДИСКУСИЈА.....	100
6.1 ЕВАЛУАЦИЈА ЕФИКАСНОСТИ ОБРАДЕ ДЕНТИНА КАНАЛА КОРЕНА РАЗЛИЧИТИМ ТИПОВИМА РОТИРАЈУЋИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА.....	101
6.2 ОТПОРНОСТ НА ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР КОД РАЗЛИЧИТИХ ТИПОВА РОТИРАЈУЋИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА	106
6.3 ОТПОРНОСТ НА ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР КОД РОТИРАЈУЋИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА ПОДВРГНУТИМ ПРОЦЕСИМА СТЕРИЛИЗАЦИЈЕ	112
6.4 ОТПОРНОСТ НА ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР КОД РОТИРАЈУЋИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА ПОДВРГНУТИМ ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКИМ ИСПИТИВАЊИМА	117
7. ЗАКЉУЧЦИ	123
ЛИТЕРАТУРА	126
ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ.....	154
ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ.....	155
ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ	156
БИОГРАФИЈА.....	157

1. УВОД

У корак са напретком стоматологије као науке и праксе у целини, развија се ендодонција. Ендодонција представља грану стоматологије која се бави проучавањем облика, функције и здравља, односно повреда и обољења зубне пулпе и периапексне регије, њиховом превенцијом и лечењем - Европско удружење ендодонтологије. Пратећи технолошка достигнућа у свим сферама, прилагођава се савременим захтевима и изазовима на које наилази. Њени основни принципи базирају се на доброј и правилној дијагностици оболелих зуба, одговарајућим индикацијама, као и на адекватном избору ендодонтског терапијског поступка. Ово омогућава ендодонту да изабере најприкладнију опцију лечења, омогућавајући очување и дуговечност зуба и околних ткива.

Кроз историју стоматологије, постоји усаглашеност мишљења већине лекара да лечење канала корена и успех истог зависи, пре свега, од одсуства болова и других клиничких симптома, односно очуваности функције ендодонтски леченог зуба. Неуспех ендодонтског лечења подразумева постојање расветљења овалног или округлог облика у пределу врха корена зуба које раније није постојало, или је присутно је перзистирање истог расветљења као и његово увећање након предузете примарне ендодонтске терапије. Ослањајући се и на бројна истраживања најчешће разлоге неуспеха можемо наћи у неадекватној контроли асептичних услова рада али и неправилном извођењу активне фазе лечења зуба са инфицираним или неинфицираним каналима корена зуба. Не смемо умањити значај чињенице да до неуспеха може доћи и када је ендодонтска терапија коректно вођена. Узрок томе стоји у комплексности каналног система и постојању бочних канала и рамификација које се не могу адекватно обрадити нити оптурисати постојећим инструментима, материјалима и техникама. Латералне рамификације могу садржати бактерије и некротично ткиво чак и онда када се чини да је оптурација канала радиографски коректна.

У почетку су се за препарацију канала корена и његово обликовање, користиле турпије од нерђајућег челика које су имале бројне недостатке попут слабе флексибилности и неадекватности обраде закривљених канала корена. Присуство неинструментисаних зона у каналу представљају место где се задржавају бактерије и на тај начин ендодонтско лечење може бити компромитовано. Такође, велики проблем се јавља када се припремају закривљени канали, и када стандардни инструменти од нерђајућег челика нису успешни у

очувању постојећег облика. У новије време уведени су инструменти од легуре НиТи које су се показале бољим од нерђајућег челика, својом већом флексибилношћу и ефикасношћу у припреми канала корена. Међутим, они и даље имају своје слабости које захтевају боље усавршавање. Како је ручно обликовање канала напорно и захтева доста времена, увођење машинских каналних инструмената имало је за циљ да олакша и убрза инструментацију канала, уштеди време и труд стоматолога. Поред свих својих предности, изненадни прелом инструмента без претходних знакова упозорења представља највећи проблем и једна је од тежих компликација у току ендодонтске терапије.

Инструменти за машинску обраду канала могу бити са једносмерним или двосмерним (наизменичним) ротацијама. Постоји широк дијапазон у избору доступних инструмента на тржишту, како би се омогућила адекватна припрема канала корена, али и ограничених доказа који помажу у њиховом одабиру. Такође, није јасно који системи турпија су тренутно доступни, између осталог лаких за употребу односно руковање било од стране почетника или искусних клиничара, а ради постизања одличних резултата у разумном времену и без икаквих или уз минималне грешке.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1 АНАТОМСКЕ И МОРФОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КАНАЛА КОРЕНА

По познавање морфолошких карактеристика зуба је од изузетне клиничке важности. Неопходно је да се пре сваког ендодонтског третмана процени морфологија корена зуба и каналног система као и његове могуће варијације, пре свега како би се избегле компликације, а самим тим и неуспешан исход ендодонтског поступка. Добра спознаја спољашње морфологије зуба је веома важна, како због склоности одређених група зуба за појаву и развој кариозних и некариозних обољења, тако и због успешне рестаурације у функционалном и естетском смислу. Унутрашња морфологија кавума пулпе прати спољашњу морфологију крунице и корена зуба и значајна је за патологију која се јавља на ткиву пулпе и пародонта (Vertucci, 2005).

Доста је студија спроведено са циљем опсежног спознавања морфологије корена канала коришћењем различитих метода, почев од радиографије (Willershausen и остали, 2006), чишћења и декалцификације (Vertucci, 2005), до сечења и макроскопског посматрања (Lu и остали, 2006), као и компјутеризоване томографије (Reuben и остали, 2008).

Анатомија канала корена одређена је различитим факторима попут физиолошког фактора, оклузије и патологије, који доводе до производње, како секундарног, тако и терцијарног дентина, али и цемента (Vertucci, 2005).

Стална апозиција секундарног дентина током старења организма доводи до смањења простора у каналу корена и самим тим утиче на исход ендодонтског третмана, односно може учинити процедуру изазовнијом и тешком (Goldberg и остали, 2011). Такође, његово депоновање на улазу у канал корена отежава проналажење његове локације, што даље веома често условљава и настанак *fausse route*.

Сагласност стручњака је извесна када је реч о идеалној препарацији канала корена. Идеална препарација представља ону у којој се оригинална морфологија канала одржава током биомеханичког чишћења, ширења и обликовања од короналног ка апикалном делу и очувањем апикалног форамена (Estrela и остали, 2008; Peters, 2004). Међутим, идеална препарација канала корена није увек могућа због сложености анатомије канала корена. Биомеханичка припрема различитих закривљености канала у каналима корена представља

велики изазов за клиничаре у редовним процедурама ендодонтског лечења (Peters, 2004). Ови закривљени канали такође могу ограничити идеалну механичку припрему канала корена и заузврат могу довести до развоја неких процедуралних грешака (Mounce, 2007). Те процедуралне грешке могу отежати достизање апексне трећине канала корена, као и елиминацију бактерија услед спречености каналних иструмената и ириганса да досегну до апексне границе препарације.

2.2 ЕНДОДОНТСКИ ИНСТРУМЕНТИ - ИСТОРИЈАТ

Кроз историју ендодонције увођен је и развијан дизајн великог броја типова ендодонстких иструмената. У 18. веку били су доступни искључиво примитивни ручни инструменти, нека врста ескаватора и ручних иструмената за каутеризацију (Lilley, 1976).

Најранији докази о покушају лечења канала корена сежу све до другог или трећег века пре нове ере. У Израелу је пронађена лобања са бронзаном жицом унутар зуба, што указује на древну технику лечења инфичираних канала корена без вађења зуба.

Ендодонтска терапија канала корена, кроз историју сведочи о прогресу ендодонције током дугог пута развоја, почев од употребе бронзане жице до терапије коју данас изводе савремени ендодонти.

Приликом експонирања пулпе, различити каустични раствори, попут азотне, супмпорне или хлороводоничне киселине, наношени су на пулпу. Овакав приступ у почетку је изазивао јаче болове, али је по свему судећи било ефеката за некротизацију зубне пулпе. Други метод контроле бола био је забадање усијане жице или шиљатог дрвеног иструмента у зубну пулпу. За такав подухват примењивани су доступни комерцијални дрвени клинови са оштрим врхом. Клиин је постављен уз зубну пулпу и задат му је јак ударац зубним чекићем како би се избио нерв. Као анестетик, за привремену неосетљивост или сузбијање зубобоље, користили су јак наркотик „*mandragora officinarum*“ – мандрагору, биљку са простора Јужне Европе. Године 1836. Shearjashub Spooner је препоручио примену арсена за уништавање пулпе пре него што је уклони, као најефикасније и најмање болно средство за уништавање нерава зуба (Anthony & Grossman, 1945). Узевши у обзир да је обољење пулпе и парадонцијума одувек био један од најзначајнијих проблема у ендодонцији, многи изазови

у лечењу ових обољења дуго су били теоријски и суштински недефинисани. Ендодонтска терапија зуба узрочника хроничних периапексних лезија као и неинфицираних канала коренова, временом се усавршавала, модификовала, мењала и довела до тога да се данас прихвати актуелни, биолошки начин лечења. Суштина лечења огледала се у правовременом уклањању узрока и адекватној обради канала корена, односно системски вођеној препарацији праћеној обилном иригацијом (Naarasalo и остали, 2010; Rodrigues и остали, 2017). Адекватном препарацијом канала корена омогућава се чување његове затечене форме у виду издуженог конуса са максималним отвором на улазу, а минималним на излазу канала. Овакав облик канала корена у виду конуса доприноси како бољем протоку и доступности ириганса унутар система канала корена, тако и у прихватању материјала за дефинитивно пуњење, да би се обезбедило коронарно, апексно и латерално заптивање канала корена (Delivanis и остали, 1983).

Едвин Мајнард, истакнути стоматолог на просторима САД, заслужан је за развој првог каналног инструмента 1838. године, који је направио турпијањем опруге за сат. Наиме, ово откриће подстакло је стоматологе и омогућило им да уђу и лече зубе са каналима мањих димензија, као што су премолари и молари. Поред тога, Мајнард је развио инструменте који су се могли користити за проширење и обликовање коренских канала (Ostrander, 1967). Године 1839. Бејкер је написао у *American Journal of Dental Science* да је његов третман за експонирани нерв био уклањање истог, чишћење канала и пуњење канала златном фолијом. Заслужан је за писање првог објављеног извештаја о екстирпацији пулпе, чишћењу канала и пуњењу канала корена (Curson, 1965). У 19. веку је препоручено коришћење бодљикавог борера или чепова који су се добијали резањем оштрих бодљи са коронарним углом у металне жице. Године 1885, појавили су се Gates Gilden борери за припрему коронарног дела канала корена ради постизање лаког и праволинијског приступа радикуларном делу канала. Након тога, 1915. године, од стране различитих компанија отпочиње производња „К турпија“ различитог промера, дужине и коничности, све до тренутка када се Ингле zaloжио са стандардизацију истих, који су 1974. стандардизовани према ИСО стандарду. Пре Инглеове стандардизације велики број компанија производио је своје инструменте који нису задовољавали претходно успостављене критеријуме. Обележавање инструмента је било произвољно, као и одсуство складности у прогресији једне величине у другу.

Инструменти једног произвођача су се значајно разликовали од истог инструмента другог произвођача.

Идеја о ротационом уређају, који би олакшао инструментацију канала корена, поистекла је од стране Олтрамара, где је користио fine и танке игле које се монтирају на колењаку (Hulsmann и остали, 2005).

Вилиам Херберт Ролинс, амерички научник, проналазач и зубар, развио је први ендодонтски ручни део, користећи специјално дизајниране игле у потпуном ротационом покрету. У наредном периоду дошло је до усавршавања различитих врста ротационих система за олакшану инструментацију канала корена.

2.2.1 Ендодонтски инструменти и њихова стандардизација

Ендодонтска терапија било зуба узрочника хроничних периапикалних лезија или неинфицираних зуба подразумева иреверзибилно уклањање оштећене пулпе уз адекватно чишћење, ширење и обликовање канала корена како би се створили услови за тродимензионалну оптурацију канала корена.

Међународна организација за стандарде (ISO), предложила је класификацију ендодонтских инструмената, према којој су описане три групе различитих типова ендодонтских инструмената (Lyon, 2001).

Група 1 - Ендодонтски инструменти искључиво за ручну употребу. Овој групи ендодонтских инструмената припадају нерв екстрипатори, К турпије и К проширивачи, ендонабијачи (*pluggers*) и ендораширивачи (*spreaders*).

Група 2 - Машински ендодонтски инструменти са ниско туражном дводелном осовином и оперативном главом. Ови инструменти захтевају коришћење насадника и колењака. Радни делови ових инструмента су идентични онима из групе 1, с том разликом да су ручице замењене додацима за насадни уређај. Овде спадају проширивачи и турпије К типа, Х турпије, стругачи Р типа, Б2 проширивачи као и проширивачи који се окрећу за четврт круга (жироматик) и инструменти за уношење пасте у канал корена (лентуло спирала).

Група 3 - Машински инструменти са једноделном осовином и оперативном главом. У ову групу спадају Б1 проширивачи, проширивачи Г типа (Gates Gliden), проширивачи П типа (Peso), проширивачи А типа, проширивачи Д типа, проширивачи О типа, проширивачи К типа, проширивачи Т и М типа. Машински инструменти попут Profile, GT, Qvantec Hero 642, FlexMastera могу бити укључени у ову групу иако нису стандардизовани.

Сви ендодонтски инструменти, према својим конструкционим и димензионим одликама, морају да одговарају неким, тачно одеђеним стандардима.

Стандардизација ендодонтских инструмента предвиђа бројчани систем обележавања (Zinelis и остали, 2002). Пречник у пределу врха каналног инструмента означава се као Д1. Дебљина инструмента на врху (Д1), изражава се у стотим деловима милиметра и представља ознаку односно број тог инструмента. Пречник на крају радног сечивног дела означава се као Д2. Разлика у пречницима Д1 и Д2 је константа и означава се као степен коничности (*Taper*). Према стандардима он износи 2% и представља повећање дијаметра инструмента од 0,02 mm по сваком милиметру дужине. Растојање између Д1 и Д2 представља дужину радног дела инструмента и износи 16 mm, тако да је радни део инструмента увек исти. Укупна дужина каналног инструмента која представља растојање од врха до базе ручице није утврђена стандардом. Стога се већина каналних инструмента производи у више различитих дужина. Најчешће се налазе канални инструменти димензије 25 mm, али се могу наћи и они чија је укупна дужина 21 mm, уколико се препарација канала ради на моларима или 31 mm, уколико се ради на очњацима. Ради лакшег распознавања каналних инструмената, обележавање се најчешће врши различитим бојењем ручица инструмента. Стандард почиње од величине 15 која је представљена белом бојом, 20 жутом, 25 црвеном, 30 плавом, 35 зеленом, 40 црном. После инструмента црне боје, боје се понављају.

2.2.2 Основни облици ручних ендодонтских инструмената

Основни облици ручних ендодонтских инструмената су: К проширивачи, К турпије и Hedström турпије. На самом почетку, ови инструменти израђивани су од угљен-челика,

али се са развојем индустрије производе од Cr-Ni, нерђајућег челика, на који честа стерилизација нема значајнијег утицаја.

Проширивач К типа представља најстарији ефикасни инструмент за сечење дентина. Представља коничну челичну жицу, троугластог облика на попречном пресеку, која се у процесу производње хвата за сам врх жице и уврће. Увртање проширивача у току његове производње ствара жлебове на инструментима и на тај начин се добијају радне или сечивне ивице. Овај инструмент има 8 до 16 сечива или навоја што му омогућава стругање, сечење и ширење канала корена (Lyon, 2001; Wiggs, 1991)). Покрети приликом коришћења овог инструмента су покрети турпијања уз благе покрете ротације од 30 до 60 степени у смеру казањке на сату

Турпије К типа такође служе за уклањање слоја дентина са зидова канала корена. Ови канални инструменти се добијају увртањем четвороугаоних профила жица око уздужне осе и много су ефикаснији у обликовању канала корена од проширивача К типа. Радни део ових каналних инструмента има 24 до 36 сечивних ивица омогућавајући на тај начин ефикасну механичку обраду канала корена. Радња коју врше је турпијање или стругање, што се постиже покретима извлачења без икаквог притиска. Дозвољена ротација турпије К типа је једна осмина круга у смеру казањке на сату (Lyon, 2001; Wiggs, 1991).

Hedström турпија је конична челична жица, која се добија фрезовањем округлог профила жице. Радни део ових каналних инструмената се састоји од спирално увијених сечива чији се промер повећава од врха ка бази радног сечивног дела. Инструмент Х типа је много агресивнији од инструмента К типа. Динамика рада у каналу је искључиво турпијање уз зид канала без покрета ротације који се не смеју користити због могуће фрактуре инструмента (Lyon, 2001; Wiggs, 1991).

2.3.3 Модификација основних типова инструмената

Због значајних недостатака основних типова каналних инструмената, у процесу производње дошло је до њихове модификације у покушају да се искомбинују предности К типова са агресивним сечивним могућностима Х типова (Carrotte, 2004). Ови инструменти познати су под називом као хибридни инструменти који иначе нису стандардизовани.

Како би се омогућила већа и боља савитљивост односно флексибилност инструмента, произвођачи су користили специфичну врсту челика уз значајну измену попречног пресека инструмента.

Један од првих модификованих ручних ендодонтских инструмената је био Flex R са којима је почела нова ера препарације канала корена (Schafer & Lohmann, 2002). Како би се елиминисале грешке које настају коришћењем основних облика инструмената са оштрим врхом, овај инструмент се карактерише пасивним, неактивним врхом односно имају специфично конструисан врх који не сече. Добија се процесом фрезовања троугластог профила жице. Користи се у *Balance forced* техници препарације применом умерене силе при обради канала.

Додатни покушај елиминације грешака у току препарације остварен је појавом Flex проширивачима и Flex турпијама. Flex проширивачи представљају модификацију K типа, због његовог троугластог попречног пресека, али је добијен од округлог челичног обрасца као H турпија.

Flexo турпија је врло флексибилан канални инструмент који има неактиван врх. Карактерише се појавом 1,8 навоја по mm дужине канланог инструмента. Израђују се од троугластог профила жице (Bishop & Dummer, 1997).

Турпије типа K-flex су модификовани канални инструменти изразите флексибилност и ефикасности у препарација канла корена односно у сечењу дентина. (Glosson и остали, 1995).

Познато је да је радни део стандардизованих ручних инструмента 16mm, међутим, ради побољшања ефикасности у апексној трећини канала корена зуба произвођачи су дошли на идеју да се сечивни рдани део скрати на свега 2mm до 5mm. Главни представници ових типова инструмента су Flexogates, Helioapical.

Код модификованих основних типова каналних инструмента се уводе и међувеличине за разлику од стандардизованих инструмента где се бројеви повећавају линеарно и дијаметар инструмента расте са величином (Zuolo и остали, 1992).

Значајна новина код ових каналних инструмената јесте у измењеној коничности. Вредност пораста дијаметра инструмента по милиметру дужине креће се од 0,03 - 0,12 mm, за разлику од стандардних 0,02 mm по милиметру радне дужине. Повећање коничности код ових инструмената има за циљ ефикаснију обраду коронарне и средње трећине канала корена, ради омогућавања бољег приступа и чишћења апексног дела канала, као и повећања ефекта иригације.

2.3 ИНСТРУМЕНТИ ОД НИКЛ ТИТАНИЈУМА

2.3.1 Легура никл-титанијума

Почетком 60-тих година прошлог века, легуру титанијума и никла развио је Бухлер, чувени металург, истражујући развој немагнетне легуре отпорне на со и воду, за астрономски програм у лабораторији Навал Орднанс, у сребрним изворима, Мериленд, САД (Buehler и остали, 1963). Наиме, Бухлер је открио да хемијска и физичка својства ове легуре могу произвести нешто што се зове *ефекат меморије облика* када се примењује контролисан топлотни третман (Buehler и остали, 1963). Легура је названа *Нитинол* према елементима од којих се састоји - Ni за никл, Ti за титанијум и NOL-а из лабораторије Навал Орднанс. Утврђено је да легура НиТи има супер еластичност и својства меморије облика. Показало се да поседује високу чврстоћу и нижи модул еластичности у поређењу са легуром од нерђајућег челика (Andreasen & Morrow, 1978). Предности легуре подстакле су идеју да се користи за прављење инструменте који ће се користити за закривљене канале корена током препарације, користећи низак модул еластичности и мањи ризик од трајне деформације турпије у поређењу са другим легурама (Schafer, 1997; Thompson, 2000).

Састав Нитинола, који се користи за израду ендодонтских инструмената, је у следећем односу - 56% Ni и 44% Ti. Иако је само један произвођач (Dentsply, Maillefer instruments SA, Ballaigues, Svitzerland) објавио тачан састав и детаље производње НиТи у конструкцији њихових инструмената, сматра се да је то једини састав легуре који може дати супер еластичне особине. Код неких НиТи легура мањи проценат никла (мање од 2 %) може бити субституисан кобалтом. Резултат је комбинација атомског односа главних компоненти један на један. Као и у другим металним системима, легура може постојати у различитим

кристалографским облицима. Када је НиТи легура у фази мировања, она је у стању аустенита (AsCaNOZn). Када је легура савијена или под напором, трансформише се у мартензит. Ово стање је познато као мартензитна деформација и типична је за легуре које су супер еластичне.

Легура никл-титанијума присутна је у стабилној кубичној форми решетке усредсређеној на тело, која се назива аустенитном фазом или матичном фазом, што се може уочити на високим температурама од 100°C. Легура има тенденцију да промени своју кристалну структуру и физичка својства када се охлади, у температурном опсегу трансформације. Промене температуре имају тенденцију да значајно утичу на модул еластичности. Трансформација се назива мартензитна фаза или ћерка фаза и то је оно што изазива контролисани меморијски ефекат у легурама НиТи (Thompson, 2000). Мартензитна фаза даје материјалу способност да се под утицајем спољашњег напрезања пластично деформише пре него да наступи прелом и подложнија је деформацији у поређењу са аустенитном фазом. Деформација се може преокренути загревањем легуре изнад одређене температуре, која се назива - опсег температурне обрнуте трансформације, и уз то, легура се враћа назад у аустенитну фазу (матична фаза) са кристалном структуром, претходним обликом и физичким својствима. Овај феномен је описан као ефекат меморије облика.

Други облик трансформације између дозвољених фаза је трансформација, изазвана стресом, у мартензитну фазу. Трансформација настаје као резултат примене напрезања легуре током препарације канала корена. Код већине метала примена спољне силе може изазвати пластичну или трајну деформацију, док у легурама НиТи изазива мартензитну трансформацију. При напрезању (савијању), НиТи легура има опсег пластичне деформације којој легура може да се подвргне и када ће и даље моћи да се опорави до почетне фазе. Овај опсег пластичне деформације са НиТи је много већи у поређењу са конвенционалним металом, где се еластична деформација може повратити у малом проценту, међутим када дође до пластичне деформације она је непоправљива, односно деформација је трајна.

Легура никл-титанијума омогућава да се деформација до 8% у потпуности поврати, у поређењу са максимално мање, од 1% у другим легурама, као што је нерђајући челик (Andreasen & Morrow, 1978; Thompson, 2000).

Осим тога, постоји фаза у легури НиТи позната као Р-фаза, која може бити изазвана температуром и стресом. Сматра се посебним типом мартензитне трансформације, која се види непосредно након еластичне деформације аустенитне фазе и она се протеже до почетка мартензитне фазе изазване напрезањем. Р-фаза је мартензитне природе, али не и мартензит одговоран за меморију облика и ефекат супер еластичности. Међутим, он и даље има нека од ових својстава, али у веома минималном ефекту и уском температурном опсегу. Трансформација Р-фазе у аустенит је реверзибилна и дешава се у ниском температурном опсегу, између 20 и 40°C и са минималним стресом (Zhou и остали, 2013). Р-фаза има нижи модул еластичности у поређењу са аустенитном фазом, али показује већу отпорност на замор односно прелом, и уз одређену топлотну обраду може имати високу флексибилност и чврстоћу (Zhou и остали, 2013).

2.3.2 Процес производње и побољшана површинска обрада инструмента

Настојањем да се унапреде механичка својства турпија, произвођачи су модификовали микроструктуру површине и легуре током процеса производње.

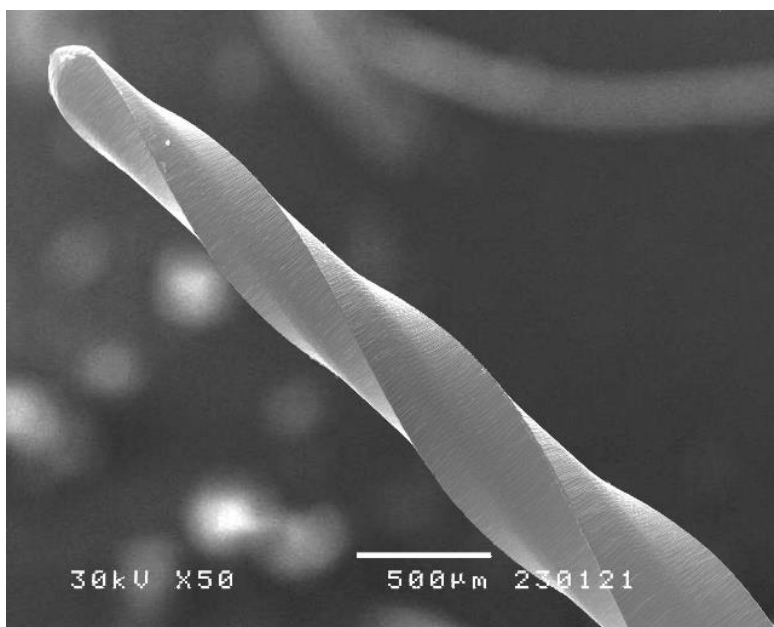
Првобитно, због карактеристика памћења облика НиТи ротационих инструмената, сматрало се да је неопходно да се ови инструменти обрађују како би се створио жељени конус, дизајн спирале и оштрица, као и друге особености.

У односу на начин производње, према основној подели, нове генерације никл-титанијумских инструмената се могу поделити у 5 група:

- 1) Конвенционални НиТи ротирајући инструменти;
- 2) Електрополирани инструменти;
- 3) Инструменти добијени технологијом увртања готових профила (M-wire);
- 4) Инструменти добијени технологијом увртања готових профила (R-wire);
- 5) Инструменти произведени технологијом резања са термички обрађеном легуром контролисане меморије.

Тежња стоматолошке праксе за новим и сигурнијим инструментима који би олакшали рад стоматолога током ендодонтског третмана, довела је до појаве конвенционалних ротирајућих инструмента. Ови инструменти су се појавили почетком 21. века и карактеришу се значајном флексибилношћу и повећаном коничношћу дуж радног

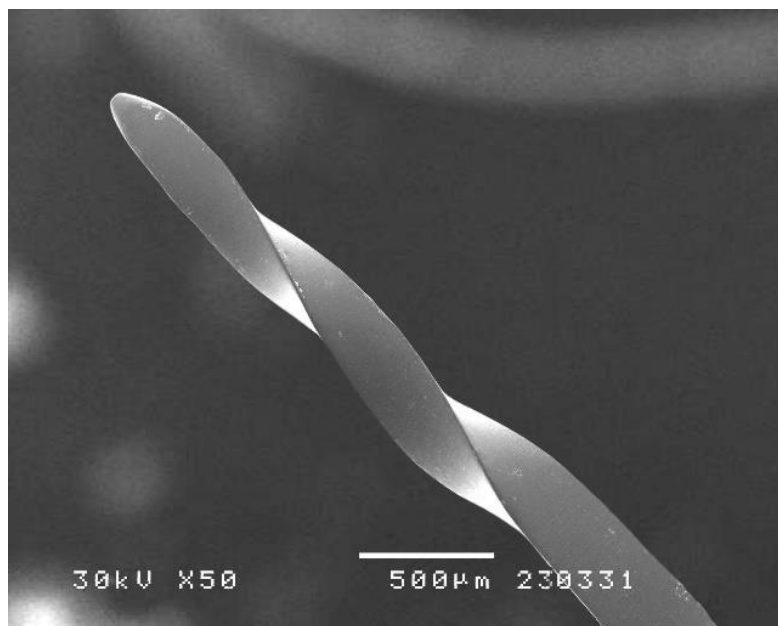
дела у односу на инструменте израђене од нерђајућег челика. Конвенционалним инструментима, захваљујући њиховим сечивним ивицама и пасивним врхом омогућена је препарација канала корена како инфицираног тако и неинфицираног зуба у што краћем временском периоду. Главни представници ове групе инструмената су Pro Taper Universal (Dentsply Syrona) (Слика 1), K3 (Kerr Dental), Mtwo (VDW Dental), FlexMaster (VDW Dental). Конвенционална НиТи легура је на собној и температури усне дупље у фази аустенита. Ова група инструмената се производи технологијом класичног резања која је стандардна за конвенционалне инструменте. Таква технологија израде доводи до настанка микропукотина и дефеката на површини радног дела који представљају тачке концентрације стреса које слабе инструмент и доводе до његовог изненадног прелома (Keskin и остали, 2018).



Слика 1. СЕМ приказ инструмента ProTaper Universal

Процес електрополирања подразумева електрохемијску обраду површине, која се састоји од процеса таложења металних јона на површину путем галванизације како би се смањиле површинске неправилности у металним инструментима. Електрополирање мења површински састав НиТи турпије стварајући хомогени оксидни слој, смањујући површинске дефекте и стрес, што резултира у повећаној отпорности на корозију и преломе НиТи инструмената (Gutmann & Gao, 2012). Комерцијално доступни системи турпија су BioRace™ (Слика 2) и RaCe™ (FKG, DENTAIRE, SWISS). Бројне студије указале су на

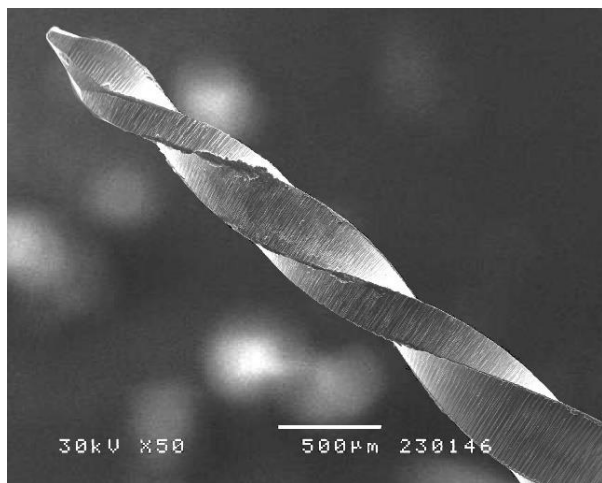
побољшану отпорност на замор приликом савијања и побољшана торзиона својства након електрополирања (Anderson и остали, 2007; Lopes и остали, 2010). Процес електрополирања је учинио инструмент отпорнијим на ефекте раствора натријум хипохлорита (NaOCl) као неизоставног дела хемомеханичке обраде канала корена (Lopes и остали, 2010).



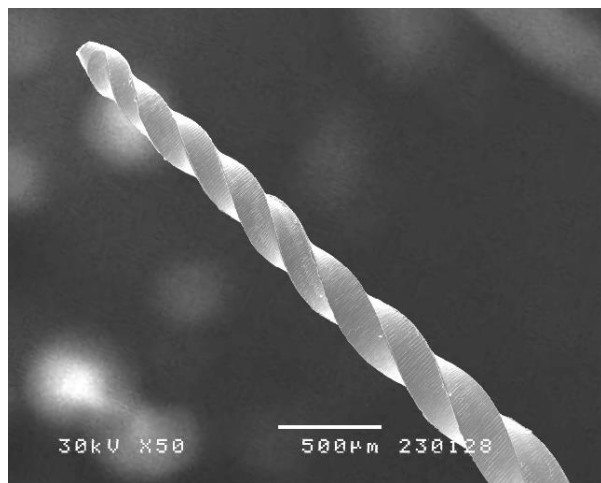
Слика 2. СЕМ приказ инструмента BioRace

Најновија достигнућа у технологији легуре НиТи која је значајно допринела у ефикасности лечења канала корена је укључивање М-Wire. Континуирана модификација НиТи легуре и структуре, као и технике обраде материјала, показала се као фактор који у великој мери утиче на повећање отпорности на циклични замор. М-wire је варијанта никл-титанијума, састављена од посебног нитинола - СЕ508. М-wire технологија подразумева серију топлотних третмана којима се излаже НиТи жица у процесу производње, због чега је М-wire много еластичнији и отпорнији на циклични замор од конвенционалних инструмената (Al-Hadlaq и остали, 2010; Goo и остали, 2017; Johnson и остали, 2008; Larsen и остали, 2009). На собној температури, М-wire који је подвргнут термичким третманима, је у фази аустенита и мартензита. Управо већи садржај мартензита, који је мекши, код М-wire инструмената има позитиван ефекат на отпорност на циклични замор (Gao и остали, 2010; Keskin и остали, 2018). Представници овог система ротирајућих инструмената су

98WaveOne™ (Dentsply Maillefer, Switzerland), WaveOne Gold (Слика 3) (Dentsply Maillefer, Switzerland), ProTaper Next (Слика 4) (Dentsply Syrona, Switzerland).

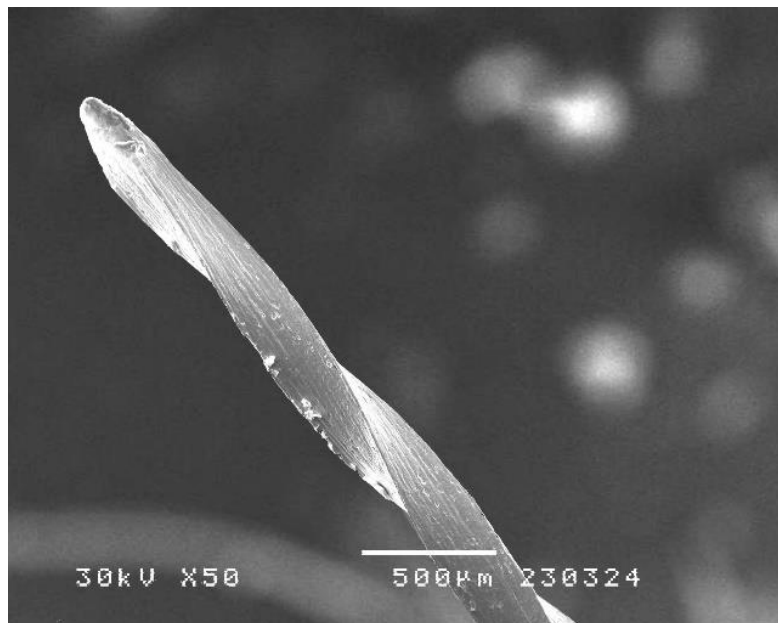


Слика 3. СЕМ приказ инструмента WaveOne Gold



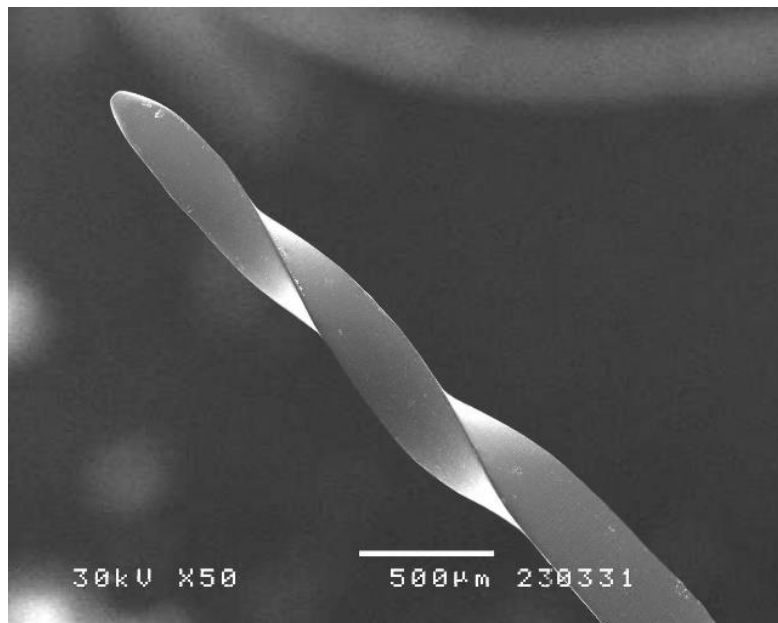
Слика 4. СЕМ приказ инструмента ProTaper Next

У новијим технологијама направљен је покушај увртања готових профила никл-титанијумских жица, што је потпомогнуто процесима грејања и хлађења легуре као и стресом при чему долази до промена у кристалној структури легуре, када се добија стабилна R-фаза у нитинолу (Gambarini и остали, 2008). Још једна предност јесте што се на овај начин избегава формирање површинских неправилности као што је случај код конвенционалног резања. Оваква предност ове групе ротирајућих инструмената је последица њиховог подвргавања сопственом процесу познат под називом Deox у којем се уклањају површинске нечистоће и оксидациони слој (Gambarini и остали, 2008; Testarelli и остали, 2009). Сматра се да овакви инструменти немају слабе тачке на површини које би деловале као центри акумулације стреса што позитивно утиче на њихову флексибилност и снагу. Својства и структура R-фазе код НиТи инструмената су супериорнији у поређењу са традиционалним машински обрађеним НиТи турпија. Имају знатно већу флексибилност и отпорност на циклични замор у односу на нетретиране односно конвенционалне инструменте (Gambarini и остали, 2008; Kim и остали, 2010; Larsen и остали, 2009). Главни представник ове групе инструмента је Twisted File™ (Слика 5) (SybronEndo, Orange, California, USA).



Слика 5. СЕМ приказ инструмента Twisted file

Третман топлотом након класичног резања или увртања готових профила представља технолошки развој који највише обећава на пољу завршне обраде никл-титанијумске легуре (Gutmann & Gao, 2012). Примена одговарајућег топлотног третмана мења кристалну структуру легуре у циљу добијања инструмената са супериорном флексибилношћу и отпорношћу на замор (Alarati и остали, 2003; Gambarini и остали, 2011; Hayashi и остали, 2007). Оно што је значајно јесте да се деформисана турпија враћа у првобитно стање након термичке обраде. Термичка обрада снажно утиче на супереластичност и меморију облика и развојем инструмената носи назив „инструменти са контролисаном меморијом“. То значи да се облик и чврстоћа турпија могу се вратити током стерилизације у аутоклаву а затим поново користити. Ове турпије се могу савијати пре уношења у закривљени канал, што је посебно значајно код веома повијених канала (Shen и остали, 2011). Најпознатији представник ове групе инструмента је HyFlex CM (Слика 6) (Coltene/ Whaledent, Germany).



Слика 6. СЕМ приказ инструмента HyFlex

Због сталног унапређења процеса производње Ни-Ти ротирајућих инструмената, основној подели су додате и следеће групе инструмената:

- 1) Blue wire и Gold wire;
- 2) Max wire;
- 3) EDM (електрично пражњење).

Blue wire и Gold wire. Легура СМ-жице подлеже поновљеним третманима топлоте и хлађења да би се формирао слој титанијум оксида, а површинска боја легуре варира у зависности од дебљине овог слоја. Када је дебљина 60–80 nm, боја површине је плава, када је дебљина 100–140 nm, боја површине је златна (Shen и остали, 2016). Слој титанијум оксида компензује тврдоћу изгубљену током обраде легуре СМQA2-жице и повећава ефикасност резања и отпорност на трошење (Plotino, Grande, и остали, 2014). Представници ових типова инструмента укључују Vortex blue (Dentsply Syrona, SAD), Reciproc blue, ProTaper Gold и Wave One Gold.

Max wire. Ова легура је развијена као резултат термичке обраде легуре. У раној фази припреме канала корена, легура Max wire је у мартензитној фази на ниској собној температури. Након увођења у канал корена, када је температура једнака или већа од 35

степени, легура овог типа жице може да пређе са мартензита на аустенит и инструмент се мења из правог облика у полукружни облик због меморијске функције аустенита. Током ексцентричне ротације према зидовима канала корена, површина контакта између инструмента и зида канала корена се повећава, што игра значајну улогу у сечењу и стругању зида канала корена. Када се иригирају канали корена, омогућава се добро чишћење канала корена. Главни представници Max wire су XP-ендо Shaper (FKG Dentaire, La Chaux-de-fonds, Switzerland). Овакав тип металуршког процеса побољшава флексибилност NiTi инструмената, боље одржавају облик закривљеног канала корена и смањују транспорт канала, повећавају отпорност инструмента на замор, побољшавају безбедност у клиничкој пракси.

EDM (електрично пражњење) је бесконтактни процес топлотне ерозије, који користи процес контролисаног пражњења за топљење металне површине и испаравање малих делова метала у присуству диелектричне течности и оставља кородирану грубу металну површину. NiTi инструменти произведени овим третманом имају грубљу и тврђу површину, чиме се побољшава ефикасност сечења (Naapasalo & Shen, 2013; Özyürek и остали, 2018). У 2016. години појавио се HyFlex EDM (Coltene/Whaledent, Cuyahoga Falls, OH) произведен коришћењем ове технологије варничне ерозије. Анализа дифракције рендгенских зрака показује да се HyFlex EDM систем састоји од мартензитне легуре NiTi и значајних количина легуре NiTi R-фазе, док је HyFlex SM систем састављен од мешавине мартензитне и аустенитне NiTi легуре (Iacono и остали, 2017). HyFlex EDM још увек има већу тврдоћа од конвенционалних SM жица, упркос одсуству или смањеној аустенитној фази, чиме се потврђује ефекат очвршћавања EDM-а

Узимајући у обзир сва својства NiTi легуре, постоје три веома важне особине које задовољавају основне захтеве једног ендододонтског инструмента за успешан третман: супереластичност, отпорност на циклични замор и отпорност на торзиони стрес. Управо ове особине омогућавају да се инструменти користе у континуираним или реципрочним ротацијама, током ендододонтског третмана закривљених канала корена, поштујући његове анатомско морфолошке карактеристике.

2.3.3 Дизајн ротирајућих каналних инструмента

У ситуацијама када су инструменти изложени процесима оптерећења услед савијања и торзије, на њихову отпорност на прелом може утицати и попречни пресек и дизајн (Verutti и остали, 2003; Хи и остали, 2006). У складу са тиме, геометријски облик пресека може представљати формулу за побољшање отпорности на прелом код НиТи ротирајућих инструмената, тако да је неопходно проучавати сваку варијација дизајна и њен утицај на отпорност инструмената (Ruddle и остали, 2013).

Повећањем пречника и попречног пресека турпије, обезбеђује се повећана отпорност на торзиони прелом (Turpin и остали, 2000; Yared, Kulkarni, и остали, 2003) али и обратно, отпорност се смањује отпорност на замор при савијању (Pruett и остали, 1997).

Значајан фактор у погледу учесталости прелома представља дизајн попречног пресека. У погледу облика попречног пресека, разне врсте НиТи ротационих система су заступљене на тржишту, од којих свака има јединствен облик попречног пресека а самим тим и другачије понашање у погледу расподеле стреса као и појаве прелома. У производњи НиТи ротирајућих инструмената заступљена су четири облика попречног пресека: конвексни троугао, троугао, правоугаоник и паралелограм (Medha и остали, 2014). Облик попречног пресека НиТи ротационих инструмената представља један од најкритичнијих параметара који утиче на прелом инструмента (Cheung и остали, 2011). Попречни пресек ротирајућих инструмента облика паралелограма и правоугаоника, који остварују контакт у једној или две тачке у каналу корена, показали су да њихове кретње у каналу производе силе увртања мањег интензитета од инструмената троугластог и конвексног троугластог попречног пресека који остварују симетричне контакте у три тачке (Kwak и остали, 2019). Захваљујући свом облику, троугласти попречни пресеци резултирају већом флексибилношћу него квадратни за исти конус и пречник турпије (Versluis и остали, 2012). Код већине конвенционалних НиТи турпија, оса ротације одговара центру геометријског попречног пресека. Дизајн попречног пресека са нецентричном осом ротације први је увео Micro-Mega (Besancon, France) у свом систему Revo-S. Геометријски центри попречног пресека ових инструмената су померени од центра ротације инструмената. У поређењу са конвенционалним инструментима који се карактеришу концентричним дизајном, дизајн попречног пресека са нецентричном осом производи таласаст покрет инструмента, чиме се

смањује напрезање самог инструмента током ротације као и контакт инструмента са зидом канала зуба, док се повећава простор потребан за уклањање остатака дебриса (Arias и остали, 2014; Pasqualini и остали, 2015).

Врх турпије представља радни део ротирајућег ендодонтског инструмента који омогућава његово вођење кроз канал корена. Врх инструмента може бити активан када има оштру конфигурацију и резне ивице, или пасиван са заобљеном конфигурацијом и ивицама које се не секу. Већина НиТи инструмената за препарацију канала корена има пасивне врхове (Peters, 2004). На овај начин је спречено прављење грешака у виду степеника и перфорација зида канала корена. Инструменти НиТи са активним врхом се углавном користе за ревизију неадекватно оптурисаног канала корена зуба.

Један од важнијих карактеристика ротирајућих каналних инструмента су и његове сечивне ивице које могу бити активне и пасивне. Угао који граде сечивне ивице ротирајућег каналног инструмента са његовом уздужном осом назива се сечивни угао (*helix angle*). Велики број ових инструмента који се користе током ендодонтске терапије имају у пределу врха мањи угао који ће спречити заглављивање инструмента, а већи у пределу базе радног дела што доводи до значајне ефикасности сечења дентина у каналу корена. За остваривање боље инструментације ротирајућим каналним инструментима од суштинског значаја је и растојање између сечива која могу да варирају дуж радног дела у зависности од произвођача (Naarasalo & Shen, 2013). Захваљујући овим растојањима између сечивних ивица инструмент постаје склонији акумулацији остатака, што ће довести до већег обртног момента инструмента и до потенцијалног одвајања. Простори између сечивних ивица заузимају просечно и до 50% од укупног промера инструмента, чиме се обезбеђује боља еластичност. Сечивне ивице инструмента са површином дентина унутар канала корена који се сече гради упадни угао (*rake angle*). У зависности од тога какав је упадни угао, инструмент ће имати функцију сечења или стругања. У случају да је овај угао позитиван инструмент има функцију сечења, уколико је негативан инструмент показује ефекат стругања. Уколико је угао формиран између ивице и површине коју треба сећи оштар, онда се каже да су упадни углови негативни. Ако је формиран угао туп, упадни угао се назива позитивним углом. Већина ендодонтских инструмената има негативан упадни угао или

неутрални угао, што доводи до стругања, а не сечења и захтева више енергије за постизање потребног ефекта (Naarasalo & Shen, 2013).

Такође, једна од значајних карактеристика дизајна ротирајућег инструмента је и његова коничност. Коничност се може дефинисати као повећање пречника каналног инструмента по милиметру његове дужине и изражена је у процентима. Показало се да са повећањем коничности долази повећање крутости турпије што може произвести већи ефекат увртања (Kwak и остали, 2019). Инструменти веће коничности показују мању еластичност због већег садржаја метала дуж њиховог радног дела. Захваљујући овоме животни век инструмента је краћи односно отпорност на циклични замор је смањена. Већина ротирајућих каналних инструмента имају константну коничност изузев ProTaper инструмента код кога се коничност повећава дуж радног дела

Такође, значајна карактеристика ових инструмента у дизајну је и варијабилна дужина радног дела.

2.4 МАШИНСКА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА КАНАЛА КОРЕНА

Са сигурношћу се може рећи да готово ни један метал или легура није увела толико револуционарних нових терапијских могућности у денталној медицини као легура Никла и Титана - НиТи легура. И управо са инструментима од НиТи легуре догађа се револуционална еволуција касних деведесетих година прошлог века, када су се појавили на тржишту. Велики напредак у области ендодонције настао је увођењем ротирајућих инструмената који се активирају на два начина: континуираном ротацијом 360% и реципрочним покретима.

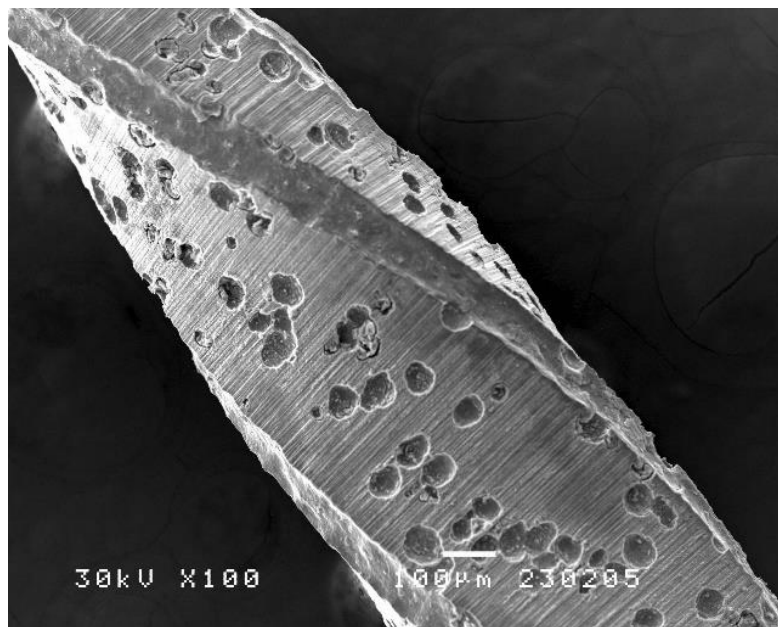
Покрет континуиране ротације у смеру кретања казаљке на сату, је управо покрет који се користи од самог почетка препарације канала корена НиТи инструментима. Постоје велики број система НиТи ротирајућих инструмента који користе пуну ротацију при чему је брзина којом се ротирају мала и креће се у опсегу од 150 до 500 обртаја у минути. Инструменти који користе ове покрете ротације су стално изложени силама савијања и увртања чиме се промовише циклични замор и последични прелом инструмента (Ferreira и остали, 2017). Како би се смањила могућност прелома инструмента унутар канала који се

обрађује савремени ендомотори имају и контролу обртног момента, чија је предложена вредност различита за различите ротирајуће машинске инструменте. Појава прелома је повећана услед повећања обртног момента ротирајућег машинског инструмента који уз те подешене вредности показују велику ефикасност сечења дентина и лаког продирања у канални систем корена зуба (Sattapan, Palamara, и остали, 2000). Ниске вредности обртног момента, пружају сигуран и безбедан рад али уз спорије и теже напредовање инструмента кроз канал корена.

Други начин активирања машинских НиТи инструмента који се користе за препарацију канала корена су реципрочни покрети (Yared, 2008). Подаци из литературе наводе да је реципрочно кретање повезано са значајно већом отпорношћу на циклични замор него што је случај код континуиране ротације (Ahn и остали, 2016; Ferreira и остали, 2017). На овај начин се постиже веома једноставна и временски значајно краћа препарација канала корена као и ефикасност уклањања максималне количине зубног ткива канала корена уз минималан труд и време. Овај начин активирања машинских НиТи инструмента заснован је на техници уравнотежених сила које укључују увођење инструмента у канал корена у смеру кретања казаљке на сату како би радни део инструмента захватио зидове канала, док кретање у смеру супротном од казаљке на сату омогућавају сечење дентина канала, што доводи до његовог проширења. Оно што је посебно значајно код ових покрета је чињеница да је смер сечења - смер улево. Смер сечења се одликује већом вредношћу угла од супротног смера. Ефикасност инструмента у препарацији канала који користе реципрочне покрете расте са повећањем угла сечења. При покретима који имитирају балансиране силе, мањи је стрес на саме инструменте, па је мања могућност и прелома истих односно продужен је век трајања. Међутим, веома је важно напоменути да је отпорност инструмента на циклични замор већа са смањењем угла сечења.

2.5 КОРОЗИЈА

Корозија представља деструктивну електрохемијску реакцију материјала са супстанцама које се налазе око њега и која се резултира мерљивим променама у материјалу (Слика 7) (Gellings, 1981; Marxkors & Meiners, 1993).



Слика 7. СЕМ приказ корозионих промена на радном делу НиТи инструмента

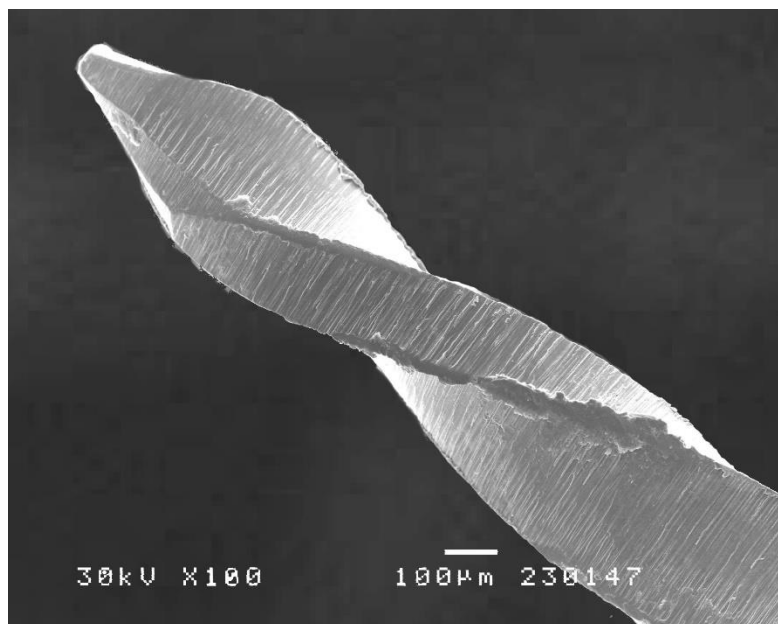
Поступци корозије се одвијају на граници фаза између инструмента који се користи за препарацију канала корена и раствора NaOCl. Током употребе ротирајућих НиТи инструмента, услед трења о зидове канала долази до оштећења њихове површине и деформација. Истовремена употреба хемијских средстава за испирање или контакт са средствима за чишћење и дезинфекцију утичу на појаву замора инструмента и корозије (Han-Hsing Lin и остали, 2021). Током хемомеханичке припреме каналног система неопходно је вршити обилну иригацију канала одређеним хемијским средствима (Chianello и остали, 2008). Најефикасније средство за иригацију је натријум-хипохлорит (NaOCl). Раствор NaOCl се користи унутар канала корена за растварање његовог органског садржаја, а који такође делује и бактерицидно. Међутим, то је раствор са најизраженијим корозионим деловањем јер садржи активне и агресивне Cl⁻ јоне који врше селективно уклањање никла са површине ротирајућих НиТи инструмента, услед чега настају микроструктурни дефекти (Sarkar и остали, 1983). Претпоставља се да ови микроструктурни дефекти могу

представљати тачке концентрације стреса и стварања пукотина, чиме се слаби структура инструмента. Истраживања су показала да је корозија један од првих фактора који промовишу замор материјала од кога су ендодонтски инструменти израђени, и који као такви постају подложнији деформацијама и фрактури при даљој употреби (Aten и остали, 1994; Busslinger и остали, 1998; Koch и остали, 2016). Фрактура ендодонтских инструмената у каналу корена током хемомеханичке припреме је компликација која може угрозити коначан исход ендодонтског лечења (Huang и остали, 2017).

2.6 ТРОШЕЊЕ

Карактеристике инструмената за машинску обраду канала корена израђених од НиТи легуре као и њихово понашање унутар закривљених канала представљају предмет расправе од самог њиховог увођења у ендодонцију. Било да се ради о дизајну попречног пресека, материјала од кога су израђени, као и третману којем су изложени ради побољшавања њихових карактеристика, многа истраживања су усмерена ка ефикасности сечења ових инструмената. За процену ефикасности сечења коришћене су различите технике налик мерењу губитка тежине коришћеног ротирајућег инструмента (Moraes и остали, 2012), скенинг електронска микроскопија (Mizrahi и остали, 1975) као и компјутерска анализа рендгенских снимака пре и после употребе (Molven, 1970; Schäfer & Vlassis, 2004). Трошење тј. губитак оштрине сечивних ивица (Слика 8) је најбоље анализирати коришћењем скенинг електронске микроскопије (Descicco и остали, 2018). На појаву деформације која ће условити и трошење сечивних ивица итекако утиче сам дизајн радног сечивног дела али и различити процеси израде којим су ротирајући НиТи инструменти изложени током производње (Kosti и остали, 2011). Током механичке обраде канала корена зуба ротирајућим НиТи инструментима са позитивним упадним углом, сечење почиње продирањем сечивних ивица у површину дентина канала корена (Wan и остали, 2010). Учесталом применом једног истог инструмента током обраде дентина канала корена доводи до деформације која је касније праћена скидањем метала дуж ивице сечења (Jovanovic-Medojevic и остали, 2020). Једнократна употреба НиТи ротирајућих инструмената значи бољу ефикасност сечења и мање шансе за губитак ефикасности сечења истих. Инструменти након употребе готово увек имају неку врсту дефекта која се најчешће

може огледати у виду губитка оштрине сечивних ивица. Поред броја употребе, трошењу сечивних ивица је могуће допринети поступком иригације али и стерилизације у аутоклаву (Qaed и остали, 2017).



Слика 8. СЕМ приказ промена насталих трошењем на сечивним ивицама НиТи инструмента

2.7 ФРАКТУРА РОТИРАЈУЋИХ НиТи КАНАЛНИХ ИНСТРУМЕНТА

Употреба инструмената од НиТи који користе покрете пуне ротације или реципрочне кретње представља златни стандард који је повећао ефикасност лечења ендодонтских инфекција због њихове изванредне еластичности која је неопходна за чишћење, ширење и обликовање закривљених канала корена (Uguz и остали, 2020). Препарација канала корена помоћу инструмената са повећаном флексибилношћу, као што су НиТи ротациони инструменти, често резултира бржим, доследнијим припремама са мање процедуралних грешака (Martín и остали, 2003; Young и остали, 2007). Међутим, поред свих својих предности, изненадни прелом инструмената без претходних знакова упозорења представља највећи проблем (Huang и остали, 2017; Roda-Casanova и остали, 2022) за разлику од трајних деформација и потенцијалних прелома који су очигледни и чешћи код ручних каналних инструмената (Zuolo & Walton, 1997). Наравно, почетна оштећења ротационих НиТи

инструмента након употребе често нису видљива без увећања (Parashos и остали, 2004; Yared и остали, 2000). Прелом ендодонтских инструмената у каналу корена зуба једна је од тежих компликација у току ендодонтске терапије. Потенцијалне потешкоће у проналажењу и елиминацији преломљених делова инструмената у каналу корена и њихов утицај на исход ендодонтског третмана је главни разлог константног унапређења НиТи инструмената. Сходно томе, бројна истраживања су била усмерена на разумевање начина прелома инструмента и неколико фактора који на то утичу.

Механизам у виду цикличног замора и торзионог оптерећења представљају главни узрок прелома инструмената (Cheung и остали, 2005; Pruett и остали, 1997; Shen и остали, 2006). У случају када је врх турпије заглављен у каналу током ротације инструмента, када се део инструмента увије у зид канала, када је врх инструмента већи од промера канала корена, или када се врши прекомерни притисак на инструмент у току рада, долази до прелома инструмента услед торзионог оптерећења (Sabet и остали, 2020; Vinothkumar и остали, 2016). Инструменти који се ломе као резултат торзионог оптерећења, откривају доказе пластичне деформације као што су одмотавање спирале радног дела инструмента, односно исправљање и увијање. Много чешћи узрок прелома инструмената је циклични замор који настаје услед непрекидног смењивања процеса савијања и истезања у свакој тачки савијеног инструмента близу кривине канала. Овај механизам је одговоран за 90% случајева прелома инструмената (Sabet и остали, 2020; Vinothkumar и остали, 2016). Генерално, торзиони прелом инструмената се смањује, а циклични замор (прелом који настаје приликом савијања) се повећава како се величина инструмента повећава (Alapati и остали, 2003; Naikel и остали, 1998). Због тога је од велике важности константно спроводити тестове цикличног замора на новим системима НиТи инструмената чиме би се клиничарима обезбедиле информације о њиховој отпорности на преломе.

Постоји велики број фактора који могу утицати на појаву прелома НиТи инструмената укључујући:

1. вештину/искуство оператера,
2. технику инструментације,
3. динамику употребе инструмента,
4. број употреба,
5. дизајн инструмента,

6. анатомску конфигурацију канала,
7. начин производње инструмента (металургију),
8. средства за иригацију канала корена,
9. стерилизација.

2.8 ФАКТОРИ КОЈИ ДОВОДЕ ДО ПРЕЛОМА

2.8.1 Искуство оператера

Један од најзначајнијих фактора који доводе до фрактуре ротационих НиТи инструмента и који је често пријављиван као кључни фактор у односу на појаву прелома је искуство стоматолога (Mandel и остали, 1999; Mesgouez и остали, 2003; Sonntag и остали, 2003; Yared и остали, 2002). Неискуство односно необученост стоматолога за примену машинских НиТи система могу довести до веће стопе прелома ротирајућих инструмената (Yared и остали, 2001, 2002). Управо из тог разлога како би се избегла могућност прелома ових инструмената неопходна је обука која је кључна за избегавање оваквих компликација (Karagoz-Kucukay и остали, 2003). Искуство стоматолога утиче на стопу дефекта на самим инструментима, не само због чињенице да може бити повезано са клиничком вештином већ и одлуком да се инструменти користе одређени број пута или док дефекти не буду евидентни (Baumann & Roth, 1999; Parashos и остали, 2004). Сваки ротациони НиТи систем захтева важност правилне обуке и почетни надзор у коришћењу НиТи ендодонтских система јер ће се ови инструменти ломити ако се користе неправилно или претерано.

2.8.2 Техника инструментације

Успех ендодонтског третмана у великој мери зависи од правилно формираног приступног кавитета. Иако је препарација приступног кавитета прва активна фаза ендодонтског третмана она није и мање важна. Приступни кавитет има за циљ да обезбеди праволинијски приступ каналима корена без заглављивања и савијања односно да се омогући потпуна контрола над инструментима који ће се користити за ширење и обликовање канала корена (Janik, 1984). Уколико инструменти могу лако да прођу кроз

канале корена, снага савијања и заглављивања се смањује, а самим тим су и торзионо оптерећење и циклични замор мањи (Yared & Kulkarni, 2002).

Такође, препоручује се да се канал корена прво обради ручним каналним инструментима мањих димензија како би се направила проходност пре коришћења машинских ротационих НиТи инструмента. На овај начин првобитно проширење апексне трећине канала корена мањим и финим ручним инструментима од нерђајућег челика значајно смањује стопу прелома ротационих инструмената (Verutti и остали, 2004). Ручна инструментација не само да омогућава разумевање оригиналне анатомије канала, већ и резултира драстичним смањењем торзионог напрезања (Verutti и остали, 2004).

2.8.3 Динамика употребе инструмента

2.8.3.1 Обртни момент

Обртни момент је важан параметар који значајно утиче на учесталост деформације и прелома инструмента. Конвенционални електромотори не дозвољавају контролу обртног момента, а пад ваздушног притиска може утицати на брзину ротације а самим тим и смањење обртног момента. Управо из тог разлога се електромотори са контролом обртног момента препоручују за употребу са ротационим НиТи системима. Ендомотори са контролисаним обртним моментом, смањују прелом инструмента услед торзионог преоптерећења (Gambarini, 2001; Yared & Kulkarni, 2002). Електромотори су развијени да контролишу и брзину ротације и обртни момент током инструментације канала корена, тако да када обртни момент на инструменту који ротирајући константном брзином достигне унапред подешени ниво, мотор аутоматски мења смер ротације и дозвољава да се турпија повуче пре него што се заглави и преломи у каналу корена (Yared, Bou Dagher, и остали, 2003).

2.8.3.2 Брзина

Произвођачи препоручују одређени број ротација у минути ради безбедне употребе ротационих НиТи инструмената, који је обично у опсегу од 250-600 о/мин. Брзина ротације представља мањи фактор у поређењу са другим који би довели до прелома инструмента.

Постоје подељена мишљења о негативном утицају брзине ротације на учесталост прелома (Herold и остали, 2007; Martín и остали, 2003) али и обрнуто (Pruett и остали, 1997; Yared и остали, 2002). Утицај брзине ротације на прелом инструмента остаје да се разјасни, при чему се велике потешкоће јављају када се у студије користе различите методе тестирања, типови инструмената и искуство оператера који учествују у студији.

2.8.3.3 Манипулација инструментом

Приликом рада машинским ротирајућим НиТи инструментима препоручена је *slow down* техника при чему се прво обрађују крунична и средња трећина канала корена, од инструмената веће коничности ка инструментима мање коничности. Истраживачи су заговарали покрет кључања који смањује апексне силе током припреме канала корена, као важан начин да се спречи циклични замор изазван обртним моментом (Haikel и остали, 1999; Sattapan, Palamara, и остали, 2000). С тога и није препоручено да инструмент ради на истој дубини у каналу. Такође се не препоручује коришћење ових инструмената у оштрим апексним кривинама. Неопходно је радити без икаквог форсирања уз обилну лубрикацију при чему је препоручено да један циклус за један инструмент у каналу не буде дужи од 5 до 8 секунди (Knowles и остали, 2006).

2.8.4 Број употреба

Питање о клиничкој учесталости употребе ротационих никл-титанијумских турпија остаје без одговора. Још увек постоји нејасноће у погледу пружања смерница о питању броја употреба, посебно у вези са ротирајућим НиТи инструментима где њихово оштећење није клинички евидентно пре прелома. Због чињенице да се ротирајуће НиТи турпије могу ломити услед замора без претходних доказа о пластичној деформацији, неки клиничари су заговарали једнократну употребу ових инструмената (Arens и остали, 2003). Међутим, начин на који се користе ротирајући НиТи инструменти од стране клиничара може значајније утицати на прелом у односу на то колико пута се користе. Такође, треба нагласити да прелом може бити последица комбинације грешака у производњи и сложене анатомије канала корена третираног зуба (Parashos и остали, 2004; Shen и остали, 2009). Међутим, без обзира на начин на који се ротирајући НиТи инструменти користе, они

подлежу смањеној отпорности на замор при савијању са поновљеном употребом и обртним моментом неопходним да изазове прелом претходно коришћених инструмента у поређењу са новим инструментима. Стога је прихватљивије да се инструменти који су се користили за обраду одређеног броја канала корена одбаце, уместо да се чекају појаве деформације и деформације истих.

2.8.5 Анатомска конфигурација канала корена

Морфолошке и анатомске карактеристике зуба, као и њихова варијабилност, од пресудног су значаја у клиничкој стоматологији и могу се посматрати кроз спољашњу и унутрашњу морфологију зубне круне и корена. Ниједан ендодонски третман не може бити успешан без доброг познавања бројних фактора као што су: број корена, њихов положај, облик, дужина и правац пружања, јер су ови параметри другачији код различитих индивидуа и популација (Loh, 1998; Vertucci, 2005). Дужина канала је директно пропорционална површини дентина у контакту са ротирајућим инструментом. На овај начин се утиче на повећање стреса на инструмент чиме се изазива циклични замор. Корени зуба, посебно премолара и молара, веома су проблематични у апексној трећини зуба, па се инструментација овог дела канала, током ендодонског третмана, спроводи са великом пажњом. Честе варијације броја канала корена, конфигурација пулпне шупљине као и недовољно познавање морфологије могу утицати на исход ендодонтске терапије (Pécora и остали, 1991). Различита морфологија представља велики изазов за стоматологе због чега је разлог бројних истраживања спроведених у овој специфичној области (Atieh, 2008; Rwenyonyi и остали, 2007). Анатомија апикалне трећине је врло специфична и може бити са изузетно оштрим кривинама које могу довести до значајног торзионог оптерећења ротирајућег НиТи каналног инструмента (Green, 1955).

Торзионо оптерећење ротирајућих НиТи инструмената је такође изражено током припреме узаних канала. Обртни момент неопходан за ротацију инструмента може премашити границу торзије легуре, што може довести до одвајања дела инструмента (Sattapan, Nervo, и остали, 2000).

Замор инструмента који се ротира у закривљеном каналу постаје већи како се угао закривљености повећава а радијус закривљености смањује (U. Li и остали, 2002; Roland и остали, 2002). Ово савијање турпије може довести до стварања површинских пукотина у овим областима концентрације затезног напона, што доводи до прелома.

2.8.6 Металургија (процес производње)

Настојањем да се унапреде механичка својства турпија, која представљају значајан фактор који доприноси појави фрактуре, произвођачи су модификовали микроструктуру површине или легуре током процеса производње. Погледати поглавље 2.3.2 (Процес производње (начин производње)).

2.8.7 Дизајн инструмента

Значајан фактор у погледу учесталости прелома, такође може бити дизајн попречног пресека. У погледу облика попречног пресека, разне врсте НиТи ротационих система су заступљени на тржишту, од којих сваки има јединствен облик попречног пресека а самим тим и другачије понашање у погледу расподеле стреса а самим тим и појаву прелома. Погледати поглавље 2.3.3 (Дизајн ротирајућих каналних инструмената).

2.8.8 Утицај ириганаса

Препарацију канала корена као најважније фазе ендодонтског третмана је немогуће урадити без обилне иригације. Због недостатка лубриканта у сувим каналима, инструменти не могу ефикасно да функционишу. Њихова ефикасност се управо постиже у влажним каналима корена зуба. На овај начин ириганси који се користе током ендодонтског третмана олакшавају инструментацију, тиме се натапа и емулзира садржај унутар канала, а делују и као растварачи некротичног ткива, органских и неорганских материја. Они помажу у уклањању остатака из помоћних и латералних канала и рамификација где инструменти који се користе током обраде канала не могу да допру. Уклањање остатака некротичног ткива из

латералних канала корена на ефикаснији начин је дуго био циљ средстава за иригацију канала корена. Ако се ириганс меша и распршује по каналном систему, он може боље да постигне своје физичке и хемијске циљеве стварањем притиска смицања и струјања (Gu и остали, 2009). Један од начешће коришћених ириганаса је NaOCl са којим ротирајући NiTi инструменти долазе у контакт током процеса чишћења и обликовања канала, као и током поступка дезинфекције. NaOCl има неколико значајних предности које се могу огледати у снажном антибактеријском и протеолитичком деловању. То је лубрикант са брзим почетком деловања. Међутим, упркос бројним позитивним карактеристикама, NaOCl има и значајне недостатке, укључујући чињеницу да је веома корозиван у високим концентрацијама за метале, посебно за NiTi инструменте јер уклања никл са површине и на тај начин ствара микрочупљине (Stokes и остали, 1999). Претпоставља се да ови микроструктурни дефекти могу деловати као области концентрације напрезања и стварања пукотина, чиме се слаби структура инструмента (Shen и остали, 2012).

2.8.9 Утицај стерилизације

Ефекат стерилизације на ротационе NiTi турпије је био у фокусу различитих студија. Постоје бројне контрадикторности по питању утицаја процеса стерилизације на фрактуру ротирајућих NiTi инструмента. Након вишеструког излагања NiTi инструмента процесима стерилизације може доћи како до покретања и ширења тако и продубљивања површинских неправилности као и смањење ефекта сечења (Mize и остали, 1998; Valois и остали, 2005). Овакве површне неправилности могу се запазити помоћу скенинг електронске микроскопије (SEM) (Alexandrou и остали, 2006). Ово се приписује променама у дебљини пасивног TiO₂ слоја који покрива површину инструмента (Thierry и остали, 2000). Међутим, захваљујући завршној обради код инструмената нових генерација могуће је да топлота стерилизације позитивно утиче на деформисан инструмент и врати га у првобитни облик (Silvaggio & Hicks, 1997; Yared и остали, 2000). Међутим, позитиван ефекат стерилизације се може очекивати искључиво код инструмената који су у завршној производној процедури термички обрађени.

3. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Ради доказивања ефикасности нових генерација ротирајућих никл-титанијумских инструмената у каналима коренова комплексне морфологије постављени су циљеви:

1. Испитати ефикасност сечења шест различитих типова комерцијално доступних никл-титанијумских ротирајућих инструмената анализом ултраструктуре дентинске површине канала корена.
2. Извршити анализу коренског дентина пре и после уклањања размазног слоја након обраде канала корена различитим типовима ротирајућих никл-титанијумских инструмената.
3. Испитати утицај различитих углова закривљености канала коренова на ефикасност и отпорност ротирајућих никл-титанијумских инструмената.
4. Извршити електрохемијско испитивање осетљивости конвенционалних и третираних никл-титанијумских инструмената у раствору натријум хипохлорита, као и утицај корозије на ултраструктуру инструмената, појаву цикличног замора и учесталост фрактура.
5. Испитати утицај стерилизације у аутоклаву на ултраструктуру инструмената, појаву цикличног замора и фрактура.
6. Упоредити добијене резултате третираних инструмената нових генерација у односу на конвенционалне инструменте, као и поређење резултата између свих испитиваних типова међусобно са циљем утврђивања најефикаснијег и најпоузданијег типа инструмента у обради канала коренова комплексне морфологије.

У истраживању су постављене хипотезе:

Хо: Не постоји разлика у изгледу дентинске површине канала корена зуба и разлика у отпорности на циклични замор и фрактуру приликом обраде каналних система различитим никл-титанијумским инструментима у различитим угловима закривљености, и у условима изложености средствима за дезинфекцију и циклусима стерилизације.

Ха: Постоји разлика у изгледу дентинске површине канала корена зуба и разлика у отпорности на циклични замор и фрактуру приликом обраде каналних система различитим никл-титанијумским инструментима у различитим угловима закривљености, и у условима изложености средствима за дезинфекцију и циклусима стерилизације.

4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

4.1 ИНСТРУМЕНТИ

У истраживање је било укључено шест типова ротирајућих никл-титанијумских инструмената, један конвенционални и пет третираних типова нових генерација. Сви инструменти су били 25мм дужине, дијаметара врха 0,25мм, и различитог степена коничности:

1. ProTaper Universal (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) (#25, степен коничности 0.04) (конвенционални инструменти)
2. BioRace (FKG, Dentaire, Switzerland) (#25, степен коничности 0.04) (електрополирани инструменти)
3. ProTaper Next (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) (#25, степен коничности 0.06) (инструменти произведени М-wire технологијом)
4. Twisted File (SybronEndo, Orange, CA, USA) (#25, степен коничности 0.04) (инструменти произведени R-wire технологијом)
5. HyFlex CM (Coltene, Whaledent, Altstätten, Switzerland) (#25, степен коничности 0.04) (термички обрађени инструменти са контролисаном меморијом)
6. WaveOne Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) (#25, степен коничности 0.07) (инструменти произведени М-wire технологијом)

4.2 ИСПИТИВАЊЕ СЕЧИВНЕ ЕФИКАСНОСТИ РОТИРАЈУЋИХ НИТИ ИНСТРУМЕНАТА

Испитивање је урађено у *in vitro* студији (одобрење Етичког одбора Клинике за денталну медицину Ниш (14/9-2019-ЗЕО) и Медицинског факултета у Нишу (12-6025)). Биолошки материјал чинила су 72 екстрахирана зуба горње и доње вилице пацијената оба пола, старости од 18 до 65 година различите закривљености коренова. Зуби су индиковани за екстракцију због немогућности лечења, због пародонтопатије и из ортодонтских разлога. Снага студије и величина узорка је одређена према препорукама Института за јавно здравље у Нишу.

Зуби су били подељени у шест група, у односу на тип система Нити инструмената којим је вршена обрада канала корена.

I група - зуби чији су канали корена препарисани инструментима ProTaper Universal са пуном ротацијом;

II група - зуби чији су канали корена препарисани инструментима BioRace са пуном ротацијом;

III група - зуби чији су канали корена препарисани инструментима ProTaper Next са пуном ротацијом;

IV група - зуби чији су канали корена препарисани инструментима Twisted File са пуном ротацијом;

V група - зуби чији су канали корена препарисани инструментима HyFlex CM са пуном ротацијом;

VI група - зуби чији су канали корена препарисани инструментима WaveOne Gold са реципрочним покретима.

Крунице зуба су препарисане високотуражном машином и дијамантским борером. Након препарације приступног кавитета карбидним борером испитана је иницијална проходност канала корена. Након визуелног уочавања инструмента у пределу апекса, радна дужина је скраћена за 1мм, а врх корена запечаћен куглицом розе воска. Препарација канала корена рађена је од стране једног истраживача, крунично апексном техником.

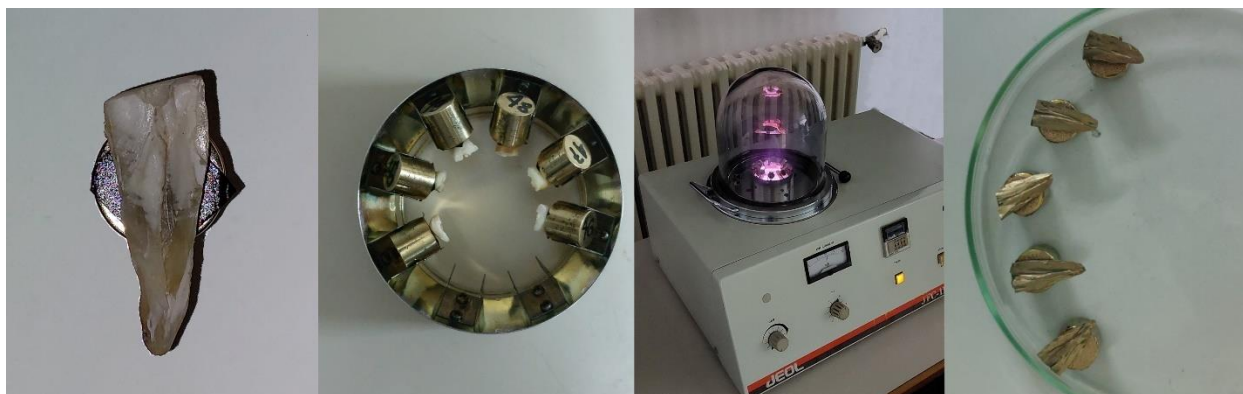
Препарација канала корена сваке групе зуба реализована је са по једним типом инструмента одговарајућег система ротације. Инструменти са пуном ротацијом су се континуирано ротирали у десно са отпором и брзином препорученим од стране произвођача (ProTaper Universal – 250 rpm, 2.5 Ncm torque; BioRace – 600 rpm, 1.0 Ncm torque; ProTaper Next - 300 rpm, 2.0 Ncm torque; Twisted File – 500 rpm, 2.0 Ncm torque; HyFlex CM – 500 rpm, 2.5 Ncm torque). Код реципрочних покрета су коришћена интегрисана подешавања произвођача (WaveOne Gold – 350 rpm, 170° CCW, 50° CW). Препарација канала је извршена електричним ендомотором (X-smart plus, Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland).

Након провере проходности канала корена зуба и одређивања радне дужине, канал је испуњен физиолошким раствором, након тога одговарајући тип инструмента је пласиран благим покретима увлачења и извлачења (3-5) до апексне границе препарације. Ради припремања адекватног узорка за СЕМ анализу, крунице зуба су одсецане. Преостали коренови су уздужно засечени дијамантским диском у насаднику са воденим хлађењем са

вестибуларне и оралне стране, након чега су раздвојене уздужне половине коренова. Једна половина сваког корена је испирана иригационим растворима по следећем протоколу: 2 ml раствора 2,5% NaOCl после инструментације, а затим испирање 17% раствором EDTA. Завршна иригација половине корена је реализована са додатних 2 ml раствора NaOCl. Друга уздужна половина корена није испирана после иригације и служила је као контролни узорак на коме је испитивана структура размазног слоја.

4.3 СЕМ АНАЛИЗА

Припрема узорака за СЕМ анализу је подразумевала њихово причвршћивање за цилиндричне носаче средством за фиксирање (Dotite paint хс 12 Carbon JEOL, Tokyo, Japan) и наношење танког слоја злата у уређају за јонско распршивање (JFC 1100E Ion Sputter JEOL) (Слика 9).



Слика 9. Процес припреме узорака дентинских површина за СЕМ анализу

Дентинске површине су анализиране скенинг електронском микроскопу (СЕМ) (JEOL-JSM-5300, Токуо, Јапан) (Слика 10). За сваки узорак су направљене стандардизоване микрографије на увећањима $\times 1000$ и $\times 2000$, на којима је анализирана ултраструктура површине дентина и извршено оцењивање од стране истраживача.

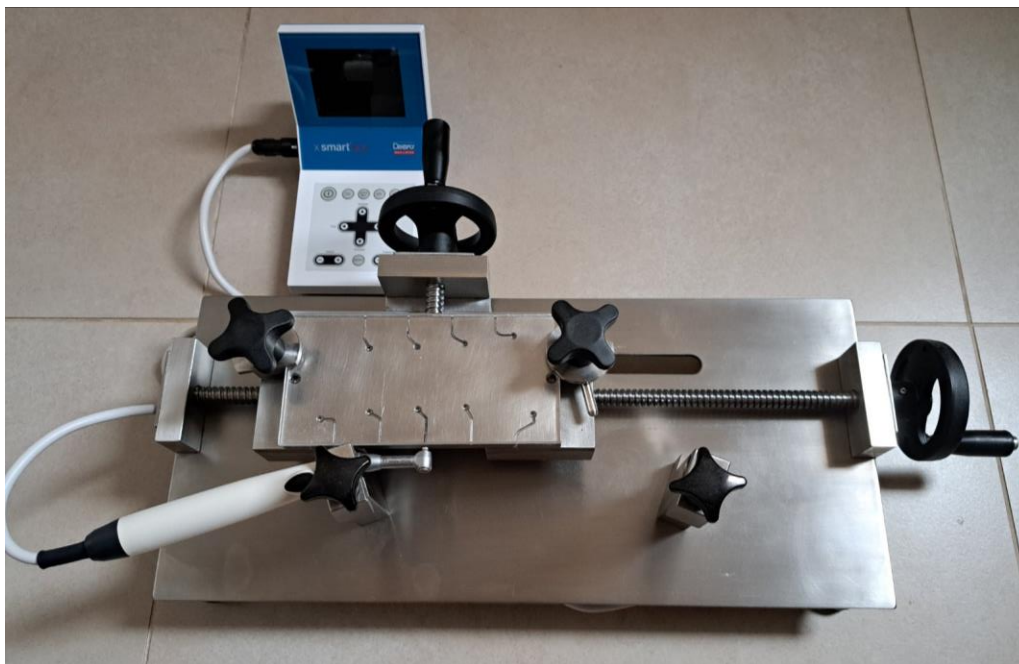


Слика 10. Скенинг електронски микроскоп

4.4 ТЕСТ ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА

За потребе експеримента конструисан је специјални метални блок од нерђајућег челика у складу са истраживањем (Plotino и остали, 2009) (Слика 11). Овај блок је садржао 9 машински урезаних артифицијалних канала за испитивање инструмената, дужине 19 mm и унутрашњег дијаметра 1,4 mm, и различитим угловима закривљености. У студији су за тестирање инструмената коришћени углови од 45 и 60 степени, два са радијусом закривљености од 5 mm, а два са радијусом закривљености од 2 mm. У свим каналима, центар кривине је био удаљен 5 mm од врха канла. Инструменти сваке групе подељени су у 2 подгрупе од по 12 инструмената. Једна подгрупа је тестирана на циклични замор у радијусу кривине 5 mm, а друга подгрупа у радијусу кривине 2 mm. Метални блок је био постављен на бази са стопама и биле су му омогућене кретње у два правца ради лакшег постављања инструмената у канал. Канал је био прекривен каљеним стаклом да омогући посматрање ротирајућег инструмента и спречи испадање поломљеног фрагмента. У истраживању је примењен статички тест цикличног замора. Колењак је био фиксиран у металном прстенастом држачу управно на канал. Инструменти су уношени у канал до врха и ротирани коришћењем електричног ендомотора (X-smart plus, Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland). За смањење трења инструмената са зидовима канала од нерђајућег челика коришћен је глицерин. Пет типова инструмента су континуирано ротирани удесно, а само

један тип инструмента је имао реципрочне покрете, са константним отпором и брзином, по препоруци произвођача. (ProTaper Universal – 250 rpm, 2.5 Ncm torque; BioRace – 600 rpm, 1.0 Ncm torque; ProTaper Next - 300 rpm, 2.0 Ncm torque; Twisted File – 500 rpm, 2.0 Ncm torque; HyFlex CM – 500 rpm, 2.5 Ncm torque, WaveOne Gold 500 rpm). Ротација инструмента је анализирана визуелно, а прелом је регистрован визуелно и звуком. Време ротације до прелома инструмента је мерено је у секундама дигиталном штопером.



Слика 11. Уређај за мерење цикличног замора

Број циклуса до фрактуре (NCF) је рачунат према формули:

$$NCF = \text{број обртаја} \times \text{време до фрактуре у секундама} / 60$$

Дужина преломљеног фрагмента (FL) је мерена калипером по Верниеру са тачношћу 0,02 mm.

4.5 ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКО ИСПИТИВАЊЕ КОРОЗИЈЕ ЕНДОДОНТСКИХ ИНСТРУМЕНАТА

На осетљивост на корозију тестирана су укупно 72 инструмента, по 12 инструмената сваког типа. Мерења су изведена у раствору 5,25% NaOCl (фабричких литарских раствора натријум хипохлорита за избељивање). Корозионо понашање испитиваних узорка

(ендодонтских инструмената) је оцењивано применом потенциодинамичке методе. Испитивања су изведена коришћењем једноделне корозионе ћелије 1 потенциостата/галваностата PGSTAT 128N Potenciostat/Galvanostat са одговарајућим софтвером (Слика 12). Као каунтер електрода коришћена је спирала од платине. Сви потенцијали су мерени у односу на референтну сребро-среброхлоридну електроду (Ag/AgCl). Радна електрода, у овом случају ендодонтски инструмент је урањан у раствор NaOCl који је увек свеж сипан у корозиону ћелију пре почетка мерења. Сваки инструмент је урањан у раствор, тако да само радни део њега буде потопљен, док је равни део предвиђен за стезање/држање био ван раствора.



Слика 12. Изглед корозионе ћелије и потенциостата са кабловима, десно изглед поларизационих крива на рачунару (Akrabis Scientific Limited)

Софтверски је подешено, да инструменти буду потопљени у раствору 15 с пре почетка раста потенцијала, а почетни потенцијал биран тако да буде мањи за 0,1-0,2 V од потенцијала отвореног кола. Снимање анодних крива поларизације E и I је изведено помоћу одговарајућег софтвера NOVA 2.1.5. применом технике линеарног прираштаја потенцијала са брзином од 0,2 mV/s . Температура раствора је амбијентална I изведена је на температуре од 23 ± 3 °C . Вредност потенцијала, при коме долази до наглог пораста струје означен је као питинг потенцијал (U_p). Нагли пораст густине струје резултат је локалног растварања површине метала и формирања јамица (питова) на тим местима. Рађено је укупно 12 мерења на 12 узорака инструмента за сваки од 6 типова. Резултати корозионе отпорности представљају средњу вредност питинг потенцијала за 12 идентичних узорака. Након

електрохемијског испитивања, инструменти су подвргнути тесту цикличног замора ради испитивања утицаја корозије иригационог раствора натријум хипохлорита на појаву замора легуре.

4.6 ИСПИТИВАЊЕ УТИЦАЈА СТЕРИЛИЗАЦИЈЕ У АУТОКЛАВУ НА УЛТРАСТРУКТУРУ И ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР КОД НиТи ИНСТРУМЕНАТА

Испитивано је шест типова НиТи ротирајућих инструмената: конвенционални ProTaper Universal, електрополирани BioRace, M-wire ProTaper Next, увијен и термички обрађен Twisted File, термички обрађен са контролном меморијом HyFlex CM и M-wire са реципрочним покретима WaveOne Gold. Сваки тип обухватао је 96 инструмената подељених у 4 групе: група I – 24 нестерилисана инструмента; група II – 24 инструмента су подвргнута 1 циклусу стерилизације; група III – 24 инструмента су стерилисана 3 пута; група IV – 24 инструмента је стерилисано 5 пута.

Инструменти су стерилисани у аутоклаву (Cliniclave 45M, MELAG, Berlin, Germany). Сваки циклус је изведен на температури од 134°C у трајању од 43 минута (укључујући 23 минута стерилизације и 20 минута сушења). Након стерилизације, инструменти су подвргнути тесту цикличног замора. Сломљени фрагменти су након тога подвргнути ултразвучном чишћењу (Sonic 4G, 40KHz, Sonic, Ниш, Србија) у 70% алкохолу да би се уклониле нечистоће, а њихова ултраструктура је посматрана на СЕМ-у. Узорци су припремани за СЕМ анализу стандардном процедуром. Анализирана је ултраструктура површине прелома инструмената као и појава иницијалних пукотина на ободу пресека на увећањима $\times 200$ и $\times 2000$.

4.7 СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА

Резултати статистичке анализе су приказани у табеларно, док су статистички прорачуни извршени помоћу SPSS, верзија 20. Резултати су приказани у облику аритметичке средине (\bar{x}) и стандардне девијације (SD). Нормалност дистрибуције је

тестирана Kolmogorov-Smirnov тестом. Поређење аритметичких средина 2 независна узорка извршено је t тестом, док је у случајевима неправилне расподеле података коришћен непараметарски Mann Whitney U тест. Поређење 3 или више група је извршено ANOVA, након чега је коришћен Tukey post hoc тест за одређивање значајности између појединачних група. Статистичка хипотеза је тестирана на нивоу значајности за ризик од $\alpha=0.05$, односно разлика између узорака је сматрана значајном ако је $p<0,05$.

4.8 ИНСТИТУЦИЈЕ У КОЈИМА ЈЕ ОБАВЉЕНО ИСТРАЖИВАЊЕ

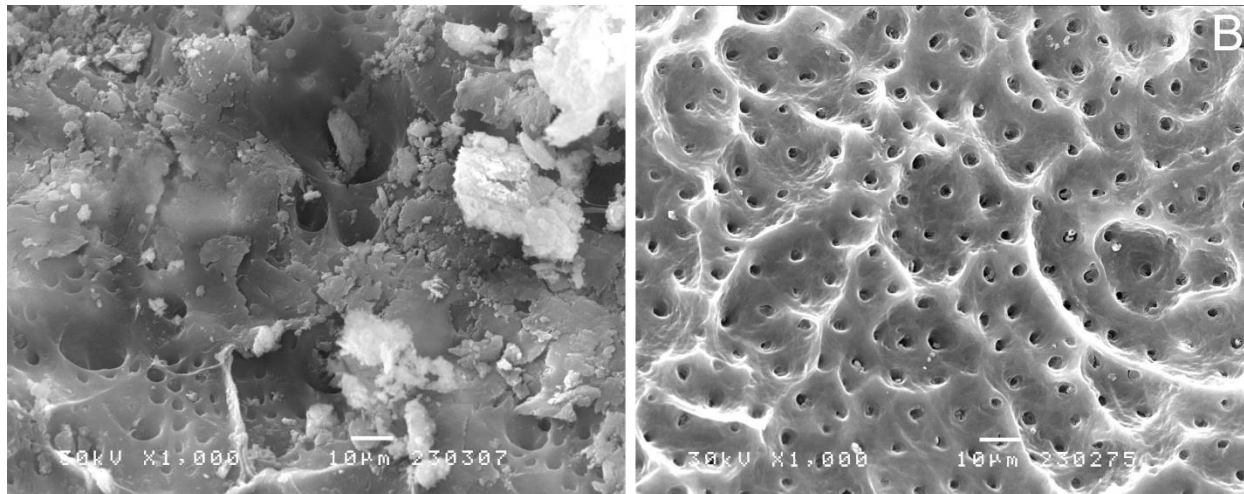
1. Одељење за Болести зуба и ендодонцију, Клиника за денталну медицину у Нишу
2. Одељење за Оралну хирургију, Клиника за денталну медицину у Нишу
3. Научноистраживачки центар за биомедицину, Медицински факултет у Нишу
4. Лабораторија за испитивање машинских материјала, Машински факултет у Нишу

5. РЕЗУЛТАТИ

5.1 УЛТРАСТРУКТУРНА АНАЛИЗА ДЕНТИНА КАНАЛА КОРЕНА ЗУБА НАКОН МЕХАНИЧКЕ ОБРАДЕ ПРЕ И ПОСЛЕ ЗАВРШНЕ ИРИГЦИЈЕ

Ултраструктурна анализа дентина корена зуба након машинске обраде, без примењеног завршног протокола иригације показала је значајне резултате у ефикасности различитих типова ротирајућих НиТи инструмената.

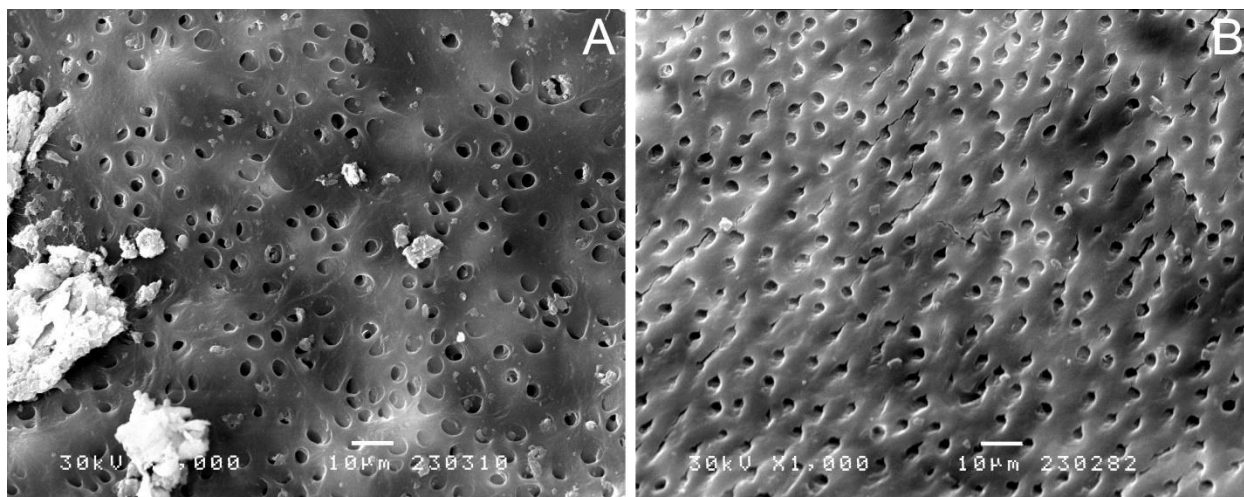
На слици 13А приказан је дентин корена зуба након обраде канала коришћењем конвенционалног ProTaper Universal. Дентински тубули се местимично уочавају. Размазни слој није хомоген и заклоњен је крупним партикулама остатака дентинског ткива. Након машинске обраде и завршне иригације изведене комбинацијом 2,5% NaOCl и 17% EDTA, уочава се да је највећи део дебриса уклоњен. Отвори дентинских каналића су јасно ограничени. Унутар дентинских каналића се уочавају ситне дентинске партикуле интерпониране током инструментације. Површина обрађеног дентина није била глатка јер се местимично уочавају неинструментисане зоне (Слика 13В).



Слика 13. Ултраструктурна анализа зида канала корена након машинске обраде помоћу инструмента ProTaper Universal без иригације (А) и са завршном иригацијом 2,5% NaOCl и 17% EDTA (В)

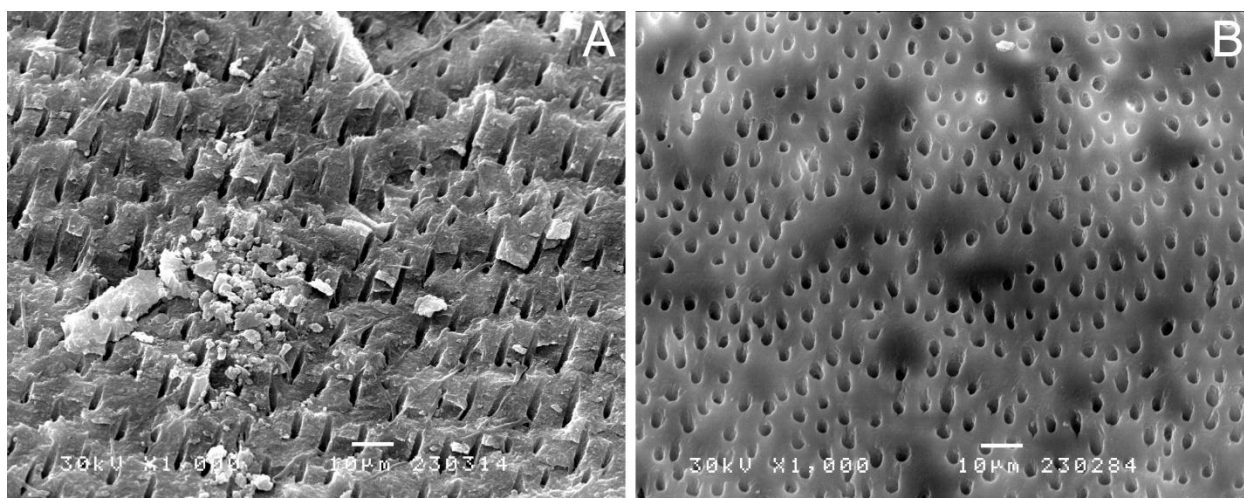
Анализом дентина корена зуба након коришћења инструмента ProTaper Next уочена је чиста дентинска површина без размазног слоја али са местимично присутним крупним остацима дентинских опиљака (Слика 14А). Након завршне иригације употребом комбинације 2,5% NaOCl и 17% EDTA, уочава се да је дентински дебрис потпуно уклоњен.

Отвори дентинских каналића су приближно уједначеног облика и дијаметра. На појединим местима се уочава спајање два или више отвора. Дентинска структура је очувана (Слика 14B).



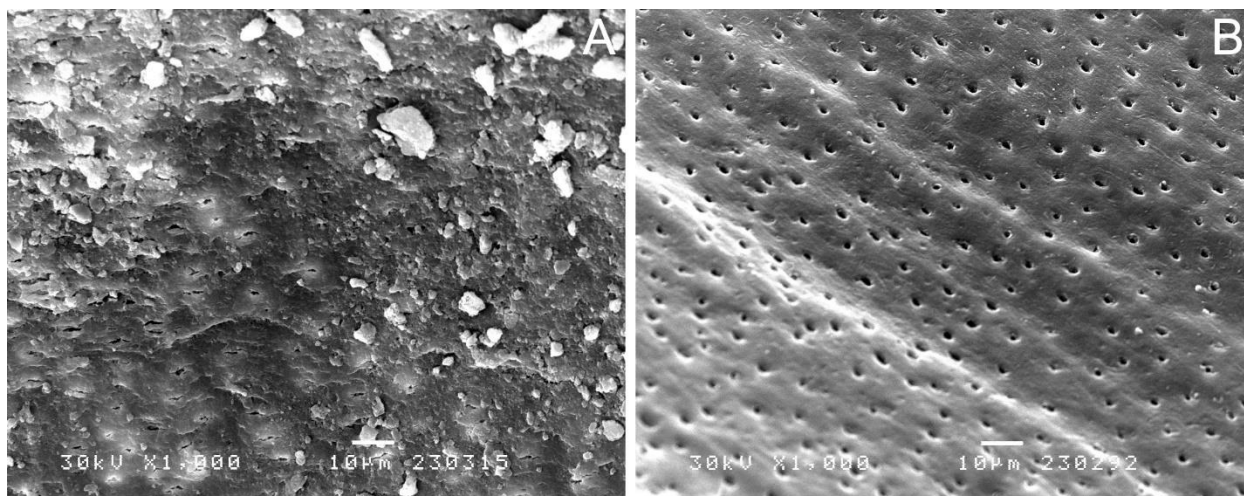
Слика 14. Ултраструктурна анализа зида канала корена након машинске обраде помоћу инструмента ProTaper Next без иригације (A) и са завршном иригацијом 2,5% NaOCl и 17% EDTA (B)

После инструментације канала корена коришћењем Twisted File, уочавају се отвори дентинских каналића и дентинска површина без размазног слоја али са местимичним остацима дентинског дебриса (Слика 15A). Након завршне иригације применом 2,5% NaOCl и 17% EDTA, уочава се да је дентински дебрис уклоњен. Ултраструктура указује на очувану и чисту структуру дентинске површине, као и отворене дентинске тубуле са карактеристичним овалним и уједначеним луменом (Слика 15B).



Слика 15. Ултраструктурна анализа зида канала корена након машинске обраде помоћу инструмента Twisted File без иригације (A) и са завршном иригацијом 2,5% NaOCl и 17% EDTA (B)

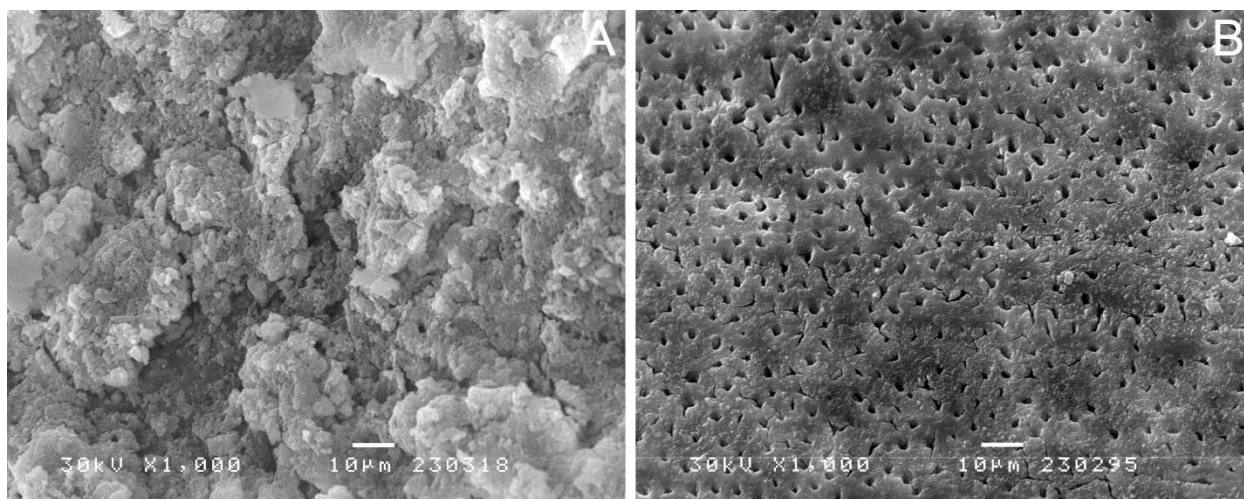
Анализом дентина канала корена након машинске обраде коришћењем инструмената WaveOne Gold уочава се размазни слој хомогене структуре, настао као резултат реципрочних кретњи, који у потпуности прекрива отворе дентинских каналића. Уочавају се ретке разбацане партикуле дентинског дебриса (Слика 16А). Након завршне иригације изведене комбинацијом 2.5% NaOCl и 17% EDTA, уочава се чиста дентинска површина без размазног слоја. Отвори дентинских каналића су приближно уједначеног облика и дијаметра. На површини узорака читавом ширином се виде карактеристичне импресије у виду жлебова, чији је настанак условљен реципрочним покретима WaveOne Gold инструмената. Захваљујући томе омогућена је агитација ириганса и његово активирање, као и могућност да се уклоне остаци из самих дентинских каналића (Слика 16В).



Слика 16. Ултраструктурна анализа зида канала корена након машинске обраде помоћу инструмента WaveOne Gold без иригације (А) са завршном иригацијом 2,5% NaOCl и 17% EDTA (В)

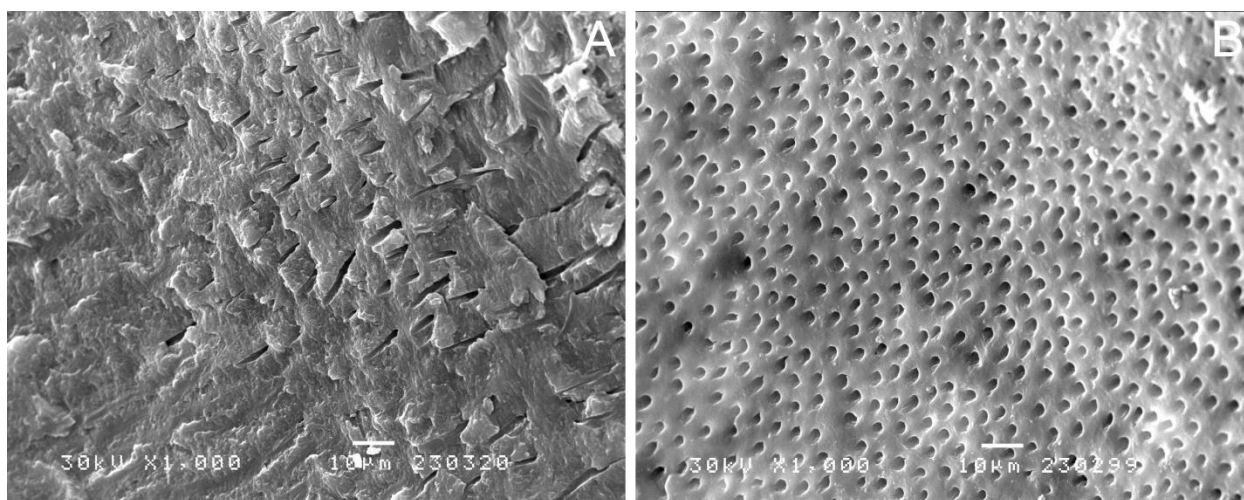
Припремањем канала корена применом инструмента HyFlex CM уочава се нехомогена структура размазног слоја која у потпуности покрива дентинске каналиће. Крупне партикуле дентинског дебриса се уочавају по читавој дентинској површини (Слика 17А). Након уклањања размазног слоја комбинацијом 2,5% NaOCl и 17% EDTA, добијена је чиста али неравна дентинска површина, налик на еродовану, са местимично присутним неинструментисаним зонама. Посматрајући структуру дентина, отвори дентинских

каналића су нејасно ограничени, а на више места се уочава спајање два или више отвора (Слика 17B).



Слика 17. Ултраструктурна анализа зида канала корена након машинске обраде помоћу инструмента HuFlex SM без иригације (A) и са завршном иригацијом 2,5% NaOCl и 17% EDTA (B)

После инструментације каналног система коришћењем инструмената BioRace уочен је хомогени размазни слој. Отвори дентинских каналића се уочавају у виду пукотина јер су заклоњени размазним слојем, док крупније дентинске партикуле нису присутне (Слика 18A). Након завршне иригације применом 2,5% NaOCl и 17% EDTA уочава се чиста и очувана структура дентинске површине, отворени дентински тубули са карактеристичним овалним и неуједначеним луменом са ретким пољима неинструментисаних зона (Слика 18B).



Слика 18. Ултраструктурна анализа зида канала корена након машинске обраде помоћу инструмента BioRace без иригације (A) и са завршном иригацијом 2,5% NaOCl и 17% EDTA (B)

5.2 РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА НЕТРЕТИРАНИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА

5.2.1 Резултати вредности цикличног замора добијени тестирањем инструмената у каналу угла закривљености од 45°

У оквиру групе инструмената тестираних у каналу са углом закривљености од 45 степени и радијусом од 2 mm, ProTaper Universal је показао статистички значајно мања отпорност на циклични замор у поређењу са свим осталим врстама инструмената (353,25±9,57) ($p < 0,001$). Значајно већи NCF је запажен у поређењу Twisted file (1446±33,11) и HyFlex CM (7486,66±1062,08) ($p < 0,001$), Twisted file (1446±33,12) и WaveOne Gold (2220,00±273,56) ($p < 0,001$), BioRace (910±37,25) и HyFlex CM (7486,66±1062,08, BioRace (910±37,25) и WaveOne Gold (2220,00±273,56) ($p < 0,001$), HyFlex CM (7486,66±1062,08) и ProTaper Next (1256±101,25) ($p < 0,001$), HyFlex CM (7486,66±1062,08) и WaveOne Gold (2220,00±273,56) ($p < 0,001$) као и код ProTaper Next (1256±101,25) и WaveOne Gold (2220,00±273,56) ($p < 0,001$) (Табела 1)

Табела 1. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	353,25	9,57	4,18	0,64
ProTaper Next 25/06	1256,00	101,26	2,90	0,44
Twisted File 25/04	1446,00	33,12	4,10	0,31
WaveOne Gold 25/07	2220,00	273,56	4,10	0,30
HyFlexCM 25/04	7486,67	1062,09	5,40	0,66
BioRace 25/04	910,00	37,25	5,05	0,38
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, G, H, J, K, M, N, O,		A, D, E, F, G, H, I, K, L, M, N	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Статистички значајна разлика је забележена у контролној групи инструмената тестираних у каналу угла од 45 степени и радијуса 5 mm између свих тестираних типова инструмената ($p < 0,001$), осим између BioRace (1299,91±100,73) и ProTaper Next (1280±51,43) (Табела 2).

Табела 2. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 5mm

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	362,00	11,88	4,56	0,58
ProTaper Next 25/06	1280,00	51,43	3,41	0,19
Twisted File 25/04	2075,00	296,19	4,48	0,44
WaveOne Gold 25/07	2433,33	99,48	6,00	0,38
HyFlexCM 25/04	9106,75	463,26	5,70	0,84
BioRace 25/04	1299,92	100,74	5,30	0,49
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, O		A, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, N	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Анализа резултата је показала да различит радијус угла утиче на појаву цикличног замора нетретираних инструмената. Вредност NCF је била виша код инструмената тестираних у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са каналом радијуса 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за Twisted file, BioRace HyFlex CM ($p < 0,001$). Средња вредност FL била је већа за инструменте тестиране у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са онима тестираним у каналу са радијусом 2 mm. Статистички значајна разлика је уочена код ProTaper Next и WaveOne Gold инструмената ($p < 0,001$) (Табела 3).

Табела 3. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm и 5mm

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	353,25	9,57	362,00	11,88	0,060	4,18	0,64	4,56	0,58	0,148
ProTaper Next 25/06	1256,00	101,26	1280,00	51,43	0,472	2,90	0,44	3,41	0,19	0,001
Twisted File 25/04	1446,00	33,12	2075,00	296,19	0,000	4,10	0,31	4,48	0,44	0,022
WaveOne Gold 25/07	2220,00	273,56	2433,33	99,48	0,019	4,10	0,30	6,00	0,38	0,000
HyFlexCM 25/04	7486,67	1062,09	9106,75	463,26	0,000	5,40	0,66	5,70	0,84	0,339
BioRace 25/04	910,00	37,25	1299,92	100,74	0,000	5,05	0,38	5,30	0,49	0,174

5.2.2 Резултати вредности цикличног замора добијени тестирањем инструмената у каналу угла закривљености од 60°

У оквиру контролне групе инструмената тестираних у каналу угла од 60° и радијусом од 2 mm, ProTaper Universal је показао статистички значајно мању отпорност на циклични замор у поређењу са свим осталим типовима инструмената (226,25±3,72) ($p < 0,001$). Значајно већи NCF је примећен у поређењу између Twisted file (846,33±4,58) и BioRace (542,25±5,01) ($p < 0,001$), Twisted file (846,33±4,58) и HyFlex CM (4896,25±7,97) ($p < 0,001$), Twisted File (846,33±4,58) и ProTaper Next (893,17±6,22), Twisted file (846,33±4,58) и WaveOne Gold (1354,00±5,82) ($p < 0,001$), BioRace (542,25±5,01) и HyFlex CM (4896,25±7,97), BioRace (542,25±5,01) и ProTaper Next (893,17±6,22), BioRace (542,25±5,01) и WaveOne Gold (1354,00±5,82) ($p < 0,001$), HyFlex CM (4896,25±7,97) и ProTaper Next (893,17±6,22) ($p < 0,001$), HyFlex CM (4896,25±7,97) и WaveOne Gold (1354,00±5,82) ($p < 0,001$) као и код ProTaper Next (893,17±6,22) и WaveOne Gold (1354,00±5,82) ($p < 0,001$) (Табела 4).

Табела 4. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	226,25	3,72	7,39	0,24
ProTaper Next 25/06	893,17	6,22	4,31	0,27
Twisted File 25/04	846,33	4,58	4,49	0,24
WaveOne Gold 25/07	1354,00	5,82	4,61	0,27
HyFlexCM 25/04	4896,25	7,97	5,83	0,21
BioRace 25/04	542,25	5,01	5,30	0,33
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Статистички значајна разлика NCF је забележена код инструмената тестираних у каналу угла од 60 степени и радијусом од 5 mm између свих тестираних типова инструмената ($p < 0,001$). ProTaper Universal ($239,17 \pm 6,64$) је показао статистички значајно мању отпорност на циклични замор у поређењу са свим осталим врстама инструмената ($p < 0,001$) (Табела 5).

Табела 5. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 5mm

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	239,17	6,64	7,48	0,36
ProTaper Next 25/06	941,08	4,76	4,48	0,40
Twisted File 25/04	1278,33	7,92	5,43	0,26
WaveOne Gold 25/07	1537,92	9,73	4,73	0,35
HyFlexCM 25/04	5654,75	5,75	6,09	0,30
BioRace 25/04	765,08	7,05	5,42	0,29
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, D, E, F, H, I, J, K, M, N, O	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

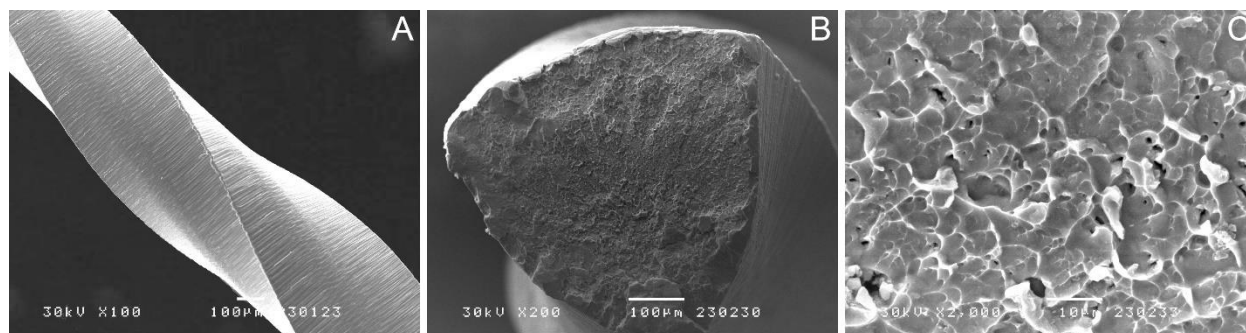
I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Анализа резултата је показала да различит радијус угла утиче на појаву цикличног замора инструмената тестираних у каналу угла закривљености од 60°. Вредност NCF је била виша код инструмената тестираних у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са каналом радијуса од 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за све тестиране инструменте пре стерилизације ($p < 0,001$). Средња вредност FL била је нешто већа али не и статистички значајна за инструменте тестиране у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са онима тестираним у каналу са радијусом угла од 2 mm (Табела 6).

Табела 6. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm и 5mm

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		P	2mm		5mm		P
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	226,25	3,72	239,17	6,64	<0,001	7,39	0,24	7,48	0,36	0,469
ProTaper Next 25/06	893,17	6,22	941,08	4,76	<0,001	4,31	0,27	4,48	0,40	0,247
Twisted File 25/04	846,33	4,58	1278,33	7,92	<0,001	4,49	0,24	5,43	0,26	<0,001
WaveOne Gold 25/07	1354,00	5,82	1537,92	9,73	<0,001	4,61	0,27	4,73	0,35	0,371
HyFlexCM 25/04	4896,25	7,97	5654,75	5,75	<0,001	5,83	0,21	6,09	0,30	0,019
BioRace 25/04	542,25	5,01	765,08	7,05	<0,001	5,30	0,33	5,42	0,29	0,367

5.3 СКЕНИНГ ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА РОТИТАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА



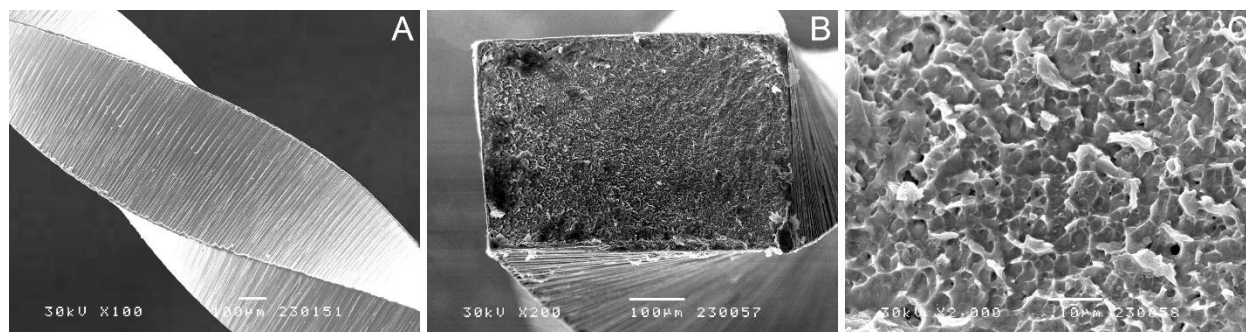
Слика 19. СЕМ приказ ProTaper Universal пре излагања тесту на циклични замор на увећању $\times 100$ (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима $\times 200$ (B) и $\times 2000$ (C)



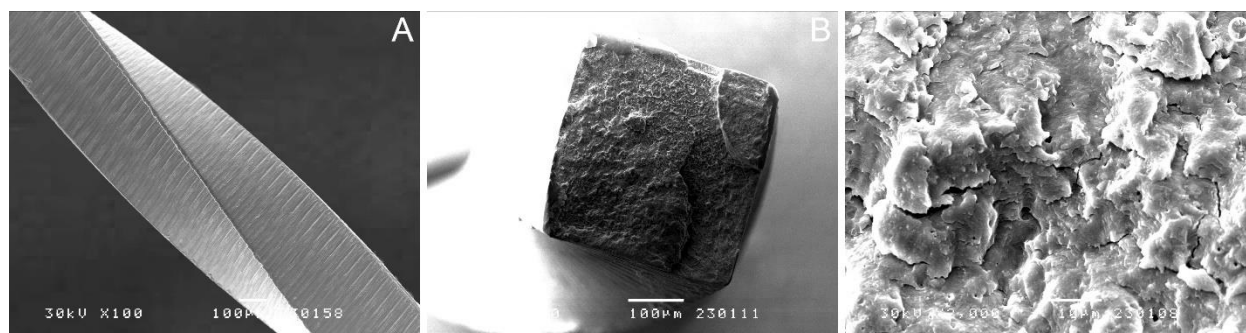
Слика 20. СЕМ приказ ProTaper Next пре излагања тесту на циклични замор на увећању $\times 100$ (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима $\times 200$ (B) и $\times 2000$ (C)



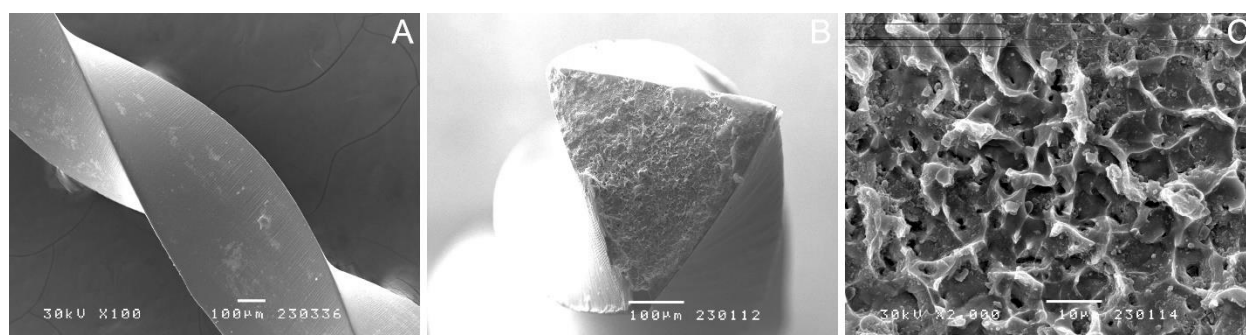
Слика 21. СЕМ приказ Twisted file пре излагања тесту на циклични замор на увећању $\times 100$ (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима $\times 200$ (B) и $\times 2000$ (C)



Слика 22. SEM приказ WaveOne Gold пре излагања тесту на циклични замор на увећању $\times 100$ (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима $\times 200$ (B) и $\times 2000$ (C)



Слика 23. SEM приказ NuFlex пре излагања тесту на циклични замор на увећању $\times 100$ (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима $\times 200$ (B) и $\times 2000$ (C)



Слика 24. SEM приказ BioRace пре излагања тесту на циклични замор на увећању $\times 100$ (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима $\times 200$ (B) и $\times 2000$ (C)

5.4 РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА УТИЦАЈА СТЕРИЛИЗАЦИЈЕ НА ПОЈАВУ ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА КОД РОТИРАЈУЋИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА

5.4.1 Резултати вредности цикличног замора након тестирања стерилисаних инструмената у каналу са углом закривљености од 45°

Након једног циклуса стерилизације и тестирања инструмената у каналу са радијусом закривљености од 2 mm, статистички значајно већа вредност NCF је уочена код ProTaper Next (1258,91±99,97), Twisted file (1439,50±27,31), HyFlex CM (7552±1115,98) и WaveOne Gold (2232,58±265,41) у поређењу са ProTaper Universal (354±14,54) ($p < 0,001$), затим HyFlex CM у поређењу са BioRace, ProTaper Next и Twisted file ($p < 0,001$), као и WaveOne Gold (2232,58±265,41) у поређењу са Twisted file, BioRace, HyFlex CM и ProTaper Next ($p < 0,001$) (Табела 7).

Табела 7. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm после првог циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	353,58	11,92	4,17	0,57
ProTaper Next 25/06	1258,92	99,98	2,93	0,38
Twisted File 25/04	1439,50	27,31	4,12	0,29
WaveOne Gold 25/07	2232,58	265,41	4,03	0,30
HyFlexCM 25/04	7552,00	1115,98	5,33	0,62
BioRace 25/04	894,75	13,25	4,89	0,44
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, G, H, J, K, M, N, O		A, D, E, F, G, H, I, K, L, M, N	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Након три циклуса стерилизације, тестирање инструмената у каналу са радијусом закривљености од 2 mm показало је да су BioRace (1660±103,76), ProTaper Next (1230±33,69), Twisted file (1250±66,60), HyFlex CM (8583,30±408) и WaveOne Gold (1500,00±93,84) имали значајно вишу средњу вредност NCF у поређењу са ProTaper Universal (353,58±11,91) ($p<0,001$). Примећен је значајно већи NCF за BioRace у поређењу са Twisted File и ProTaper Next ($p<0,001$), затим HyFlex CM са BioRace, ProTaper Next и Twisted File ($p<0,001$), као и WaveOne Gold (1500,00±93,84) у поређењу са Twisted File, HyFlex CM и ProTaper Next (Табела 8).

Табела 8. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm после трећег циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	344,75	16,49	5,01	0,87
ProTaper Next 25/06	1230,00	33,69	2,95	0,41
Twisted File 25/04	1250,00	66,61	2,89	0,12
WaveOne Gold 25/07	1500,00	93,84	5,20	1,05
HyFlexCM 25/04	8583,50	408,35	5,20	0,58
BioRace 25/04	1660,00	103,77	3,30	0,33
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, O		A, B, E, G, H, J, K, N, O	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Након пет циклуса стерилизације и тестирања инструмената у каналу радијуса закривљености од 2 mm, статистички значајно виша вредност NCF је уочена код BioRace (980±127,42), ProTaper Next (1210±208,39), Twisted File (1208±133,04), HyFlex CM (9683,66±967,72) и WaveOne Gold (1200,00±65,55) у поређењу са ProTaper Universal (344,75±16,48) ($p<0,001$). Статистички значајно виша вредност NCF је такође запажена код HyFlex CM у поређењу са BioRace, ProTaper Next, Twisted File и WaveOne Gold ($p<0,001$) (Табела 9).

Табела 9. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm после петог циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	354,00	14,55	5,08	0,83
ProTaper Next 25/06	1210,00	208,40	3,30	0,31
Twisted File 25/04	1208,00	133,05	2,90	0,30
WaveOne Gold 25/07	1200,00	65,55	6,01	0,34
HyFlexCM 25/04	9683,67	967,72	4,10	0,77
BioRace 25/04	980,00	127,42	5,30	0,28
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, H, K, M, O		A, B, C, D, G, H, I, J, K, L, M, N, O	

- A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
- B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
- C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
- D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
- E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
- F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
- G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
- H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)
- I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
- J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
- K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
- L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
- M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
- N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
- O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Тестирање инструмената у каналу са радијусом кривине од 5 mm после једног циклуса стерилизације показало је статистички значајну разлику између свих тестираних типова инструмената ($p < 0,001$), осим између BioRace (1283±107,85) и ProTaper Next (1283,16±51,85) (Табела 10).

Табела 10. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 5mm после првог циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	363,25	13,36	4,53	0,59
ProTaper Next 25/06	1283,17	51,85	3,44	0,24
Twisted File 25/04	2030,67	67,05	4,47	0,43
WaveOne Gold 25/07	2363,92	120,85	5,89	0,38
HyFlexCM 25/04	9127,92	471,50	5,63	0,75
BioRace 25/04	1283,00	107,86	4,99	0,61
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, O		A, C, D, F, G, H, I, J, K, N	

- A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
- B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
- C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
- D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)

E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)
 I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)

K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Тестирање инструмената у каналу са радијусом кривине од 5 mm након три циклуса стерилизације показало је статистички значајну разлику код већине тестираних типова инструмената ($p < 0,001$), осим између BioRace (2022±177,89) и Twisted File (1916±62,03), Twisted File(1916±62,03) и WaveOne Gold (1650,00±102,94), BioRace и WaveOne Gold, односно ProTaper Next и WaveOne Gold (Табела 11).

Табела 11. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 5 mm након трећег циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	357,00	24,37	5,17	0,55
ProTaper Next 25/06	1280,00	48,87	3,80	0,63
Twisted File 25/04	1916,00	62,04	4,10	0,48
WaveOne Gold 25/07	1650,00	102,94	6,10	0,19
HyFlexCM 25/04	10558,17	1133,88	5,35	0,62
BioRace 25/04	2022,92	177,90	4,70	0,55
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, H, I, K, M, O		A, B, C, G, H, I, J, K, M, N, O	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Тестирање инструмената у каналу са радијусом кривине од 5 mm након пет циклуса стерилизације, показало је статистички значајну разлику између већине тестираних типова инструмената ($p < 0,001$), осим између BioRace (1800±80,92) и Twisted File (1458±100,88), ProTaper Next (1750±373.02) и Twisted File (1458±100), Twisted File (1458±100) и WaveOne Gold (1455,00±81,46), BioRace (1800±80,92) и ProTaper Next (1750±373.02),

BioRace(1800±80,92) и WaveOne Gold (1455,00±81,46) односно ProTaper Next и WaveOne Gold (Табела 12).

Табела 12. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 5mm после петог циклуса стерилизације

	NF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Next 25/06	1750,00	373,02	4,30	0,49
ProTaper Universal 25/04	354,00	15,26	5,30	0,38
Twisted File 25/04	1458,00	100,88	4,40	0,39
WaveOne Gold 25/07	1455,00	81,46	6,70	0,46
HyFlexCM 25/04	12151,42	1094,97	4,88	0,78
BioRace 25/04	1800,00	80,92	5,50	0,78
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, H, K, M, O		A, B, C, G, I, J, L, M, N	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Анализа резултата је показала да је вредност NCF код инструмента који су били изложени једном циклусу стерилизације била виша код оних који су тестирани у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са инструментима тестираним у каналу са радијусом од 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за Twisted file, BioRace и HyFlex CM након првог циклуса стерилизације ($p < 0,001$). Средња вредност FL била је већа за инструменте тестиране у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са инструментима тестираним у каналу радијуса угла од 2 mm. Статистички значајна разлика је примећена код ProTaper Next и WaveOne Gold инструмената ($p < 0,001$) (Табела 13).

Табела 13. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm и 5mm после првог циклуса стерилизације

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	353,58	11,92	363,25	13,36	0,075	4,17	0,57	4,53	0,59	0,136
ProTaper Next 25/06	1258,92	99,98	1283,17	51,85	0,464	2,93	0,38	3,44	0,24	0,001
Twisted File 25/04	1439,50	27,31	2030,67	67,05	0,000	4,12	0,29	4,47	0,43	0,028
WaveOne Gold 25/07	2232,58	265,41	2363,92	120,85	0,133	4,03	0,30	5,89	0,38	0,000
HyFlexCM 25/04	7552,00	1115,98	9127,92	471,50	0,000	5,33	0,62	5,63	0,75	0,309
BioRace 25/04	894,75	13,25	1283,00	107,86	0,000	4,89	0,44	4,99	0,61	0,648

Након три циклуса стерилизације, тестирање инструмента на циклични замор је показало да је вредност NCF била виша код оних који су тестирани у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са каналом радијуса од 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за Twisted file, BioRace HyFlex CM и WaveOne Gold ($p < 0,001$). Средња вредност FL била је већа за инструменте тестиране у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са онима тестираним у каналу радијуса угла од 2 mm. Статистички значајна разлика је примећена код Twisted File, BioRace и ProTaper Next инструмената ($p < 0,001$) (Табела 14).

Табела 14. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm и 5mm после трећег циклуса стерилизације

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	344,75	16,49	357,00	24,37	0,163	5,01	0,87	5,17	0,55	0,598
ProTaper Next 25/06	1230,00	33,69	1280,00	48,87	0,008	2,95	0,41	3,80	0,63	0,001
Twisted File 25/04	1250,00	66,61	1916,00	62,04	0,000	2,89	0,12	4,10	0,48	0,000
WaveOne Gold 25/07	1500,00	93,84	1650,00	102,94	0,001	5,20	1,05	6,10	0,19	0,008
HyFlexCM 25/04	8583,50	408,35	10558,17	1133,88	0,000	5,20	0,58	5,35	0,62	0,544
BioRace 25/04	1660,00	103,77	2022,92	177,90	0,000	3,30	0,33	4,70	0,55	0,000

Након пет циклуса стерилизације, тестирање инструмента на циклични замор је показало да је вредност NCF била виша код оних који су тестирани у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са каналом радијуса од 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за Twisted file, BioRace HyFlex CM, ProTaper Next и WaveOne Gold ($p < 0,001$). Средња вредност FL била је већа за инструменте тестирани у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са онима тестираним у каналу радијуса угла од 2 mm. Статистички значајна разлика је примећена код Twisted File, ProTaper Next и Wave One Gold инструмената ($p < 0,001$) (Табела 15).

Табела 15. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm и 5mm после петог циклуса стерилизације

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	354,00	14,55	354,00	15,26	1,000	5,08	0,83	5,30	0,38	0,400
ProTaper Next 25/06	1210,00	208,40	1750,00	373,02	0,000	3,30	0,31	4,30	0,49	0,000
Twisted File 25/04	1208,00	133,05	1458,00	100,88	0,000	2,90	0,30	4,40	0,39	0,000
WaveOne Gold 25/07	1200,00	65,55	1455,00	81,46	0,000	6,01	0,34	6,70	0,46	0,000
HyFlexCM 25/04	9683,67	967,72	12151,42	1094,97	0,000	4,10	0,77	4,88	0,78	0,021
BioRace 25/04	980,00	127,42	1800,00	80,92	0,000	5,30	0,28	5,50	0,78	0,411

5.4.2 Резултати вредности цикличног замора након тестирања стерилисаних инструмената у каналу са углом закривљености од 60°

Након једног циклуса стерилизације и тестирања инструмената у каналу са радијусом угла од 2 mm, статистички значајно виша средња вредност NCF је уочена код ProTaper Next (892,17±8,44), Twisted file (835,92±7,94), BioRace (527,17±6,66), HyFlex CM (4904,92±8,44) и WaveOne Gold (1325,92±6,24) у поређењу са ProTaper Universal (225,50±4,21) ($p < 0,001$), Значајно већи NCF је примећен у поређењу Twisted file (835,92±7,94) и BioRace (527,17±6,66) ($p < 0,001$), Twisted file (835,92±7,94) и HyFlex CM (4904,92±8,44) ($p < 0,001$), Twisted File (835,92±7,94) и ProTaper Next (892,17±8,44), Twisted file (835,92±7,94) и WaveOne Gold (1325,92±6,24) ($p < 0,001$), BioRace (527,17±6,66) и HyFlex CM (4904,92±8,44), BioRace (527,17±6,66) и ProTaper Next (892,17±8,44), BioRace (527,17±6,66) и WaveOne Gold (1325,92±6,24) ($p < 0,001$), HyFlex CM (4904,92±8,44) и ProTaper Next (892,17±8,44) ($p < 0,001$), HyFlex CM (4904,92±8,44) и WaveOne Gold (1325,92±6,24) ($p < 0,001$) као и код ProTaper Next (892,17±8,44) и WaveOne Gold (1325,92±6,24) ($p < 0,001$) (Табела 16).

Табела 16. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радиуса кривине 2mm после првог циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	225,50	4,21	7,51	0,31
ProTaper Next 25/06	892,17	8,44	4,40	0,36
Twisted File 25/04	835,92	7,94	4,44	0,30
WaveOne Gold 25/07	1325,92	6,24	4,68	0,28
HyFlexCM 25/04	4904,92	8,44	5,73	0,37
BioRace 25/04	527,17	6,66	5,41	0,39
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, D, E, H, I, K, L, M, N	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Након три циклуса стерилизације, тестирање инструмената у каналу са радијусом угла од 2 mm показало је да су BioRace (959,92±6,36), ProTaper Next (875,33±5,73), Twisted file (757,33±8,22), HyFlex CM (5539,33±9,79) и WaveOne Gold (1096,33±8,27) имали значајно вишу вредност NCF у поређењу са ProTaper Universal (216,25±6,21) ($p<0,001$). Уочена је статистички значајно виша вредност NCF у поређењу BioRace са HyFlex CM, ProTaper Next и WaveOne Gold ($p<0,001$), затим HyFlex CM са ProTaper Next, Twisted File и WaveOne Gold ($p<0,001$), као и WaveOne Gold у поређењу са Twisted File, ProTaper Next (Табела 17).

Табела 17. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm после трећег циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	216,25	6,21	7,73	0,44
ProTaper Next 25/06	875,33	5,73	4,73	0,35
Twisted File 25/04	757,33	8,22	3,73	0,39
WaveOne Gold 25/07	1096,33	8,27	5,30	0,49
HyFlexCM 25/04	5539,33	9,79	5,51	0,31
BioRace 25/04	959,92	6,36	4,63	0,39
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, N, O	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Након пет циклуса стерилизације, тестирање инструмената у каналу са радијусом угла од 2 mm, такође је показало да су BioRace ($612,92 \pm 5,53$), ProTaper Next ($820,67 \pm 10,71$), Twisted file ($719,08 \pm 7,54$), HyFlex CM ($6326,17 \pm 8,94$) и WaveOne Gold ($857,08 \pm 8,43$) имали значајно вишу средњу вредност NCF у поређењу са ProTaper Universal ($197,08 \pm 6,75$) ($p < 0,001$). Запажена је статистички значајна разлика у вредности NCF између BioRace и HyFlex CM, ProTaper Next и WaveOne Gold ($p < 0,001$), затим у поређењу HyFlex CM са ProTaper Next, Twisted File и WaveOne Gold ($p < 0,001$), односно WaveOne Gold у поређењу са Twisted File и ProTaper Next (Табела 18).

Табела 18. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm после петог циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	197,08	6,75	7,80	0,46
ProTaper Next 25/06	820,67	10,71	4,85	0,46
Twisted File 25/04	719,08	7,54	3,62	0,28
WaveOne Gold 25/07	857,08	8,43	6,23	0,35
HyFlexCM 25/04	6326,17	8,94	5,13	0,32
BioRace 25/04	612,92	5,53	5,53	0,31
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, D, E, F, G, I, J, K, L, M, N	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Тестирање у каналу са радијусом кривине од 5 mm за инструменте који су били изложени једном циклусу стерилизације, показало је статистички значајну разлику код свих тестираних типова инструмената ($p < 0,001$), међу којима је ProTaper Universal ($237,83 \pm 8,32$) показао статистички значајно мању отпорност на циклични замор у поређењу са свим осталим врстама инструмената ($p < 0,001$) (Табела 19).

Табела 19. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 5mm после првог циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	237,83	8,32	7,55	0,29
ProTaper Next 25/06	949,00	8,83	4,63	0,45
Twisted File 25/04	1273,08	6,95	5,30	0,40
WaveOne Gold 25/07	1495,17	9,32	4,92	0,32
HyFlexCM 25/04	5672,83	6,34	5,81	0,41
BioRace 25/04	749,25	8,11	5,53	0,35
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, D, E, F, H, I, K, M, N	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)

B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)

- C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07) J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04) K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04) L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04) M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07) N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04) O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)
 I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)

Тестирање у каналу са радијусом кривине од 5 mm за инструменте који су три пута били изложени циклусу стерилизације, показало је статистички значајну разлику код свих тестираних типова инструмената ($p < 0,001$), ProTaper Universal ($229,75 \pm 10,23$) је показао статистички значајно мању отпорност на циклични замор у поређењу са свим осталим врстама инструмената ($p < 0,001$) (Табела 20).

Табела 20. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 5mm после трећег циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	229,75	10,23	7,95	0,30
ProTaper Next 25/06	943,17	5,17	4,83	0,32
Twisted File 25/04	1126,17	8,72	5,09	0,34
WaveOne Gold 25/07	1209,33	10,39	5,51	0,28
HyFlexCM 25/04	6245,25	9,24	5,68	0,18
BioRace 25/04	1257,25	9,22	4,93	0,34
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, D, E, G, H, J, K, N, O	

- A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06) I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04) J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07) K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04) L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04) M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04) N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07) O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

Тестирање у каналу са радијусом кривине од 5 mm за инструменте који су пет пута били изложени циклусу стерилизације, показало је статистички значајну разлику у поређењу тестираних типова инструмената ($p < 0,001$), осим између Twisted File ($1089,33 \pm 9,56$) и BioRace ($1099,33 \pm 9,07$) (Табела 21).

Табела 21. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 5mm после петог циклуса стерилизације

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	221,33	8,95	7,93	0,41
ProTaper Next 25/06	927,08	7,46	4,86	0,38
Twisted File 25/04	1089,33	9,56	4,92	0,51
WaveOne Gold 25/07	1073,33	6,93	6,19	0,36
HyFlexCM 25/04	6876,33	7,44	5,39	0,30
BioRace 25/04	1099,33	9,07	5,69	0,58
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, M, N, O		A, B, C, D, E, G, I, J, L, M	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Након једног циклуса стерилизације, тестирање инструмента на циклични замор је показало да је вредност NCF била виша код оних који су тестирани у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са каналом радијуса 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за све тестиране инструменте након једног циклуса стерилизације. Средња вредност FL била је већа за инструменте тестиране у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са оним тестираним у каналу радијуса 2 mm, међутим, статистичка значајност је уочена једино код Twisted File ($p < 0,001$) (Табела 22).

Табела 22. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm и 5mm после првог циклуса стерилизације

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	225,50	4,21	237,83	8,32	<0,001	7,51	0,31	7,55	0,29	0,737
ProTaper Next 25/06	892,17	8,44	949,00	8,83	<0,001	4,40	0,36	4,63	0,45	0,193
Twisted File 25/04	835,92	7,94	1273,08	6,95	<0,001	4,44	0,30	5,30	0,40	<0,001
WaveOne Gold 25/07	1325,92	6,24	1495,17	9,32	<0,001	4,68	0,28	4,92	0,32	0,065
HyFlexCM 25/04	4904,92	8,44	5672,83	6,34	<0,001	5,73	0,37	5,81	0,41	0,604
BioRace 25/04	527,17	6,66	749,25	8,11	<0,001	5,41	0,39	5,53	0,35	0,450

Након три циклуса стерилизације, тестирање инструмента на циклични замор је показало да је вредност NCF била виша код инструмената тестираних у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са оним тестираним у каналу радијуса 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за све тестиране инструменте. Просечна вредност FL је била већа за инструменте тестиране у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са инструментима тестираним у каналу радијуса 2 mm, међутим, разлика је била значајна једино код Twisted File ($p < 0,001$) (Табела 23).

Табела 23. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm и 5mm после трећег циклуса стерилизације

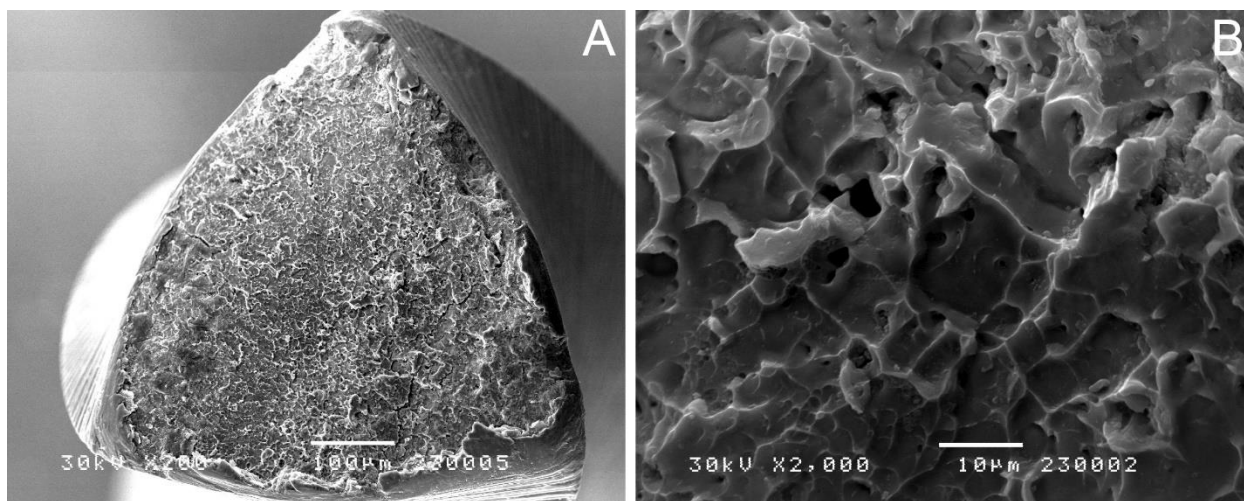
Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	216,25	6,21	229,75	10,23	0,001	7,73	0,44	7,95	0,30	0,156
ProTaper Next 25/06	875,33	5,73	943,17	5,17	<0,001	4,73	0,35	4,83	0,32	0,437
Twisted File 25/04	757,33	8,22	1126,17	8,72	<0,001	3,73	0,39	5,09	0,34	<0,001
WaveOne Gold 25/07	1096,33	8,27	1209,33	10,39	<0,001	5,30	0,49	5,51	0,28	0,215
HyFlexCM 25/04	5539,33	9,79	6245,25	9,24	<0,001	5,51	0,31	5,68	0,18	0,102
BioRace 25/04	959,92	6,36	1257,25	9,22	<0,001	4,63	0,39	4,93	0,34	0,059

Након пет циклуса стерилизације вредност NCF је била статистички значајно виша код инструмената тестираних у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са тестирањем у каналу радијуса 2 mm ($p < 0,001$). Средња вредност FL била је нешто већа али не и статистички значајна за инструменте тестиране у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са оним тестираним у каналу радијуса 2 mm осим код Twisted File ($p < 0,001$) (Табела 24).

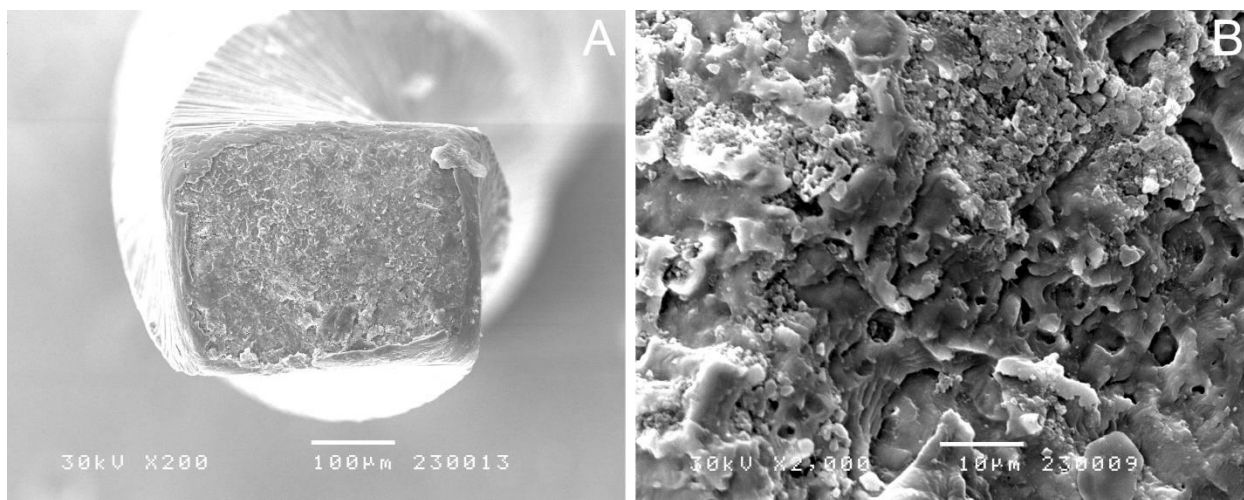
Табела 24. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm и 5mm после петог циклуса стерилизације

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD		\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	
ProTaper Universal 25/04	197,08	6,75	221,33	8,95	<0,001	7,80	0,46	7,93	0,41	0,492
ProTaper Next 25/06	820,67	10,71	927,08	7,46	<0,001	4,85	0,46	4,86	0,38	0,962
Twisted File 25/04	719,08	7,54	1089,33	9,56	<0,001	3,62	0,28	4,92	0,51	<0,001
WaveOne Gold 25/07	857,08	8,43	1073,33	6,93	<0,001	6,23	0,35	6,19	0,36	0,821
HyFlexCM 25/04	6326,17	8,94	6876,33	7,44	<0,001	5,13	0,32	5,39	0,30	0,045
BioRace 25/04	612,92	5,53	1099,33	9,07	<0,001	5,53	0,31	5,69	0,58	0,387

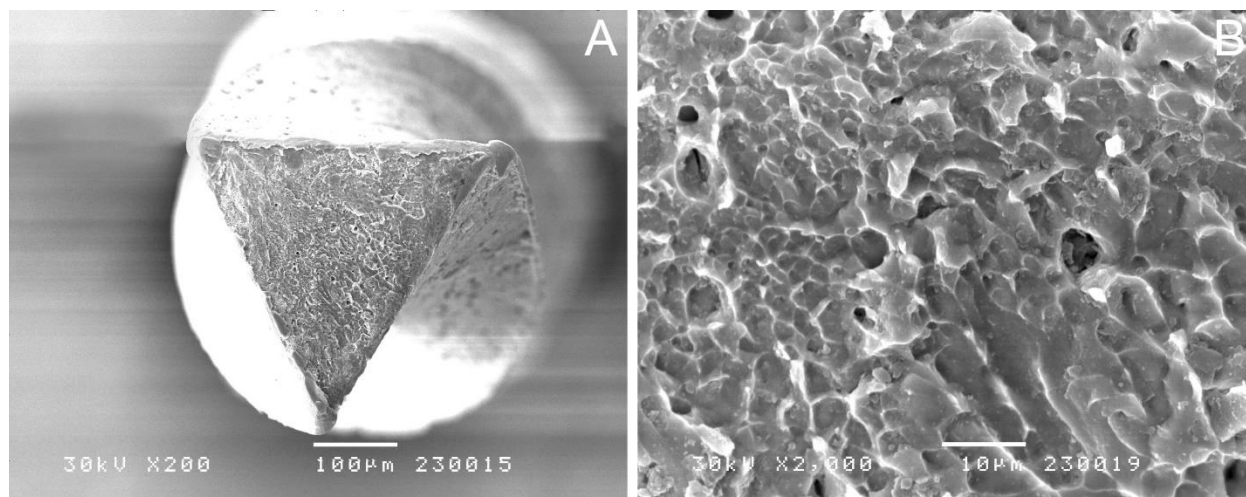
5.5 СКЕНИНГ ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА НАКОН ПРОЦЕСА СТЕРИЛИЗАЦИЈЕ И ТЕСТА ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА



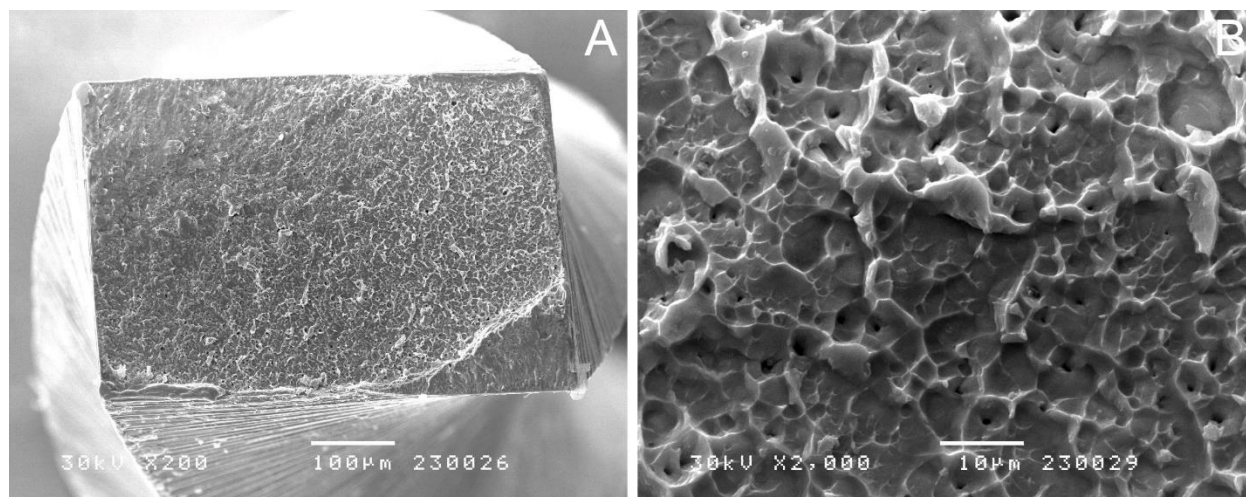
Слика 25. СЕМ приказ попречног пресека стерилисаног ProTaper Universal након излагања тесту на циклични замор на увећањима x200 (A) и x2000 (B)



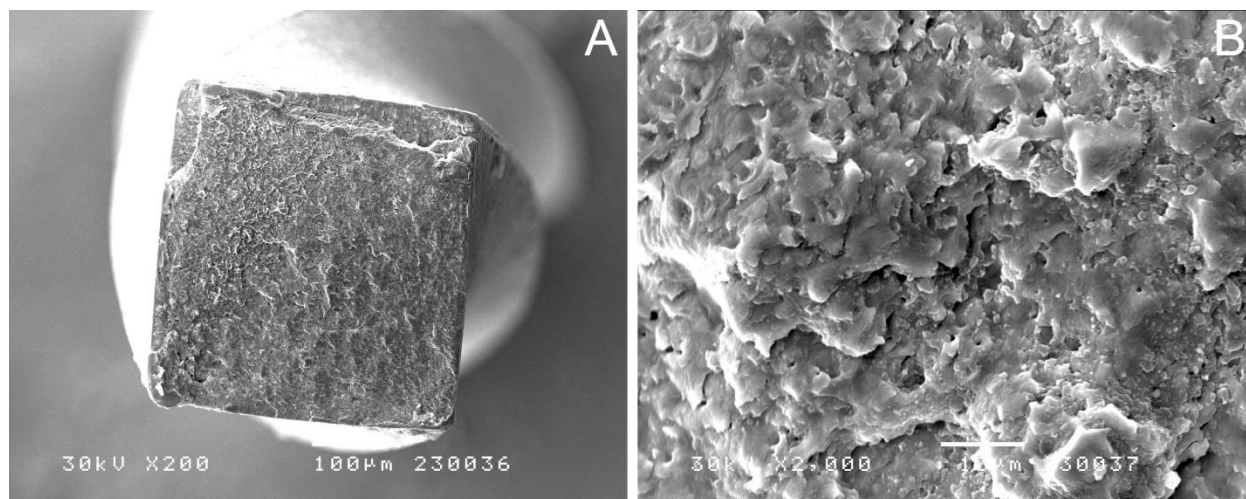
Слика 26. СЕМ приказ попречног пресека стерилисаног ProTaper Next након излагања тесту на циклични замор на увећањима x200 (A) и x2000 (B)



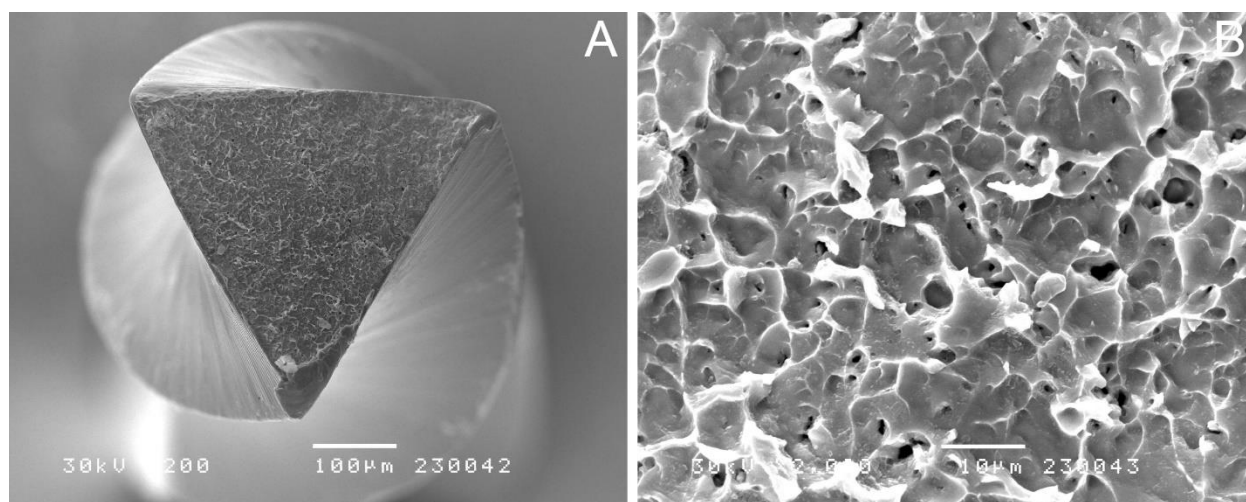
Слика 27. SEM приказ попречног пресека стерилисаног Twisted file након излагања тесту на циклични замор на увећањима $\times 200$ (A) и $\times 2000$ (B)



Слика 28. SEM приказ попречног пресека стерилисаног WaveOne Gold након излагања тесту на циклични замор на увећањима $\times 200$ (A) и $\times 2000$ (B)



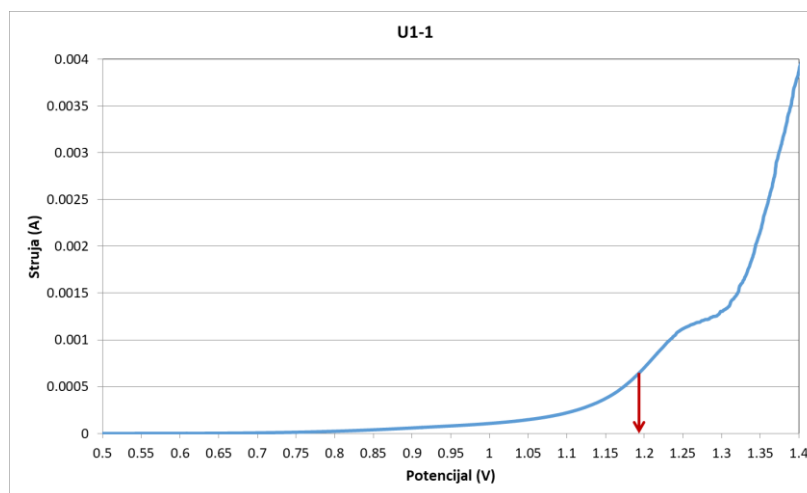
Слика 29. SEM приказ попречног пресека стерилисаног NuFlex након излагања тесту на циклични замор на увећањима x200 (A) и x2000 (B)



Слика 30. SEM приказ попречног пресека стерилисаног BioRace након излагања тесту на циклични замор на увећањима x200 (A) и x2000 (B)

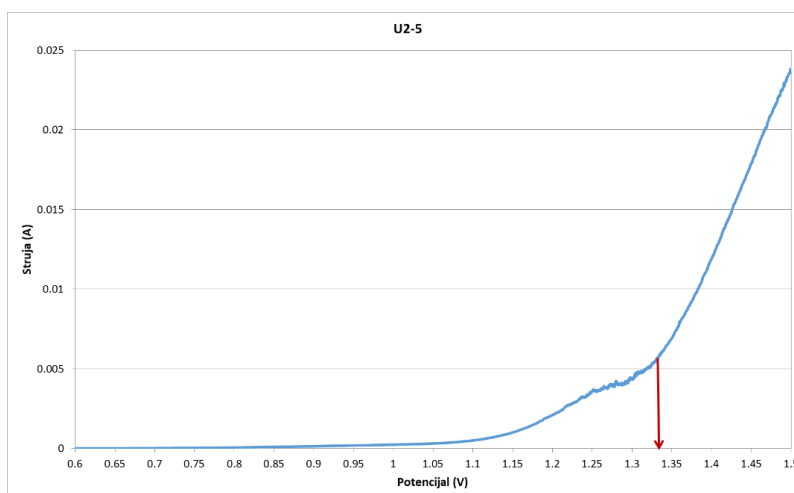
5.6 РЕЗУЛТАТИ ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКОГ ИСПИТИВАЊА РОТИРАЈУЋИХ НИТИ ИНСТРУМЕНАТА

Електрохемијско испитивање корозионог потенцијала 5,25% раствора натријум хипохлорита при деловању на различите типове ротирајућих НиТи инструмената је показало следеће резултате. Отпорност на корозију била је најнижа код инструмената ProTaper Universal уроњених у 5,25% NaOCl. Питинг потенцијал је забележен на 1,27V (Графикон 1).



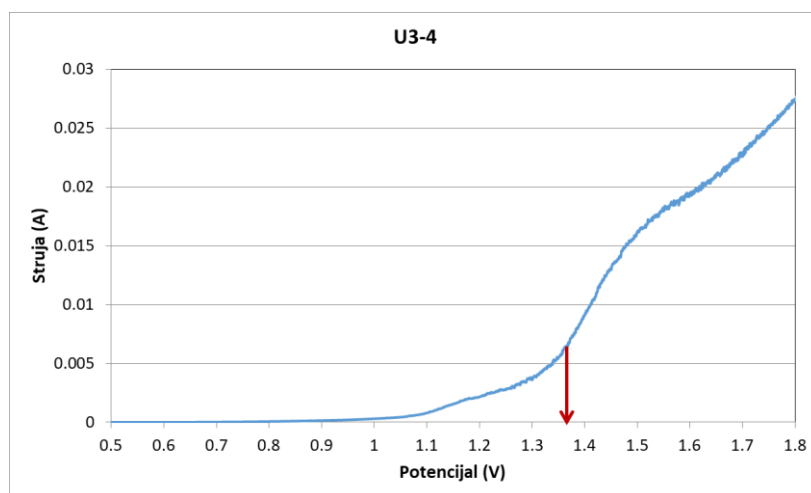
Графикон 1. Потенциодинамичка крива поларизације ProTaper Universal у 5,25% NaOCl

Нешто већа отпорност на корозију је уочена код инструмената ProTaper Next након урањања у 5,25% NaOCl. Питинг потенцијал је забележен на 1,33 V (Графикон 2)



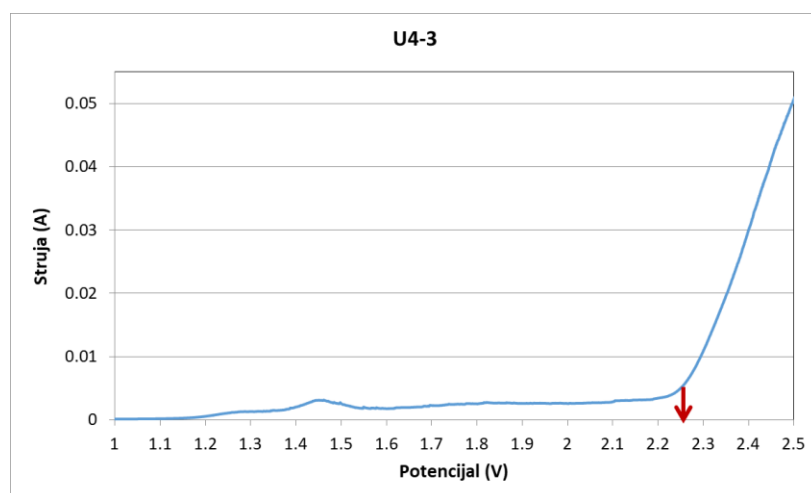
Графикон 2. Потенциодинамичка крива поларизације ProTaper Next у 5,25% NaOCl

Већа отпорност на корозију уочена је код инструмената Twisted file тестираних у 5,25% NaOCl. Мерења су показала да је питинг потенцијал 1,36 V (Графикон 3).



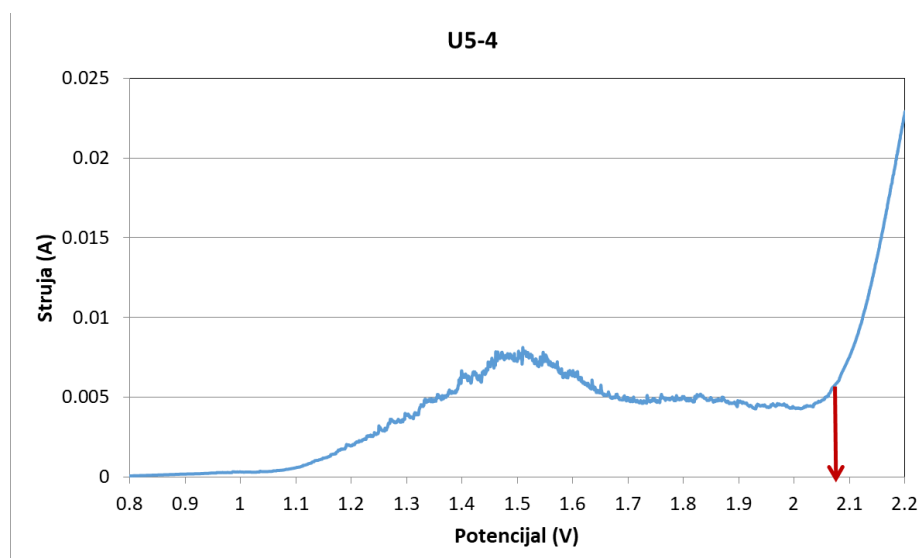
Графикон 3. Потенциодинамичка крива поларизације Twisted file у 5,25% NaOCl

Највећа отпорност на корозију уочена је код инструмената WaveOne Gold тестираних у 5,25% NaOCl. Мерења су показала да је питинг потенцијал 2,26 V (Графикон 4).



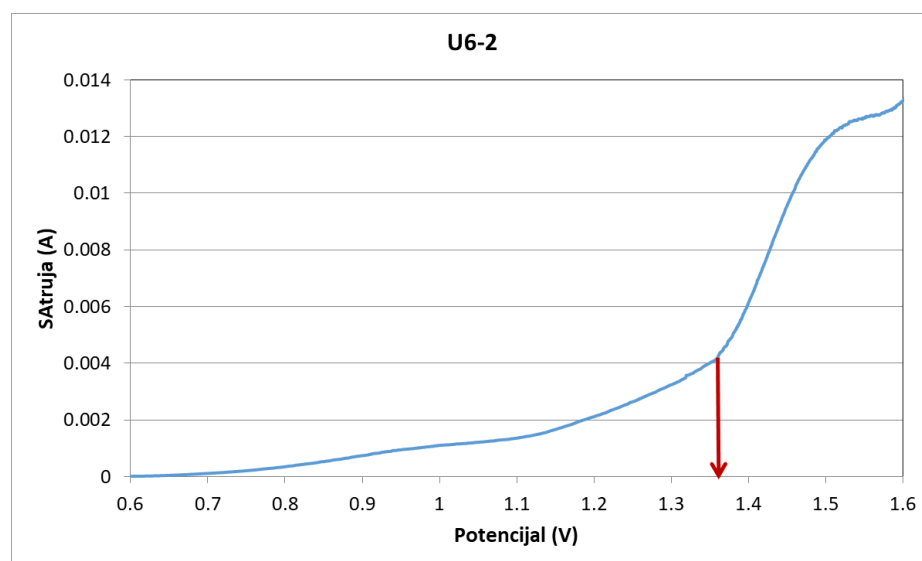
Графикон 4. Потенциодинамичка крива поларизације WaveOne Gold у 5,25% NaOCl

Значајну отпорност на корозију показао је представник ротирајућих инструмената који припада групи инструмената са контролисаном меморијом, након тестирања у 5,25% NaOCl. Вредност питинг потенцијала за HyFlex CM је износила 2,08 V (Графикон 5).



Графикон 5. Потенциодинамичка крива поларизације HyFlex CM у 5,25% NaOCl

Отпорност на корозију код BioRace инструмената уроњених у 5,25% NaOCl је била приближно иста као код на осталих ProTareg инструмената. Питинг потенцијал је забележен на 1,37 V (Графикон 6).



Графикон 6. Потенциодинамичка крива поларизације BioRace у 5,25% NaOCl

Резултати су показали да су ротирајући инструменти потопљени у 5,25% NaOCl изазвали повећање струје, а самим тим и склоност ка корозији. Код инструмената где је

NaOCl изазвао већи раст струје, указивало нам је на смањење отпорности на корозију. Најотпорнији на корозионо деловање раствора NaOCl били су WaveOne Gold, затим HyFlex CM, и редом BioRace, Twisted File, ProTaper Next и ProTaper Universal.

5.7 РЕЗУЛТАТИ УТИЦАЈА КОРОЗИОНОГ ДЕЛОВАЊА НАТРИЈУМ ХИПОХЛОРИТА НА ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР РОТИРАЈУЋИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА

5.7.1 Резултати испитивања цикличног замора након тестирања у каналу са углом закривљености од 45°

У оквиру групе кородираних инструмената тестираних у каналу угла 45° и радијуса од 2 mm, ProTaper Universal је показао статистички значајно мању отпорност на циклични замор у поређењу са свим осталим врстама инструмената (247,67±11,42) ($p < 0,001$). Статистички значајно већа вредност NCF је уочена између Twisted file и HyFlex CM ($p < 0,001$), Twisted file и WaveOne Gold ($p < 0,001$), BioRace и HyFlex CM, BioRace и WaveOne Gold ($p < 0,001$), HyFlex CM и ProTaper Next ($p < 0,001$), HyFlex CM и WaveOne Gold (2220,00±273,56) ($p < 0,001$) као и код ProTaper Next и WaveOne Gold ($p < 0,001$) (Табела 25).

Табела 25. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm након електрохемијског испитивања

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	247,67	11,42	4,10	0,48
ProTaper Next 25/06	1124,00	83,37	2,89	0,12
Twisted File 25/04	1300,00	100,60	3,54	0,24
WaveOne Gold 25/07	2062,67	35,79	4,10	0,30
HyFlexCM 25/04	7521,25	1071,84	5,10	0,30
BioRace 25/04	920,00	37,25	3,51	0,19
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, G, H, J, K, M, N, O		A, B, D, E, F, G, H, I, J, K, M, N, O	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)

G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)
 I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)

M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)

O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

У оквиру групе кородираних инструмената тестираних у каналу са радијусом угла од 5 mm, ProTaper Universal је показао статистички значајно мању отпорност на циклични замор у поређењу са свим осталим врстама инструмената (264,33±9,71) ($p < 0,001$). Статистички значајна вредност NCF уочена је између свих типова инструмента (Табела 26).

Табела 26. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 5mm након електрохемијског испитивања

	NCF		FL	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	264,33	9,71	4,78	0,78
ProTaper Next 25/06	1159,00	66,69	3,60	0,26
Twisted File 25/04	1820,00	80,92	4,63	0,75
WaveOne Gold 25/07	2122,50	43,36	5,83	0,75
HyFlexCM 25/04	9192,00	104,34	5,33	0,31
BioRace 25/04	1294,92	100,74	4,79	0,44
<i>P</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, D, E, F, G, H, I, J, K, M, N, O		A, C, F, G, H, I, J, N	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Анализа резултата је показала да радијус угла утиче на разлику у цикличном замору код инструмената тестираних у углу закривљености од 45° након излагања корозионом дејству NaOCl. Вредност NCF је била виша код инструмената тестираних у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу каналом радијуса 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за све тестиране инструменте ($p < 0,001$), осим код ProTaper Next. Средња вредност FL била је већа за инструменте тестиране у каналу са радијусом угла од 5

mm у поређењу са онима тестираним у каналу радијуса 2 mm. Статистички значајна разлика је уочена код Twisted File, BioRace, ProTaper Next и WaveOne Gold (Табела 27).

Табела 27. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 45° и радијуса кривине 2mm и 5mm након електрохемијског испитивања

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	247,67	11,42	264,33	9,71	0,001	4,10	0,48	4,78	0,78	0,017
ProTaper Next 25/06	1124,00	83,37	1159,00	66,69	0,268	2,89	0,12	3,60	0,26	0,000
Twisted File 25/04	1300,00	100,60	1820,00	80,92	0,000	3,54	0,24	4,63	0,75	0,000
WaveOne Gold 25/07	2062,67	35,79	2122,50	43,36	0,001	4,10	0,30	5,83	0,75	0,000
HyFlexCM 25/04	7521,25	1071,84	9192,00	104,34	0,000	5,10	0,30	5,33	0,31	0,074
BioRace 25/04	920,00	37,25	1294,92	100,74	0,000	3,51	0,19	4,79	0,44	0,000

5.7.2 Резултати испитивања цикличног замора након тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60°

Тестирање инструмената у каналу са радијусом кривине од 2 mm након излагања корозионом дејству NaOCl, је показало статистички значајну разлику међу тестираним типовима инструмената ($p < 0,001$), осим између Twisted File (766,17±4,17) и ProTaper Next (718,42±27,96) (Табела 28).

Табела 28. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm након електрохемијског испитивања

	NCF		FR	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	174,25	5,79	7,21	0,32
ProTaper Next 25/06	718,42	32,28	5,49	0,63
Twisted File 25/04	766,17	4,17	3,91	0,44
WaveOne Gold 25/07	1235,58	27,96	6,29	0,56
HyFlexCM 25/04	4920,08	148,94	6,51	0,92
BioRace 25/04	538,08	18,47	4,20	0,49
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, E, F, G, H, I, J, K, N, O	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Тестирање инструмената у каналу радијуса кривине од 5 mm инструменте након излагања корозији, показало је статистички значајну разлику између тестираних типова инструмената ($p < 0,001$), осим између Twisted File ($804,25 \pm 11,92$) и ProTaper Next ($784,25 \pm 11,47$) (Табела 29).

Табела 29. Аритметичка средина (\bar{x}) са стандардном девијацијом (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 5mm након електрохемијског испитивања

	NCF		FR	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
ProTaper Universal 25/04	193,83	10,04	7,49	0,53
ProTaper Next 25/06	784,25	11,47	5,88	0,28
Twisted File 25/04	804,25	11,92	4,81	0,36
WaveOne Gold 25/07	1288,58	20,61	6,58	0,35
HyFlexCM 25/04	5467,83	102,67	7,10	0,39
BioRace 25/04	713,08	15,96	5,33	0,48
<i>p</i>	<0,001		<0,001	
<i>Post Hoc test</i>	A, B, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, N, O		A, B, C, D, E, G, H, I, J, K, L, M, N, O	

A (ProTaper Universal 25/04 vs. ProTaper Next 25/06)
 B (ProTaper Universal 25/04 vs. Twisted File 25/04)
 C (ProTaper Universal 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 D (ProTaper Universal 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 E (ProTaper Universal 25/04 vs. BioRace 25/04)
 F (ProTaper Next 25/06 vs. Twisted File 25/04)
 G (ProTaper Next 25/06 vs. WaveOne Gold 25/07)
 H (ProTaper Next 25/06 vs. HyFlexCM 25/04)

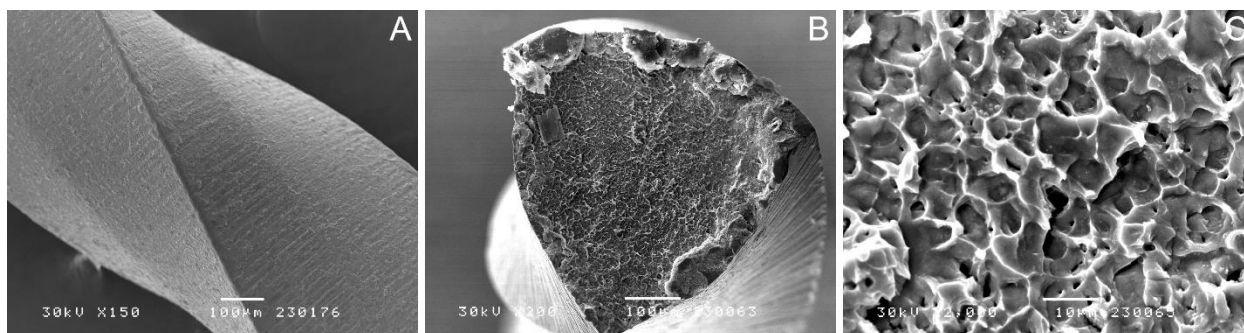
I (ProTaper Next 25/06 vs. BioRace 25/04)
 J (Twisted File 25/04 vs. WaveOne Gold 25/07)
 K (Twisted File 25/04 vs. HyFlexCM 25/04)
 L (Twisted File 25/04 vs. BioRace 25/04)
 M (WaveOne Gold 25/07 vs. HyFlexCM 25/04)
 N (WaveOne Gold 25/07 vs. BioRace 25/04)
 O (HyFlexCM 25/04 vs. BioRace 25/04)

Вредност NCF након електрохемијског испитивања била је виша код инструмената тестираних у каналу са радијусом угла од 5 mm у поређењу са инструментима тестираним у каналу са радијусом угла од 2 mm. Ова разлика је била статистички значајна за све тестиране инструменте ($p < 0,001$). Средња вредност FL била је већа за инструменте тестиране у каналу радијуса угла од 5 mm у поређењу са онима тестираним у каналу радијуса од 2 mm, а статистичка значајност је уочена код Twisted File и BioRace (Табела 30).

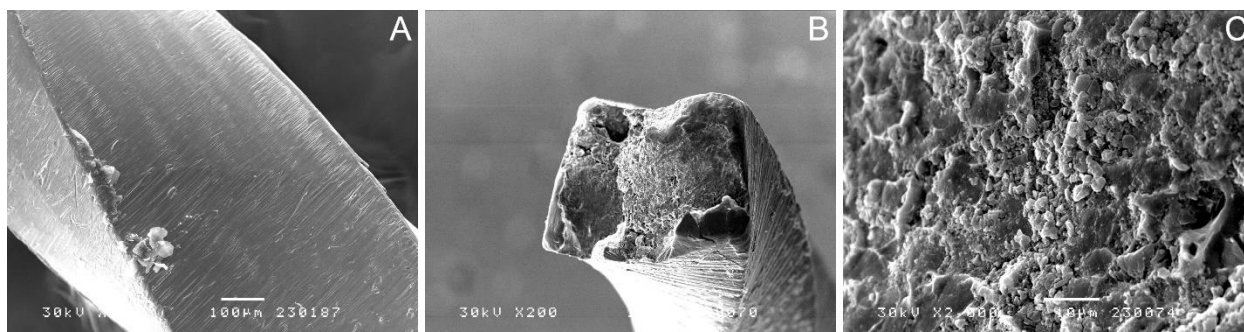
Табела 30. Аритметичке средине (\bar{x}) са стандардним девијацијама (SD) вредности NCF и FL добијене приликом тестирања инструмената у каналу угла закривљености од 60° и радијуса кривине 2mm и 5mm након електрохемијског испитивања

Радијус	NCF					FL				
	2mm		5mm		<i>p</i>	2mm		5mm		<i>p</i>
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
ProTaper Universal 25/04	174,25	5,79	193,83	10,04	<0,001	7,21	0,32	7,49	0,53	0,126
ProTaper Next 25/06	718,42	32,28	784,25	11,47	<0,001	5,49	0,63	5,88	0,28	0,066
Twisted File 25/04	766,17	4,17	804,25	11,92	<0,001	3,91	0,44	4,81	0,36	<0,001
WaveOne Gold 25/07	1235,58	27,96	1288,58	20,61	<0,001	6,29	0,56	6,58	0,35	0,140
HyFlexCM 25/04	4920,08	148,94	5467,83	102,67	<0,001	6,51	0,92	7,10	0,39	0,052
BioRace 25/04	538,08	18,47	713,08	15,96	<0,001	4,20	0,49	5,33	0,48	<0,001

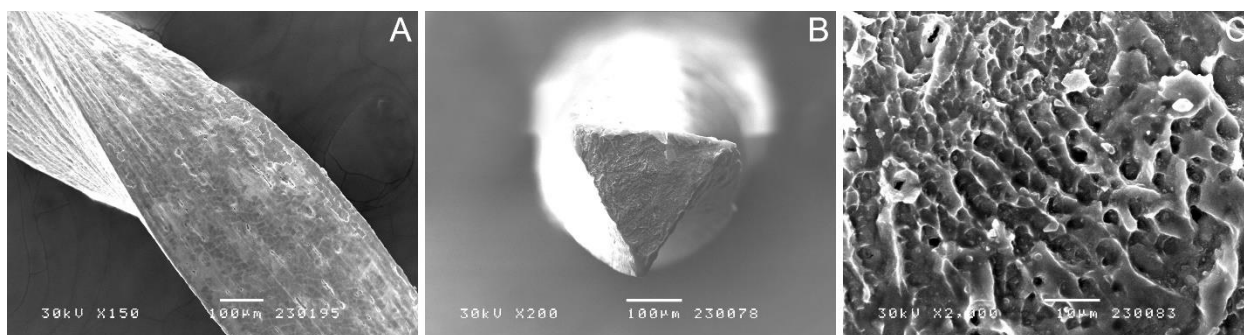
5.8 СКЕНИНГ ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА РОТИРАЈУЋИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА НАКОН ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКОГ ИСПИТИВАЊА КОРОЗИОНОГ ДЕЈСТВА НАТРИЈУМ ХИПОХЛОРИТА И ТЕСТА ЦИКЛИЧНОГ ЗАМОРА



Слика 31. СЕМ приказ кородираног ProTaper Universal пре излагања тесту на циклични замор на увећању x150 (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима x200 (B) и x2000 (C)



Слика 32. СЕМ приказ кородираног ProTaper Next пре излагања тесту на циклични замор на увећању x150 (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима x200 (B) и x2000 (C)



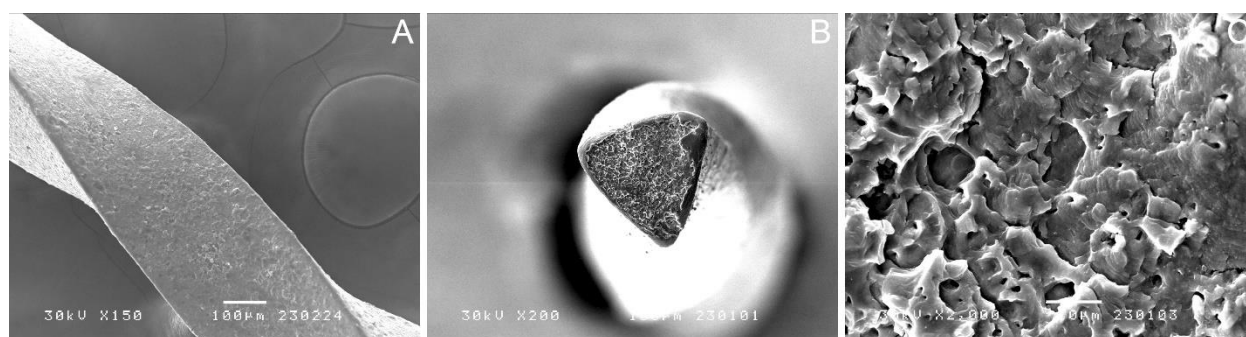
Слика 33. СЕМ приказ кородираног Twisted file пре излагања тесту на циклични замор на увећању x150 (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима x200 (B) и x2000 (C)



Слика 34. СЕМ микрографија кородираног WaveOne Gold пре излагања тесту на циклични замор на увећању x100 (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима x200 (B) и x2000 (C)



Слика 35. СЕМ микрографија кородираног HyFlex пре излагања тесту на циклични замор на увећању x150 (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима x200 (B) и x2000 (C)



Слика 36. СЕМ микрографија кородираног BioRace пре излагања тесту на циклични замор на увећању x150 (A) и попречни пресек фрактурисаног фрагмента након излагања поменутом тесту на увећањима x200 (B) и x2000 (C)

6. ДИСКУСИЈА

6.1 ЕВАЛУАЦИЈА ЕФИКАСНОСТИ ОБРАДЕ ДЕНТИНА КАНАЛА КОРЕНА РАЗЛИЧИТИМ ТИПОВИМА РОТИРАЈУЋИХ НИТИ ИНСТРУМЕНАТА

Ендодонција представља грану стоматологије која се бави проучавањем облика, функције и здравља, односно повредом и обољењем зубне пулпе и периапексне регије, њиховом превенцијом и лечењем - Европско удружење ендодонтологије (ЕСЕ, 2006). Иако успешна ендодонтска терапија зависи од више фактора, један од најважнијих корака у лечењу канала корена је препарација канала чији је главни циљ ефикасно чишћење и обликовање уз задржавање његове основне конфигурације (Burroughs и остали, 2012). Инструментацију је углавном тешко реализовати због бројних варијација у каналној морфологији и ограниченом ефекту инструмената у неприступачном и ограниченом простору. Неколико студија се бавило анализом зидова канала применом микрокомпјутеризоване томографије и потврдиле су да након препарације део зидова коренског дентина остаје потпуно необрађен. Присуство ових неинструментисаних зона представља место где се задржавају бактерије и на тај начин ендодонтско лечење може бити компромитовано (Вагас и остали, 2016). Такође, велики проблем се јавља када се припремају закривљени канали, и када стандардни инструменти од нерђајућег челика нису тако успешни како у очувању постојећег облика тако и у квалитетној обради читаве дентинске површине у каналу корена код зуба са комплексном каналном морфологијом. Пратећи технолошка достигнућа у свим сферама, ендодонција се прилагођава савременим захтевима и изазовима на које наилази. Увођењем машинских ротирајућих инструмената у обраду каналног простора омогућена је знатно бржа и ефикаснија препарација читавом дужином канала, а посебно у апексној трећини. Бројна истраживања истичу предност употребе никл-титанијумских инструмената због низа предности, од којих је најважнија њихова висока флексибилност и способност продирања у најзакривљеније канале (Bürklein и остали, 2012; Wei и остали, 2017). Применом никл-титанијумских ротирајућих инструмената је знатно смањена могућност грешке током препарације, као што је појава опструкције, степеника, транспортације или перфорације зидова канала. Међутим, током њихове употребе услед трења о зидове канала долази до оштећења њихове површине и деформација. Истовремена употреба хемијских средстава за испирање или контакт са

средствима за чишћење и дезинфекцију као и стерилизација утичу на појаву замора инструмента и корозије (Han-Hsing Lin и остали, 2021). Сви ови фактори доприносе деградацији и пластичној деформацији никл-титанијумских инструмената, што може довести до њихове фрактуре. У покушају да се продужи радни век инструмената али и омогући успешна обрада канала коренова комплексне морфологије, извшена је промена технологије завршне обраде никл-титанијумских инструмената. На тај начин су добијене нове генерације инструмената које нам пружају велике могућности у лечењу ендодонтских инфекција, посебно код зуба који су раније због немогућности приступа апексној трећини канала били индиковани за екстракцију (Uguz и остали, 2020). Захваљујући модификацији њихове површинске микроструктуре инструменти нових генерација имају унапређене физичке особине што позитивно утиче на квалитет обраде дентина канала корена, а истовремено је смањена могућност појаве оштећења која би за последицу имала фрактуру инструмента у каналу (Hülsmann и остали, 2019).

У овом истраживању су коришћени екстрахирани зуби како би се обезбедили услови слични клиничким, да би се обезбедио адекватан узорак који би се могао анализирати на СЕМ-у и створила могућност адекватног прегледа дентина након машинске обраде. У процени ефикасности сечења дентинског ткива канала корена помоћу СЕМ, у овој студији су коришћена два различита система ротације: инструменти који су користили пуну ротацију као и инструменте са реципрочним кретањима. Испитивано је 6 типова ротирајућих инструмента одређеног система ротације с циљем да се изврши компаративна анализа њиховог сечивног утицаја на квалитет обраде дентина унутар канала корена. У складу са великим бројем истраживања спроведен је кроз концепт коришћења једног инструмента из одговарајућег система (Торси и остали, 2014).

Покрет континуиране ротације у смеру кретања казаљке на сату, је управо покрет који се користи од самог почетка препарације канала корена НиТи инструментима. Постоје велики број система НиТи ротирајућих инструмента који користе пуну ротацију при чему је брзина којом се ротирају мала и креће се у опсегу од 150 до 800 обртаја у минути. У овом истраживању од инструмената који користе пуну ротацију смо користили ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted file, HyFlex CM и BioRace.

Други начин активирања машинских НиТи инструмента који се користе за препарацију канала корена су реципрочни покрети који су засновани на техници уравнотежених сила које укључују увођење инструмента у канал корена у смеру кретања казаљке на сату како би се радни део ручног инструмента захватио са зидовима канала али и кретања у смеру супротном од казаљке на сату, чиме се сече дентин канала, што доводи до његовог проширења (Ahn и остали, 2016; Yared, 2008). У овом истраживању је као једини представник инструмента који користе реципрочне покрете коришћен WaveOne Gold. Коришћењем овог ротирајућег инструмента постигнута је квалитетна обрада дентина унутар канала корена зуба. Захваљујући својим реципрочним покретима и сечивном ефикасношћу овог инструмента, могуће је постићи не само временски значајно краћу већ и ефикаснију препарацију канала корена (Plotino, Giansiracusa Rubini, и остали, 2014). Коришћењем оваквог система ротације постиже се и ефикасно активирање ириганса који додатно доприноси олакшаној и ефикасној инструментацији (Kato и остали, 2016). Његов модификовани попречни пресек у облику паралелограма са врхом који не сече, пружа већу флексибилност, и поседује високу способност обликовања што резултира у уклањању више дентина из канала корена (Bürklein и остали, 2019; Özyürek, 2016). Оваквим дизајном попречног пресека омогућено је асиметрично хватање дентина унутар канала корена зуба у једној тачки чиме се обезбеђује простор око инструмента за боље накупљање дебриса и његово ефикасно уклањање (Özyürek, 2016). Оно што је посебно значајно код ових покрета је чињеница да је смер сечења - смер улево. Смер сечења се одликује већом вредношћу угла од супротног смера. Резултати нашег истраживања су у корелацији са резултатима других студијама (Ali и остали, 2020; Kato и остали, 2016; Živković и остали, 2018). Подаци из литературе показују да је обрада дентина ефикаснија код употребе ротирајућих инструмента са реципрочним покретима, као и да је била ефикаснија у уклањању размазног слоја иако није уклоњен у потпуности (Živković и остали, 2018). Слични резултати добијени су у студији која се бавила компаративном анализом WaveOne Gold и ProTaper Gold (Ali и остали, 2020).

СЕМ анализа канала препарисаних коришћењем инструмента ProTaper Universal у препарацији канала корена, СЕМ анализа узорака пре примењеног завршног протокола иригације је указала на углавном чисте зидове канала али, може се рећи да је инструмент мање ефикасан у уклањању размазног слоја у односу на оне који користе реципрочне

покрете, иако га ниједан систем не уклања у потпуности. У СЕМ студији која је имала за циљ да упореди ефикасност чишћења дентина канала корена користећи ProTaper Universal, ProFile GT и EndoSequence, није било разлике у ефикасности чишћења (Williamson и остали, 2009). Међутим, у једној студији спроведеној на доњим централним секутићима, ProTaper Universal је показао бољу ефикасност у чишћењу дентина канала корена у поређењу са ручним инструментима, јер је на дентинској површини уочена мала количина дентинској опиљака и размазног слоја (Торси и остали, 2014). Разлог ефикасности ProTaper Universal могао би се објаснити пре свега дизајном радног дела инструмента. ProTaper Universal инструменти имају троугаони попречни пресек са конвексним странама које му омогућавају већу ефикасност сечења уз смањење површине контакта са зидом канала (Pedullà и остали, 2016; Reddy и остали, 2013). Карактеристична променљива коничност дуж радног дела која омогућава прогресивну припрему, оштре сечивне ивице, као и променљив хеликоидни угао са заобљеним и пасивним врхом повећава његову ефикасност (Ruddle, 2005).

Анализом узорака дентина након препарације канала корена помоћу ProTaper Next утврђено је да су зидови канала приближно или мало чистији у односу на ProTaper Universal указујући на његову ефикасност у току обраде. Крајни исход обраде канала овим инструментом у погледу уклањања размазног слоја је свакако слабији у односу на WaveOne Gold (Gajoum и остали, 2021). Ефикасност овог типа инструмената током обраде огледа се у варијабилној коничности карактеристична за инструменте ProTaper групе, као и у правоугаоном попречном пресеку којим се омогућава контакт са дентином у две тачке истовремено. Резултати овог истраживања су у складу са резултатима других студија (Özyürek и остали, 2017). Özyürek и сарадници су показали да је ProTaper Next ротирајући инструмент током ретретмана канала корена зуба оставио значајно мање гутаперке и заптивача на зидовима корена у поређењу са ProTaper Universal и групом која је користила мануелне методе. Такође, разлог ефикасности обраде дентина у каналу поред самог дизајна може се огледати и у самој MicroWave технологији. Према истраживању студије која је упоредила ефикасност ретретмана помоћу ProTaper Next и система са реципрочним покретима у мезијалним каналима молара доње вилице путем микро-СТА, оба система су била подједнако ефикасна у уклањању оптурације из јако закривљених канала (Nevares и остали, 2016). Изненађујуће, само у једној студији је уочено да је ефикасност сечења и уклањања дебриса из канала током његове обраде била боља код ProTaper Next у поређењу

са Wave One Gold (Dincer и остали, 2017). Оваква разлика у обради канала и могућности уклањање дебриса зависи од зуба који се препарише као и у концентрацији, количини и врсти раствора за испирање који се користе током обраде канала корена.

HуFlex СМ ротирајући инструмент се карактерише способношћу да припреми изузетно закривљене канале без могућности транспортације и грешке у обликовању канала или прелома током инструментације захваљујући његовој флексибилности и способности означеној као ефекат меморије (Bürklein и остали, 2014; Kishore и остали, 2017; Lin и остали, 2021). Технологија контролне меморије чини Hуflex СМ флексибилнијим од конвенционалних НиТи и М-wire инструмената сличних величина и конуса (Testarelli и остали, 2011). Препарација канала корена инструментима Hуflex СМ није показала смањење размазног слоја у односу на Wave One Gold, ProTaper Universal и ProTaper Next. Разлог који је довео до већег стварања размазног слоја током обраде канала корена може бити сам дизајн попречног пресека инструмента. Његов квадратни попречни пресек са центрираним положајем омогућава више контаката са зидовима дентина, као и супериорност у флексибилности у односу на конвенционалне ProTaper Universal инструменте (Galal & Hamdy, 2020; На и остали, 2015), међутим, то негативно утиче на стварање размазног слоја и његово уклањање. Управо, због веће контактне површине са зидом канала корена током препарације и мањи простори за акумулацију остатака и његово уклањање, размазани слој и дентински остаци имају тенденцију да буду заробљени између зида канала корена и инструмента (Herisa и остали, 2020).

BioRace и Twisted file представљају посебне групе ротирајућих инструмента који су дизајнирани како би се очувала коничност самог канала током његове обраде уз истовремено смањење нежељених процедуралних грешака.

Twisted file је инструмент који се добија поступком увртања НиТи легуре. Карактеристичног је троугластог попречног пресека који поред тога што побољшава флексибилност, ствара мање трења са зидовима канала корена зуба током његове обраде. Због карактеристичног променљивог нагиба омогућено је да се остаци настали током инструментације ефикасно уклањају из канала због дубине и ширине жлебова који се повећавају према осовини инструмента (Sharma и остали, 2015). Упркос унапређеном производном процесу и јединственом дизајну радног дела, ефикасност инструментације

помоћу Twisted file била инфериорнија у односу на WaveOne Gold. У поређењу са ProTaper Universal и ProTaper Next, Twisted file је у овом истраживању на основу запажања самог истраживача, дао нешто чистије зидове дентина унутра канала корена. Овакво запажање је у корелацији са студијама у којима нису уочене значајне разлике између Twisted file и ProTaper Universal у количини стварања и уклањања дентинских остатака и размазног слоја из канала корена (Kadhom & Al-Hashimi, 2013; H. Li и остали, 2014).

Анализом узорака дентина након препарације канала корена помоћу BioRace указује на ефикасно уклањање остатака дентина из канала корена током инструментације али не и размазног слоја. Коришћењем BioRace уочене су значајне промене које се огледају у количини уклоњеног дентина, са карактеристично ширим и заобљеним каналима коничног изгледа, којом би се потврдила његова ефикасност у сечењу (Alsofi и остали, 2021). Резултати овог истраживања сугеришу да се резултат његовог деловања може огледати у његовој непрекидној ротацији, велике брзине рада и стога немају прилагодљиво кретање у смеру супротном од казаљке на сату као код WaveOne Gold.

6.2 ОТПОРНОСТ НА ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР КОД РАЗЛИЧИТИХ ТИПОВА РОТИРАЈУЋИХ НиТи ИНСТРУМЕНАТА

Са сигурношћу се може рећи да готово ни један метал или легура није увела толико револуционарних нових терапијских могућности у денталној медицини и ендодонцији као легура Никла и Титана - НиТи легура. Међутим, и даље поред свих својих предности, изненадни прелом инструмента без претходних знакова упозорења представља највећи проблем и једну од тежих компликација у току ендодонтске терапије (Huang и остали, 2017; Roda-Casanova и остали, 2022). Главне узроке прелома инструмената представљају торзионо оптерећење и циклични замор (Chi и остали, 2017; Faus-Llácer и остали, 2021; Торџоџлу & Торџоџлу, 2017) . У случајевима када је врх турпије заглављен у каналу током ротације инструмента, када се део инструмента увије у зид канала, када је врх инструмента већи од промера канала корена, или када се врши прекомерни притисак на инструмент у току рада, долази до прелома инструмента услед торзионог оптерећења (Sabet и остали, 2020; Vinothkumar и остали, 2016). Много чешћи узрок прелома инструмената је циклични

замор који настаје услед непрекидног смењивања компресије и истезања у свакој тачки савијеног инструмента у пределу кривине канала. Овакав механизам је одговоран у 90% случајева прелома инструмената (Sabet и остали, 2020; Vinothkumar и остали, 2016). Управо из тог разлога, постао је најчешћа тема проучавања међу стоматолозима у савременој ендодонтској клиничкој пракси. Свакако треба нагласити да постоје велики број фактора који могу утицати на појаву цикличног замора ротирајућих НиТи инструмента од којих посебну пажњу привлачи величина, коничност и облик попречног пресека инструмената, као и обученост самог терапеута (Parashos & Messer, 2006; Tripi и остали, 2006). Ради сигурности у току ендодонтског третмана као и смањење ризика од прелома постоји препорука да се ови инструменти одбаце након једне употребе. Међутим, високи оперативни трошкови коришћења НиТи турпија приморавају клиничаре да их поново користе и излажу процесима стерилизације (Patil и остали, 2017). Због тога је од велике важности константно спроводити тестове цикличног замора на новим системима НиТи инструмената како би се клиничарима обезбедиле информације о њиховој отпорности на преломе (Elnaghy и остали, 2020). Идеални модел за испитивање њихове отпорности подразумевао би препарацију канала корена на природним зубима. Обзиром да се приликом такве врсте тестирања инструмента, дијаметар канала повећава, зуб као модел може се користити само једном (Plotino и остали, 2009). Са друге стране, иако екстрахирани зуби симулирају идеалне клиничке услове, канали коренова зуба не могу бити анатомски и морфолошки стандардизовани (Yao и остали, 2006).

Према подацима из литературе, постоје два начина испитивања ендодонтских инструмената на циклични замор: статички и динамички тест (Keleş и остали, 2019). Статички тест подразумева да се инструмент убацује у симулирани канал на моделу до одређене дубине, а затим ротира док не дође до прелома. Код ове врсте испитивања, тачка максималног напрезања се обично налази у центру кривине. Оваквим тестом добијају се боље информације о утицају различитих дизајна сечива инструмента или завршне обраде саме легуре НиТи на циклични замор, што је важно за оптимизацију и развој нових инструмената. У динамичком тесту, инструмент се помера у симулираном каналу са одређеном амплитудом вертикалних покрета да би се симулирала клиничка ситуација. Због померања инструмента, локализација тачке максималног напрезања варира дуж турпије, што резултира већом отпорношћу на циклични замор (Hülsmann и остали, 2019). Ли и

сарадници су открили да је вертикално померање инструмената за 1 до 3 mm довело до 15% повећања времена до прелома (Li и остали, 2002). Према Келес и сарадницима, отпорност на замор је значајно повећана у динамичком моделу за све системе инструмената који су тестирани у њиховој студији; чак и тако, температура није утицала на резултате отпорности на циклични замор (Keleş и остали, 2019). Шен и сарадници су такође дали приоритет системима за лабораторијске студије који блиско имитирају услове *ин vivo* (Shen и остали, 2013). Међутим, динамички тест је осетљивији на процедуралне грешке јер је тешко прецизно одредити амплитуду аксијалних покрета, као и тачан угао и путању под којим инструмент улази у артифицијелни канал на моделу (Hülsmann и остали, 2019). Према истраживању Хилсмана и сарадника, већина студија у постојећој литератури спроведена је на статичком моделу (88%), док је само 12% студија спроведено на динамичком моделу (Hülsmann и остали, 2019) .

У овој студији је извршено поређење отпорности на циклични замор код шест различитих типова НиТи ротирајућа инструмената (ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File, BioRace, Wave One Gold и HyFlex CM) у симулираним каналима коренова. За процену отпорности на замор коришћен је метални блок са симулираним каналима под углом од 45 степени и радијуса кривине од 2mm и 5mm. Резултати су показали изузетно високу отпорност на циклични замор код ProTaper Next, Twisted File, BioRace, HyFlex CM и Wave One Gold инструмената у поређењу са ProTaper Universal. Ови резултати су у складу са резултатима других студија (Bouska и остали, 2012; Keskin и остали, 2018; Ribeiro Camargo и остали, 2020; Ruiz-Sánchez и остали, 2020; Tripi и остали, 2006). Ова разлика може бити последица континуиране модификације НиТи легуре и структуре, технике обраде материјала као и разлике у попречном пресеку, што се показало као фактор који у великој мери утиче на повећање отпорности на циклични замор. Израда ProTaper Next и Wave One Gold инструмената је базирана на М-wire технологији која подразумева серију топлотних третмана којима се излаже НиТи жица у процесу производње, због чега је М-wire много еластичнији и отпорнији на циклични замор од конвенционалних инструмената (Goo и остали, 2017). Конвенционална НиТи легура је на собној и температури усне дупље у фази аустенита. На собној температури, М-wire који је подвргнут термичким третманима, је у фази аустенита и мартензита. Управо већи садржај мартензита, који је мекши, код М-wire инструмената има позитиван ефекат на отпорност на циклични замор. Бројне студије

су објавиле резултате који су у складу са овом тврдњом (Johnson и остали, 2008; Keskin и остали, 2018). Потребно је нагласити да топлота током термомеханичке обраде легуре не утиче само на механичка већ и на њихова оптичка својства. Када се инструменти охладе након термичке обраде, долази до промене боје површине самог инструмента која одговара дебљини слоја титанијум оксида. Управо због веће количине титанијум оксида код Wave One Gold, он поседује златну боју (Hamdy и остали, 2019).

Израда Twisted File базирана је излагањем жице, која се налази у аустенитној фази, термичком процесу, који доводи до прелаза аустенита у стабилну, кристалну R фазу (Agarwal и остали, 2018). Након излагања металне легуре различитој топлотној обради овај ротирајући инструмент се подвргава технологији увртања (Uslu и остали, 2018). На овај начин се добија инструмент знатно боље флексибилности и отпорности на циклични замор али и мање крутости од конвенционалних (нетретираних) инструмената (Zhou и остали, 2013). Такође се избегава формирање површинских неправилности као што је случај код конвенционалног резања. Оваква предност ове групе ротирајућих инструмената је последица подвргавања процесу познатим под називом Deox при чему се уклањају површинске нечистоће и оксидациони слој (Gambarini и остали, 2008; Testarelli и остали, 2009). Резултати ове студије су показали значајно већу отпорност на циклични замор у односу на ProTaper Universal у оба радијуса кривине.

У циљу унапређења механичких особина инструмената произвођачи су модификовали њихову површинску микроструктуру савременим технолошким поступцима. Као резултат тога настала је нова генерација инструмената састављене од легуре контролисане меморије (SM wire). HyFlex SM представља посебну групу инструмената произведене од посебно дизајниране, контролисане меморијске жице настале применом посебног термомеханичког процеса који ове инструменте чини савитљивијим у односу на остале типове са додатном предношћу означеним као меморијски ефекат (Alazemi и остали, 2015; Shen и остали, 2011; Sinha и остали, 2021; Zhao и остали, 2013). Састав легуре NiTi, посебно садржај никла који је код HyFlex SM нижи у односу на остале ротирајуће системе и износи 52% тежине, има велики утицај на отпорност ове групе инструмента на циклични замор (Sinha и остали, 2021; Tabassum, 2019). Захваљујући томе, HyFlex SM је показао значајно већу отпорност на циклични замор у односу на ProTaper Universal. Инструменти направљени од SM жице показују око 300% до 800% већу

отпорност на циклични замор у односу на нетретиране инструменте (Shen и остали, 2013). Према студији у којој је вршено поређење отпорности на циклични замор четири типа ротирајућих инструмената утврђено је да HyFlex SM показује већу отпорност од ProTaper Universal инструмената у апексној кривини артифицијелног канала (Торџуоғлу & Торџуоғлу, 2017). Овакви резултати су у складу и са другим студијама (Ribeiro Camargo и остали, 2020).

BioRace представља посебан тип конвенционалног ротирајућег инструмента чија се НиТи легура на собној и температури усне дупље налази у фази аустенита (el Feku и остали, 2019). За разлику од конвенционалног нетретираног ProTaper Universal, BioRace се излаже процесу електрополирања. Електрополираност утиче на површинску структуру инструмента на тај начин што се формира хомогени слој оксида чиме је смањена појава површинских дефеката и центара потенцијалног стреса (Gutmann & Gao, 2012). Студије су показале да електрополирани инструменти показују већу отпорност на циклични замор у односу на конвенционалне нетретиране ротирајуће инструменте (Anderson и остали, 2007; Lopes и остали, 2010; Zhao и остали, 2016).

Поред разлика у легури, разлике у попречном пресеку инструмената представљају значајан фактор који доприноси већој отпорности на замор код НиТи ротирајућих инструмента. Већа контактна површина ротирајућег НиТи инструмента у каналу доводи до мање флексибилности и мање отпорности на циклични замор (Pedullà и остали, 2015). ProTaper Universal инструменти имају троугаони попречни пресек са конвексним странама и производе се технологијом класичног резања која је стандардна за конвенционалне инструменте. Таква технологија израде доводи до настанка микропукотина и дефеката на површини радног дела који представљају тачке концентрације стреса које слабе инструмент и доводе до његовог изненадног пуцања (Keskin и остали, 2018).

ProTaper Next има правоугаони попречни пресек са нецентрираним положајем који доводи до таквог померања током инструментације да се смањује површина радног дела која је у контакту са зидовима канала корена што обезбеђује већу отпорност на циклични замор (Gambarini и остали, 2012; Pedullà и остали, 2015). Асиметрични покрети током ротације ProTaper Next инструмената обезбеђују ефикасност у обради канала, док правоугаони пресек обезбеђује супериорне механичке особине (Goo и остали, 2017). У студији Занга и сарадника (Zhang и остали, 2010) анализирани су облик и дизајн попречног пресека инструмента од НиТи и доказано је да оба фактора значајно утичу на њихове

механичке особине током препарације канала. Ујугун и сарадници су за процену цикличног замора користили ProTaper Universal, ProTaper Next и ProTaper Gold у симулираним каналима са углом закривљености од 60 степени и утврдили да су највећу отпорност на циклични замор показали ProTaper Next и ProTaper Gold (Uygun и остали, 2016).

Са друге стране, Twisted file и BioRace, су ротациони инструменти веома сличног попречног пресека и дизајна инструмената. Једине разлике између ова два ротациона система су брзина и обратни моменат као и производни процес. Међутим, равне стране троугластог попречног пресека код Twisted file и BioRace могу играти улогу у повећању њихове флексибилности у односу на ProTaper Universal. Дизајн њиховог попречног пресека је такав да имају мању површину попречног пресека у односу на конвексни троугао који је карактеристичан за ProTaper Universal (Buyalich & Husnutdinov, 2017; Ertaş и остали, 2016). Облици попречног пресека са мањим бројем углова и равним странама зида имају бољу ефикасност сечења и отпорности на циклични замор у односу на конвексне попречне пресеке (Galal & Hamdy, 2020).

HуFlex CM ротациони систем је веома специфичан у поређењу са осталим инструментима када је реч о дизајну попречног пресека. HуFlex CM може бити троугластог или квадратног попречног пресека у зависности од величине и коничности (Poggio и остали, 2015). У овом истраживању је коришћен ротациони систем HуFlex CM дијаметра 25, коничности 0.04 па је самим тим попречни пресек облика квадрата. Овакав дизајн утиче на побољшање флексибилности инструмената. Захваљујући квадратном попречном пресеку са центрираним положајем и могућности контакта са зидовима дентина у једној или две тачке, показује супериорност у односу на конвенционалне нетретиране ProTaper Universal инструменте (Galal & Hamdy, 2020; На и остали, 2015).

WaveOne Gold представља ротирајући систем са реципрочним кретњама, карактеристичног попречног пресека радног дела у виду паралелограма (Pedullà и остали, 2016). Захваљујући томе, овај тип ротационог система има другачије понашање у погледу расподеле стреса а самим тим и појаве прелома. Попречни пресек WaveOne Gold инструмента у облику паралелограма остварује контакт само у једној тачки у каналу корена доприносећи на тај начин надмоћ у отпорности на циклични замор односу на конвенционални ProTaper Universal (Chi и остали, 2021; Olcaу и остали, 2019).

У овом истраживању резултати дужине фрактурираних фрагмената су показале статистичку значајност код BioRace, HyFlexCM и ProTaper Next у поређењу са конвенционалним ProTaper Universal. Преломи су се углавном јављали на приближно 5 mm од врха турпије, у подручју максималне савијености. Код инструмената ProTaper Next уочена је појава фрактурираних фрагмената значајно мање дужине у односу на конвенционални ProTaper Universal али и осталих испитиваних ротационих система у овој студији. Резултати овог истраживања су у корелацији са налазима из литературе (Aminsobhani и остали, 2015; Olcaу и остали, 2019). Сличне резултате су добили и Кочак и сарадници (Коџак и остали, 2021) који су вршили поређење пет различитих типова NiTi ротирајућих инструмената. У једној од студија (Peng и остали, 2015) дужина фрагмента код ProTaper Next инструмената је била статистички значајно мања у поређењу са конвенционални ProTaper Universal код тестирања у каналу под углом од 90°. Међутим, тестирање у каналима под углом од 45° и 60° није показало статистички значајну разлику.

6.3 ОТПОРНОСТ НА ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР КОД РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА ПОДВРГНУТИМ ПРОЦЕСИМА СТЕРИЛИЗАЦИЈЕ

Истовремена употреба хемијских средстава за испирање или контакт са средствима за чишћење и дезинфекцију као и процес стерилизације у аутоклаву могу утицати на појаву замора инструмента (Han-Hsing Lin и остали, 2021). Како би се повећала отпорност на циклични замор, произвођачи су применили специфичну термомеханичку обраду ради добијања NiTi легуре која првенствено садржи мартензитну фазу стабилну у клиничким условима (Hamdy и остали, 2019; Yahata и остали, 2009). Промена температуре значајно утиче на кристалне фазе код NiTi легуре (Lopes и остали, 2007; Özyürek и остали, 2017). Ове промене резултирају побољшаним физичким карактеристикама ротирајућих NiTi турпија попут веће ефикасности сечења дентина унутар канала корена али и отпорности на фрактуру (Lopes и остали, 2007; Özyürek и остали, 2017). Легура NiTi постоји у три кристалне фазе: аустенит, мартензит и Р фаза. Термомеханичка обрада мења температуру на којој се помера микроструктура легуре NiTi из једне у другу фазу, задржавајући

специфична својства те фазе. Температура на којој се завршава трансформација мартензита у фази аустенит, расте изнад телесне температуре што резултује да се термички обрађене турпије користе док су у фази клиничког мартензита, за разлику од конвенционалних НиТи који се користе у аустенитној фази (Shen и остали, 2013; Yahata и остали, 2009). Иако је број употребе НиТи ротирајућих инструмената у клиничкој пракси ограничен, да би се ови инструменти због економичности поново користили, излажу се поновљеним циклусима стерилизације у аутоклаву због спречавања унакрсне контаминације (Vulem и остали, 2013; Patil и остали, 2017). Постоје опречна мишљења о утицају стерилизације у аутоклаву на ефикасност различитих НиТи ротирајућих система. Раније се сматрало да вишеструка стерилизација у аутоклаву доводи до смањења ефикасности, иницијације неправилности и продубљивања пукотина на површинама радних делова инструмената (Mize и остали, 1998). Поновљени циклуси стерилизације аутоклавом значајно мењају концентрацију никла, титана, кисеоника и угљеника на површини легуре оксидацијом која доводи до таложења остатака титанијум оксида (TiO_2) и храпавости површине, чиме се њена ефикасност сечења може смањити и за 50%. Међутим, захваљујући завршној обради код инструмената нових генерација могуће је да топлота стерилизације позитивно утиче на деформисан инструмент и врати га у првобитни облик (Sinha и остали, 2021; Viana и остали, 2006). Наравно, позитиван ефекат стерилизације се може очекивати само код инструмената који су у завршеној производној процедури термички обрађени (Hilt и остали, 2000; Sinha и остали, 2021).

У овој студији је извршено поређење отпорности на циклични замор код пет различитих типова НиТи ротирајућа инструмената (ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File, RaCe, HyFlex CM) у симулираним каналима коренова пре и након њиховог излагања циклусима стерилизације. Отпорност на циклични замор како термички обрађених тако и електрополираних, нестерилисаних НиТи инструмената био је знатно већи од конвенционалних. Ови резултати су у складу са резултатима других студија (Bouska и остали, 2012; Keskin и остали, 2018; Ribeiro Camargo и остали, 2020; Ruiz-Sánchez и остали, 2020; Tripi и остали, 2006). Оваква разлика се може тумачити као последица континуиране модификације НиТи легуре и структуре, технике обраде материјала као и разлике у попречном пресеку, што се показало као фактор који у великој мери утиче на повећање отпорности на циклични замор.

Није примећена статистички значајна разлика у отпорности ProTaper Universal као представника конвенционалног (нетретираног) типа инструмента пре и после излагања циклусима стерилизације. Добијени резултати су у корелацији са резултатима истраживања других аутора који су као представнике конвенционалног (нетретираног) типа користили неке друге инструменте као што су Mtwo, Hero642, K3 (Khabiri и остали, 2017; Plotino и остали, 2012). Још једна студија спроведена од стране Елбатала и сарадника је показала да није било статистички значајне разлике између средње вредности NCF код ProTaper Universal који су били изложени једном, другом и трећем циклусу стерилизације (Elbatal и остали, 2016). Међутим само је једна студија пријавила повећање отпорности на циклични замор код конвенционалног (нетретираног) ProFile инструмента након пет циклуса стерилизације (Viana и остали, 2006). Обзиром на чињеницу да се ProTaper Universal добија технологијом класичног резања која је стандардна за конвенционалне инструменте и која није изложена процесима загревања током производње, с правом не можемо очекивати унапређење механичких својства овог типа инструмента након његовог излагања процесима стерилизације у аутоклаву.

У новијим технологијама направљен је покушај увртања готових профила никл-титанијумских жица потпомогнуто процесима грејања и хлађења легуре као и стресом при чему долази до промена у кристалној структури легуре, када се добија стабилна Р-фаза у нитинолу (Gambarini и остали, 2008). Иако се Twisted file углавном састоје од аустенита у оралном окружењу, вредности оптерећења при савијању у опсегу еластичности и супереластичности су знатно ниже у односу на конвенционалне НиТи ротирајуће турпије (Sinha и остали, 2021). У овом истраживању Twisted File инструменти су показивали пад броја циклуса који су потребни да изазову фрактуру инструмента након 1, 3 и 5 циклуса стерилизације у радијусу кривине од 2mm и 5mm. Резултати ове студије су у супротности са резултатима добијени у студији Хилфера и сарадника и Зао и сарадника (Hilfer и остали, 2011; Zhao и остали, 2016), који су показали да процес стерилизације у аутоклаву није утицао на средње вредности NCF. Оваква разлика може бити последица различитих услова примене стерилизације али и разлике у угловима закривљености и радијуса угла у којима су ротирајући инструменти тестирани.

Електрополирани BioRace показао је значајну отпорност на циклични замор у односу на конвенционални ProTaper Universal пре и након излагања циклусима

стерилизације. Резултати ове студије су показали да стерилизација у аутоклаву није статистички значајно утицала на отпорност на циклични замор код електрополираног BioRace. Студије које су се бавиле утицајем стерилизације на електрополиране инструменте су показале сличне резултатет (Almohareb и остали, 2021; Zhao и остали, 2016). Чини се да температуре којима су ротирајући инструменти изложени током циклуса стерилизације у аутоклаву нису довољно високе да изазову неке озбиљне промене у микроструктури легуре НиТи, што би негативно утицало на њену отпорност на замор. Резултати добијени у овој студији су у складу са подацима из литературе и показују да није доказан штетан утицај стерилизације на отпорност на циклични замор електрополираног BioRace (Almohareb и остали, 2021; Zhao и остали, 2016).

Стерилизација у аутоклаву значајно је утицала на повећање отпорности на циклични замор када је у питању HyFlex CM ротирајући инструмент. Резултати ове студије су у складу са налазима из литературе (Casper и остали, 2011; Sinha и остали, 2021; Zhao и остали, 2016). У истраживању које је имало за циљ да се процени ефекат стерилизација у аутоклаву на отпорност на циклични замор код термички обрађених (HyFlex CM, K3KCF, TF), електрополираних (BioRace) и конвенционалних НиТи инструменти (RaCe и K3), утврђено је да се значајно побољшала отпорност на циклични замор код HyFlex CM и K3KCF док код осталих инструмента топлота стерилитације није имала утицаја (Zhao и остали, 2016). Ови резултати могу бити последица тога што се инструменти састоје од посебно дизајниране, жице са контролисаним меморијом настале применом посебног термомеханичког процеса који инструменте чини невероватно флексибилним и са меморијским ефектом (Alazemi и остали, 2015; Shen и остали, 2011; Sinha и остали, 2021; Zhao и остали, 2013). Значајан утицај на отпроност ове групе инструмента као и могућност да се врате у свој првобитан облик након излагања топлоти у току циклуса стерилизације у аутоклаву има и састав легуре НиТи. Састав легуре НиТи, посебно садржај никла који је код HyFlex CM нижи у односу на остале ротирајуће системе и износи 52% тежине, има велики утицај на температурне трансформације (Sinha и остали, 2021; Tabassum, 2019).

Испитивањем утицаја стерилизације код ProTaper Next у овој студији није утврђен статистички значајан утицај на повећање отпорности на циклични замор. Постоје контрадикторна мишљена али и веома мали број радова о утицају топлоте током стерилизације када су у питању инструменти израђени од М-wire. Озијурек и сарадници су

испитивали утицај стерилизације на отпорност цикличног замора код ProTaper Universal, ProTaper Next и ProTaper Gold (Özyürek и остали, 2017). Утврђено да је излагање стерилизацији у аутоклаву статистички значајно повећало отпорност на циклични замор код ProTaper Next и ProTaper Gold. Међутим, поновљена стерилизација у аутоклаву није утицала на отпорност на замор код некоришћених ротирајућих инструмената израђене од М-wire (Casper и остали, 2011; Hilfer и остали, 2011; Plotino и остали, 2012). Стерилизација у овој студији није повећала отпорност на циклични замор, али није ни показала негативан утицај односно смањила ‘животни век’ овог ротирајућег инструмента. Обзиром да је израда ProTaper Next инструмената базирана на М-wire технологији која подразумева серију топлотних третмана којима се излаже НиТи жица у процесу производње, због чега је М-wire много еластичнији и отпорнији на циклични замор од конвенционалних инструмената (Goo и остали, 2017). На собној температури, М-wire који је подвргнут термичким третманима, је у фази аустенита и мартензита. Управо већи садржај мартензита, који је мекши, код М-wire инструмената има позитиван ефекат на отпорност на циклични замор. Бројне студије су објавиле резултате који су у складу са овом тврдњом (Johnson и остали, 2008; Keskin и остали, 2018). Управо из тог разлога можемо рећи да су резултати добијени у овој студији вероватно последица различитих услова примене стерилизације али и разлике у угловима закривљености и радиус угла у којима су ротирајући инструменти тестирани.

Мали број студија је објавио везу између дужине сломљеног фрагмента и цикличног замора инструмената, а аутори нису пронашли статистички значајну везу између дужине фрактурираних фрагмената и цикличног замора. Ово истраживање је показало да се средња вредност FL мења у директној супротности са средњом вредношћу NCF код свих типова инструмената. Изузетак је био Twisted file, где је смањење вредности NCF било праћено смањењем FL. Постојећи подаци такође указују да је до фрактуре инструмената дошло на $\pm 0,5$ mm од тачке максималне кривине канала (Karataşlıoğlu и остали, 2018). Ова студија је показала сличне резултате на инструментима тестираним у артифицијелном каналу са радијусом закривљености од 5 mm. Међутим, инструменти тестирани у радијусу од 2 mm су имали краће фрагменте. Резултати студије показују да смањење радијуса кривине канала утиче на смањење дужине преломљеног фрагмента.

6.4 ОТПОРНОСТ НА ЦИКЛИЧНИ ЗАМОР КОД РОТИРАЈУЋИХ NiTi ИНСТРУМЕНАТА ПОДВРГНУТИМ ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКИМ ИСПИТИВАЊИМА

Хемијски утицај на ендодонтске инструменте могу испољити различити раствори који се користе у ендодонцији током процеса инструментације и иригације каналног система, или након инструментације (у поступцима дезинфекције и стерилизације инструмената) (Han-Hsing Lin и остали, 2021). Овакво хемијско деловање може изазвати оштећење и корозију ендодонтских инструмената. Корозија је представља процес оштећења метала хемијском или електрохемијском реакцијом са околином, а техника која процењује електрохемијске особине система раствора за иригацију се чини најпоузданија у проучавању корозије. Електрохемијске технике које се заснивају на карактеристикама потенцијално-струјних електрода дефинишу подложност метала на реакцију са околином (Поповић и остали, 2016).

Током хемомеханичке припреме каналног система неопходно је вршити обилну иригацију канала одређеним хемијским средствима (Chianello и остали, 2008). Најефикасније средство за иригацију је натријум-хипохлорит (NaOCl). Раствор NaOCl се користи унутар канала корена за растварање његовог органског садржаја, а испољава и бактерицидно дејство. Међутим, то је раствор са најизраженијим корозионим деловањем јер садржи активне и агресивне Cl⁻ јоне који укључују селективно уклањање никла са површине инструмента, услед чега настају микроструктурни дефекти (Sarkar и остали, 1983). Претпоставља се да ови микроструктурни дефекти могу довести до напрезања и стварања иницијалних пукотина, чиме се слаби структура инструмената. Истраживања су показала да је корозија један од првих фактора који промовишу замор материјала од кога су ендодонтски инструменти израђени, и који као такви постају подложнији деформацијама и фрактури при даљој употреби (Aten и остали, 1994; Busslinger и остали, 1998; Koch и остали, 2016). Управо из тог разлога понашање материјала од кога је ротирајући инструмент изграђен у потенцијално корозивном окружењу концентрованог NaOCl је важно за појаву фрактуре (Algahtani и остали, 2019).

У овом истраживању је извршено електрохемијско испитивање шест ротирајућих инструмената након чега су инструменти подвргнути тесту цикличног замора.

Електрохемијско испитивање је показало најмању отпорност на корозионо деловање NaOCl код ProTaper Universal, а следе Protaper Next, Twisted file, BioRace, HyFlex CM, док је највећу отпорност показао WaveOne Gold. Ови резултати су у корелацији са резултатима других аутора (Jovanovic-Medojevic и остали, 2022; Pedullà и остали, 2011). Истраживањем је утврђено да WaveOne Gold поседује већу отпорност на корозију не само у поређењу са конвенционалним, већ и са остала три термички обрађена типа инструмената.

Електрохемијско испитивање подразумева вештачко изазивање локализоване корозије која се назива питинг корозија. Она представља посебну врсту корозије која настаје деловањем раствора уз истовремено деловање одређене густине струје, која ће надвладати заштитни слој изложеног ротирајућег инструмента и нарушити интегритет материјала од кога је инструмент направљен (Ramires & Guastaldi, 2002; Silva & Oliveira, 2011). На овај начин се може прецизно дефинисати осетљивост метала на различите растворе који се користе за иригацију канала корена (Mueller, 1982). Подложност инструмента корозији зависи од различитих фактора производље, како од термомеханичке обраде тако и површинског третмана радног дела ротирајућег инструмента (Han-Hsing Lin и остали, 2021). Међутим, отпорност сваког ротирајућег инструмента на корозиони ефекат, посебно средства за иригацију огледа су у присуству као и дебљини пасивног слоја TiO₂, који ће се одупрети њиховом десруктивном деловању (Bonaccorso и остали, 2008; Prando и остали, 2017). Потребно је нагласити да топлота током термомеханичке обраде легуре не утиче само на механичка већ и на њихова оптичка својства. Када се инструменти охладе након термичке обраде, то резултира бојом површине самог инструмента која одговара дебљини слоја титанијум оксида. Управо због веће количине титанијум оксида код Wave One Gold, он поседује златну боју (Hamdy и остали, 2019). Видљиви златни површински слој титанијум оксида који је карактеристичан за Wave One Gold може бити одговоран за повећану отпорност на корозију.

Непосредно пре излагања инструмената ProTaper Universal и ProTaper Next тесту цикличног замора, у току електрохемијског испитивања примећено је да су инструменти ове групе у тренутку контакта са раствором NaOCl довели до појаве видљивих тамних честица (Berutti и остали, 2006). Ово је последица реакције NaOCl као електролитичког раствора и честица метала од којих је ProTaper Universal и ProTaper Next изграђени (Berutti и остали, 2006). Као резултат ове реакције може настати процес корозије. Средње вредности

NCF код ProTaper Universal након електрохемијског испитивања биле су мање у односу на контролу. Такође, треба нагласити да је ProTaper Universal током испитивања показао највећу осетљивост на појаву корозије односно најмању вредност питинг потенцијала. Ови резултати су у складу са резултатима других аутора (Jovanovic-Medojevic и остали, 2022; Oktavia и остали, 2019; Sood & Mohan, 2007). Октавија и сарадници су испитивали утицај NaOCl и EDTA код два типа ротирајућих НиТи инструмената (ProTaper Universal и iRaCe) и утврдили да је појава осетљивости на корозију и површинских оштећења код ProTaper Universal била знатно већа (Oktavia и остали, 2019). Међутим, резултати ове студије су у супротности са резултатима истраживања које је показало изненађујућу отпорност код ProTaper Universal у односу на три од четири инструмента са којима је вршено поређење (Han-Hsing Lin и остали, 2021). Такође, још једна студија је показала да NaOCl није смањило циклични замор НиТи ротирајућих инструмената (Pedullà и остали, 2014; Торџоџлу и остали, 2016). СЕМ анализом могу се јасно видети корозиона подручја у виду микроструктурних дефеката или пукотина близу места прелома инструмента након његовог излагања цикличном замору.

ProTaper Next је у овој студији показао мало већу али не и статистички значајну отпорност на корозију у раствору NaOCl током електрохемиског испитивања у односу ProTaper Universal. Управо из разлога што је питинг потенцијал на корозију овог инструмента низак, одразило се на смањење средњих вредности NCF. Аутор једне студије је испитивао утицај неколико различитих раствора на појаву корозије и утврдио значајан ефекат NaOCl како на појаву корозије тако и на смањење NCF код ProTaper Next (Abuhaimed, 2018). У литератури су објављени слични резултати о негативном утицају раствора NaOCl на појаву корозије и смањењу средњих вредности NCF (Nogueira и остали, 2020). Захваљујући континуираном усавршавању технологије и излагању НиТи жице топлотним третманима, ProTaper Next је отпорнији од конвенционалног инструмента ProTaper Universal. Због добијања технологијом класичног резања (Goo и остали, 2017), инструмент на површини има присутне трагове обраде као и микродефекте који представљају посебно осетљива места за испољавање корозионог дејства иригационих раствора (Keskin и остали, 2018).

У тежњи за добијањем бољих и ефикаснијих инструмената који би током обраде канала корена били отпорнији на корозиони ефекат NaOCl, инструменти се подвргавају

поступку електрополирања у процесу финалне обраде, чиме се елементарни Ni уклања, а оставља хомогени слој оксида услед чега је смањена појава површинских дефеката и центара потенцијалног стреса (Gutmann & Gao, 2012; Jovanovic-Medojevic и остали, 2022). Иако су BioRace и ProTaper Universal инструменти чија се NiTi легура на собној и температури усне дупље налази у фази аустенита (El Feku и остали, 2019), електрополирање као процес завршне обраде уклања многе несавршености карактеристичне за конвенционални ProTaper Universal које могу имати катастрофалне последице. У овој студији, електрохемијско испитивање инструмената BioRace је показао веће вредности питинг потенцијала у односу на ProTaper Universal односно већу отпорност на корозију. Вредности NCF код BioRace након електрохемијског испитивања биле су веће у односу на ProTaper Universal. Резултати овог истраживања су у складу са резултатима другог студија (Jovanovic-Medojevic и остали, 2022; Oktavia и остали, 2019). Претходне студије које су се бавиле утицајем ириганса попут NaOCl на појаву корозије и отпорности на циклични замор су показале контрадикторне резултате (Han-Hsing Lin и остали, 2021; Shahi и остали, 2012; Торџоџли и остали, 2016; Ториз и остали, 2008). Резултати студије Шахи и сарадника су показали да је Mtwo ротациони инструмент показао значајно већу отпорност на корозију у поређењу са RaCe након припреме канала (Shahi и остали, 2012). Овакви резултати могу бити последица коришћења различите методологије истраживања, ириганса као и њихових концентрација и температуре раствора. Електрохемијским испитивањем HyFlex CM је показао високу вредност питинг потенцијала, показујући на тај начин изванредну отпорност на корозију што се може огледати у вредностима NCFa у односу на контролу. Специфичност материјала од кога је изграђен а који се огледа израженом тврдоћом и могућношћу да се врате у свој првобитан облик након излагања топлоти – меморијски ефекат (Iasopo и остали, 2017) могу бити разлог зашто је број циклуса до прелома NCF након испитивања отпорности на корозију остао висок. Споменуто је да корозија подразумева селективно уклањање никла са површине инструмента чиме се стварају микроструктурни дефекти на њиховим површинама. С тога се може рећи да састав легуре, односно садржај никла који је код HyFlex-а CM нижи у односу на остале ротирајуће системе и износи 52% тежине, има велики утицај како на температурне трансформације (Sinha и остали, 2021; Tabassum, 2019), тако и на значајну отпорност на корозију и високу отпорност на циклични замор. Резултати овог истраживања у погледу утицаја NaOCl нису у

сагласности са резултатима појединих студија (Dadgar и остали, 2022; Nogueira и остали, 2020). У истраживању Дадгар и сарадника процењиван је ефекат NaOCl на отпорност на циклични замор три различита ротирајућа инструмента при чему је доказан значајан утицај NaOCl на појаву корозије а самим тим и на појаву смањења отпорности на циклични замор (Dadgar и остали, 2022). Супротно томе, Наир и сарадници су у студији анализирали отпорност на циклични замор код Twisted file, HyFlexCM, HyFlex EDM и Edgefile X3 EDM након потапања у раствор NaOCl и навели да је динамичко потапање у 2,5% NaOCl током дужег времена имало утицаја на отпорност HyFlexCM ротирајућег инструмента на циклични замор (Nair и остали, 2021).

Twisted file је у овој студији показао већу али не и статистички значајну отпорност на корозију у раствору NaOCl током електрохемијског испитивања у односу ProTaper Universal. Након излагања тесту цикличног замора, Twisted file је показао мање вредности NCF у поређењу са контролом. Приликом електрохемијског испитивања овог материјала услед јаке густине струје дошло је до изазвања локализованих корозионих микродефеката који су довели до смањења отпорности материјала на циклични замор тако да су вредности NCF након електрохемијског испитивања биле веће у односу на ProTaper Universal. Резултати овог истраживања су у складу са бројним студијама које су се бавиле поменутом проблематиком (Malhotra и остали, 2022; Nair и остали, 2021; Pedullà и остали, 2018; Sinha и остали, 2021). Педула и сарадници су спровели студију у којој је испитивана отпорност на циклични замор термички обрађених NiTi инструмената током статичког или динамичког урањања у 5% раствор NaOCl, и које је довело до смањења средњих вредности NCF код Twisted file (Pedullà и остали, 2018). Објављене су и студије које су показале да раствор NaOCl није утицао на смањење отпорности на циклични замор поменутог инструмента (Chandak и остали, 2016). Захваљујући начину производње који се огледа у специфичној термичкој обради праћеној технологијом увртања (Uslu и остали, 2018), Twisted file се показао као ефикаснији у поређењу са ProTaper Universal. Повећање питинг потенцијала се обично примећује у присуству оксидних слојева NiTi легура у изузетно агресивној средини као што је NaOCl због чега се очекује повећање отпорности на корозију у односу на конвенционалне ProTaper Universal инструменте (Pereira и остали, 2018).

На овакве налазе може утицати и конструкција направе за испитивање цикличног замора. Уређај за циклични замор генерише максимални напон у центру симулиране

кривине, на око 5 mm од врха, тако да уколико је корозиона зона присутна на том нивоу, прелом инструмента би могао врло брзо да се догоди. Међутим, уколико корозија погоди инструмент у области која није у зони максималног напрезања коју генерише уређај за тестирање, отпорност на циклични замор инструмента вероватно неће бити смањен.

7. ЗАКЉУЧЦИ

На основу резултата добијених у овом истраживању можемо закључити следеће:

1. Анализом ултраструктуре дентина корена зуба након препарације канала корена употребом нових генерација никл-титанијумских инструмената добијен је јасан увид у њихову предност у односу на конвенционалне никл-титанијумске инструменате, чиме се оправдава њихова супериорна улога у свакодневној ендодонтској клиничкој пракси.
2. Најчистија површина дентина канала корена без размазног слоја и са најмањом количином дентинских остатака добијена је обрадом канала корена помоћу инструмената ProTaper Next, што се доводи у везу са његовим специфичним правоугаоним попречним пресеком и нецентрираним положајем у каналу што омогућава ефикасну елиминацију дентинских остатака.
3. Највећа количина дентинских остатака и размазног слоја је уочена код обраде канала корена помоћу ProTaper Universal и HyFlex CM.
4. Анализа коренског дентина након уклањања размазног слоја у каналу корена зуба показала је јасно видљиве отворе дентинских каналића и ретко присутне неинструментисане зоне чиме је доказано да нове генерације никл-титанијумских инструмената имају бољу ефикасност сечења у односу на конвенционалне.
5. Значајно мања учесталост фрактура код различитих углова закривљености уочена је код инструмената нових генерација у поређењу са конвенционалним. Најмања учесталост фрактура уочена је код инструмената са термички обрађеном легуром контролисане меморије HyFlex CM, као и код машинског система са реципрочним покретима сечења WaveOne Gold. Најмања отпорност на фрактуру је уочена код инструмената ProTaper Universal.
6. Негативан утицај хемијских средстава за иригацију канала корена био је нижи код инструмената нових генерација у поређењу са конвенционалним. У оквиру група нових генерација, највећа отпорност на корозионо дејство NaOCl уочена је код инструмената WaveOne Gold.
7. Потапање инструмената у раствор NaOCl је утицало на смањење отпорности на циклични замор. Учесталост фрактура је била највећа код конвенционалних

инструмената, док је највећу отпорност на циклични замор после кородирања показао инструмент HyFlex SM, а затим WaveOne Gold.

8. Стерилизација у аутоклаву није испољила ефекат на смањење отпорности на циклични замор код ротирајућих НиТи инструмената.
9. Повећање отпорности на циклични замор код нових генерација инструмената након стерилизације у аутоклаву је доказано код инструмената са термички обрађеном легуром контролисане меморије HyFlex SM.

Литература

- Abuhaimed, T. (2018). Effect of environment on cyclic fatigue of ProTaper Next rotary files. *Saudi Endodontic Journal*, 8(2), 117. https://doi.org/10.4103/sej.sej_65_17
- Agarwal, S., Nagpal, R., & Singh, U. (2018). NiTi Endodontics: Contemporary Views Reviewed. *Austin J Dent*, 5(4), 1112.
- Ahn, S.-Y., Kim, H.-C., & Kim, E. (2016). Kinematic Effects of Nickel-Titanium Instruments with Reciprocating or Continuous Rotation Motion: A Systematic Review of In Vitro Studies. *Journal of Endodontics*, 42(7), 1009–1017. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.04.002>
- Akribis Scientific Limited. (без датума). Преузето 19. Март 2023., од <https://www.akribis.co.uk/metrohm-autolab-pgstat128n-potentiostat-galvanostat>
- Alapati, S., Brantley, W., Svec, T., Powers, J., & Mitchell, J. (2003). Scanning Electron Microscope Observations of New and Used Nickel-Titanium Rotary Files. *Journal of Endodontics*, 29(10), 667–669. <https://doi.org/10.1097/00004770-200310000-00014>
- Alazemi, MA., Bryant, S. T., & Dummer, P. M. H. (2015). Deformation of HyFlex CM instruments and their shape recovery following heat sterilization. *International Endodontic Journal*, 48(6), 593–601. <https://doi.org/10.1111/iej.12353>
- Alexandrou, G. B., Chrissafis, K., Vasiliadis, L. P., Pavlidou, E., & Polychroniadis, E. K. (2006). SEM Observations and Differential Scanning Calorimetric Studies of New and Sterilized Nickel-Titanium Rotary Endodontic Instruments. *Journal of Endodontics*, 32(7), 675–679. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.01.003>
- Algahtani, F., Huang, X., Haapasalo, M., Wang, Z., Hieawy, A., Zhang, D., Aleksejuniene, J., & Shen, Y. (2019). Fatigue resistance of ProTaper gold exposed to high-concentration sodium hypochlorite in double curvature artificial canal. *Bioactive Materials*, 4, 245–248. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.07.003>

- Al-Hadlaq, S. M. S., AlJarbou, F. A., & AlThumairy, R. I. (2010). Evaluation of Cyclic Flexural Fatigue of M-Wire Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, *36*(2), 305–307. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.10.032>
- Ali, M., Ashry, S., & Ismail, A. (2020). Comparative Evaluation of Smear Layer Formation of WaveOne Gold, Protaper Gold and Manual files: an In vitro SEM Study. *Current Science International*, *9*(2), 381–386. <https://doi.org/10.36632/csi/2020.9.2.33>
- Almohareb, R. A., Barakat, R., Albakri, A., & Altamimi, M. (2021). Effect of Autoclaving Cycles on the Cyclic Fatigue Resistance of Race and Race Evo Nickel-Titanium Endodontic Rotary Files: An In Vitro Study. *Metals*, *11*(12), 1947. <https://doi.org/10.3390/met11121947>
- Alsofi, L., Al Harbi, M., Stauber, M., & Balto, K. (2021). Analysis of the Morpho-Geometrical Changes of the Root Canal System Produced by TF Adaptive vs. BioRace: A Micro-Computed Tomography Study. *Materials*, *14*(3), 531. <https://doi.org/10.3390/ma14030531>
- Anderson, M. E., Price, J. W. H., & Parashos, P. (2007). Fracture Resistance of Electropolished Rotary Nickel–Titanium Endodontic Instruments. *Journal of Endodontics*, *33*(10), 1212–1216. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.07.007>
- Andreasen, G. F., & Morrow, R. E. (1978). Laboratory and clinical analyses of nitinol wire. *American Journal of Orthodontics*, *73*(2), 142–151. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(78\)90184-7](https://doi.org/10.1016/0002-9416(78)90184-7)
- Anthony, L. P., & Grossman, L. I. (1945). A Brief History of Root-Canal Therapy in the United States. *The Journal of the American Dental Association*, *32*(1), 43–50. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1945.0007>
- Arens, F., Hoen, M., Steiman, H., & Dietzjr, G. (2003). Evaluation of Single-use Rotary Nickel-titanium Instruments. *Journal of Endodontics*, *29*(10), 664–666. <https://doi.org/10.1097/00004770-200310000-00013>
- Arias, A., Singh, R., & Peters, O. A. (2014). Torque and Force Induced by ProTaper Universal and ProTaper Next during Shaping of Large and Small Root Canals in Extracted Teeth. *Journal of Endodontics*, *40*(7), 973–976. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.11.019>

- Aten, J. C., Osetek, E. M., Heuer, M. A., & Lautenschlager, E. P. (1994). The simulation of clinical corrosion of endodontic files. *Northwestern dental research*, 5(1), 3–4.
- Atieh, M. A. (2008). Root and canal morphology of maxillary first premolars in a Saudi population. *The journal of contemporary dental practice*, 9(1), 46–53.
- Barac, R., Popović, J., Živković, S., Mitić, A., & Nikolić, M. (2016). Ultrastructural analysis of uninstrumented root canal areas following various irrigation regimens. *Stomatoloski glasnik Srbije*, 63(2), 57–65. <https://doi.org/10.1515/sdj-2016-0006>
- Baumann, M. A., & Roth, A. (1999). Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 88(6), 714–718. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(99\)70015-6](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(99)70015-6)
- Berutti, E., Angelini, E., Rigolone, M., Migliaretti, G., & Pasqualini, D. (2006). Influence of sodium hypochlorite on fracture properties and corrosion of ProTaper Rotary instruments. *International Endodontic Journal*, 39(9), 693–699. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01134.x>
- Berutti, E., Chiandussi, G., Gaviglio, I., & Ibba, A. (2003). Comparative Analysis of Torsional and Bending Stresses in Two Mathematical Models of Nickel-Titanium Rotary Instruments: ProTaper versus ProFile. *Journal of Endodontics*, 29(1), 15–19. <https://doi.org/10.1097/00004770-200301000-00005>
- Berutti, E., Negro, A., Lendini, M., & Pasqualini, D. (2004). Influence of Manual Preflaring and Torque on the Failure Rate of ProTaper Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 30(4), 228–230. <https://doi.org/10.1097/00004770-200404000-00011>
- Bishop, K., & Dummer, P. M. H. (1997). A comparison of stainless steel Flexofiles and nickel-titanium NiTiFlex files during the shaping of simulated canals. *International Endodontic Journal*, 30(1), 25–34. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1997.tb01095.x>
- Bonaccorso, A., Tripi, T. R., Rondelli, G., Condorelli, G. G., Cantatore, G., & Schäfer, E. (2008). Pitting Corrosion Resistance of Nickel–Titanium Rotary Instruments with Different Surface Treatments in Seventeen Percent Ethylenediaminetetraacetic Acid and Sodium Chloride

- Solutions. *Journal of Endodontics*, 34(2), 208–211.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.11.012>
- Bouska, J., Justman, B., Williamson, A., DeLong, C., & Qian, F. (2012). Resistance to Cyclic Fatigue Failure of a New Endodontic Rotary File. *Journal of Endodontics*, 38(5), 667–669.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.01.016>
- Buehler, W. J., Gilfrich, J. v., & Wiley, R. C. (1963). Effect of Low-Temperature Phase Changes on the Mechanical Properties of Alloys near Composition TiNi. *Journal of Applied Physics*, 34(5), 1475–1477. <https://doi.org/10.1063/1.1729603>
- Bulem, U. K., Kececi, A. D., & Guldaz, H. E. (2013). Experimental evaluation of cyclic fatigue resistance of four different nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite and/or sterilization. *Journal of Applied Oral Science*, 21(6), 505–510.
<https://doi.org/10.1590/1679-775720130083>
- Bürklein, S., Börjes, L., & Schäfer, E. (2014). Comparison of preparation of curved root canals with Hyflex CM and Revo-S rotary nickel-titanium instruments. *International Endodontic Journal*, 47(5), 470–476. <https://doi.org/10.1111/iej.12171>
- Bürklein, S., Flüch, S., & Schäfer, E. (2019). Shaping ability of reciprocating single-file systems in severely curved canals: WaveOne and Reciproc versus WaveOne Gold and Reciproc blue. *Odontology*, 107(1), 96–102. <https://doi.org/10.1007/s10266-018-0364-3>
- Bürklein, S., Hinschitza, K., Dammaschke, T., & Schäfer, E. (2012). Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *International Endodontic Journal*, 45(5), 449–461. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01996.x>
- Burroughs, J. R., Bergeron, B. E., Roberts, M. D., Hagan, J. L., & Himel, V. T. (2012). Shaping Ability of Three Nickel-Titanium Endodontic File Systems in Simulated S-shaped Root Canals. *Journal of Endodontics*, 38(12), 1618–1621.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.09.011>

- Busslinger, A., Sener, B., & Barbakow, F. (1998). Effects of sodium hypochlorite on nickel-titanium Lightspeed® instruments. *International Endodontic Journal*, 31(4), 290–294. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1998.00149.x>
- Buyalich, G., & Husnutdinov, M. (2017). Justification of the Shape of a Non-Circular Cross-Section for Drilling With a Roller Cutter. *E3S Web of Conferences*, 21, 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172103010>
- Carrotte, P. (2004). Endodontics: Part 5 Basic instruments and materials for root canal treatment. *British Dental Journal*, 197(8), 455–464. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4811738>
- Casper, R. B., Roberts, H. W., Roberts, M. D., Himel, V. T., & Bergeron, B. E. (2011). Comparison of Autoclaving Effects on Torsional Deformation and Fracture Resistance of Three Innovative Endodontic File Systems. *Journal of Endodontics*, 37(11), 1572–1575. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.07.008>
- Chandak, M., Kungwani, S., Saxena, A., Ikhar, A., Patel, A., & Gangamwar, N. (2016). Cyclic Fatigue Resistance of Four NiTi Instrument After Immersion in Sodium Hypochlorite in Static Mode. *Journal of Dental and Medical Sciences*, 6(15), 61–64.
- Cheung, G. S. P., Peng, B., Bian, Z., Shen, Y., & Darvell, B. W. (2005). Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: fractographic examination. *International Endodontic Journal*, 38(11), 802–809. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.01020.x>
- Cheung, G. S. P., Zhang, E. W., & Zheng, Y. F. (2011). A numerical method for predicting the bending fatigue life of NiTi and stainless steel root canal instruments. *International Endodontic Journal*, 44(4), 357–361. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01838.x>
- Chi, C.-W., Deng, Y.-L., Lee, J.-W., & Lin, C.-P. (2017). Fracture resistance of dental nickel–titanium rotary instruments with novel surface treatment: Thin film metallic glass coating. *Journal of the Formosan Medical Association*, 116(5), 373–379. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2016.07.003>
- Chi, Zhang, Y., Lin, X., & Tong, Z. (2021). Cyclic fatigue resistance for six types of nickel titanium instruments at artificial canals with different angles and radii of curvature. *Dental Materials Journal*, 40(5), 2020–2358. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-358>

- Chianello, G., Specian, V. L., Hardt, L. C. F., Raldi, D. P., Lage-Marques, J. L., & Habitante, S. M. (2008). Surface finishing of unused rotary endodontic instruments: a SEM study. *Brazilian Dental Journal*, 19(2), 109–113. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402008000200004>
- Curson, I. (1965). History and endodontics. *The Dental practitioner and dental record*, 15, 435–439.
- Dadgar, E., Khabiri, M., Mortaheb, A., & Hoseini, S. (2022). Effect of immersion in sodium hypochlorite on cyclic fatigue resistance of RaCe, HyFlex CM and XP-endo shaper files. *Dental research journal*, 19, 57.
- Decurcio, D. D. A., Silvaa, J. A., Barbosa, M. G., Chaves, L. S., Loureiro, M. A. Z., & Estrela, C. (2018). Characterization of the nucleus, cutting edge and failure detection in NiTi instruments for endodontic retreatment. *Revista Odonto Ciência*, 32(4), 193. <https://doi.org/10.15448/1980-6523.2017.4.30157>
- Delivanis, P. D., Mattison, G. D., & Mendel, R. W. (1983). The survivability of F43 strain of *Streptococcus* in root canals filled with gutta-percha and procosol cement. *Journal of Endodontics*, 9(10), 407–410. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(83\)80253-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(83)80253-2)
- Dincer, A., Guneser, M., & Arslan, D. (2017). Apical extrusion of debris during root canal preparation using a novel nickel-titanium file system: WaveOne gold. *Journal of Conservative Dentistry*, 20(5), 322. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_407_16
- ECE. (2006). Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *International Endodontic Journal*, 39(12), 921–930. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01180.x>
- El Feky, H. M., Ezzat, K. M., & Bedier, M. M. A. (2019). Cyclic fatigue resistance of M-Pro and RaCe Ni-Ti rotary endodontic instruments in artificial curved canals: a comparative *in vitro* study. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 44(4). <https://doi.org/10.5395/rde.2019.44.e44>
- Elbatal, L. M., el Batouty, K. M., & Obeid, M. M. (2016). *Effect of Repeated Autoclaving on Cyclic Fatigue of Three Nickel-Titanium Rotary Instruments*. 10(1), 15–22.

- Elnaghy, A. M., Elsaka, S. E., & Elshazli, A. H. (2020). Dynamic cyclic and torsional fatigue resistance of TruNatomy compared with different nickel–titanium rotary instruments. *Australian Endodontic Journal*, *46*(2), 226–233. <https://doi.org/10.1111/aej.12396>
- Ertaş, H., Çapar, I., & Arslan, H. (2016). Cyclic fatigue resistance of ProTaper Universal, Twisted File Adaptive, Reciproc and WaveOne systems. *Turkish Endodontic Journal*, *1*(1), 35–38. <https://doi.org/10.14744/TEJ.2016.76486>
- Estrela, C., Bueno, M. R., Sousa-Neto, M. D., & Pécora, J. D. (2008). Method for determination of root curvature radius using cone-beam computed tomography images. *Brazilian Dental Journal*, *19*(2), 114–118. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402008000200005>
- Faus-Llácer, V., Hamoud-Kharrat, N., Marhuenda Ramos, M. T., Faus-Matoses, I., Zubizarreta-Macho, Á., Ruiz Sánchez, C., & Faus-Matoses, V. (2021). Influence of the Geometrical Cross-Section Design on the Dynamic Cyclic Fatigue Resistance of NiTi Endodontic Rotary Files—An In Vitro Study. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(20), 4713. <https://doi.org/10.3390/jcm10204713>
- Ferreira, F., Adeodato, C., Barbosa, I., Aboud, L., Scelza, P., & Zaccaro Scelza, M. (2017). Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *International Endodontic Journal*, *50*(2), 143–152. <https://doi.org/10.1111/iej.12613>
- Gajoum, A., Patel, E., Munshi, I. E., & Tootla, S. (2021). A comparison of root canal transportation and centering ability between WaveOne® Gold and Protaper Next® files, using microcomputed tomography. *South African Dental Journal*, *76*(1), 22–27. <https://doi.org/10.17159/2519-0105/2021/v76no1a3>
- Galal, M., & Hamdy, T. M. (2020). Evaluation of stress distribution in nickel-titanium rotary instruments with different geometrical designs subjected to bending and torsional load: a finite element study. *Bulletin of the National Research Centre*, *44*(1), 121. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00377-x>
- Gambarini, G. (2001). Cyclic Fatigue of Nickel-Titanium Rotary Instruments after Clinical Use with Low-and High-Torque Endodontic Motors. *Journal of Endodontics*, *27*(12), 772–774. <https://doi.org/10.1097/00004770-200112000-00015>

- Gambarini, G., Gergi, R., Naaman, A., Osta, N., & al Sudani, D. (2012). Cyclic fatigue analysis of twisted file rotary NiTi instruments used in reciprocating motion. *International Endodontic Journal*, 45(9), 802–806. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02036.x>
- Gambarini, G., Grande, N. M., Plotino, G., Somma, F., Garala, M., de Luca, M., & Testarelli, L. (2008). Fatigue Resistance of Engine-driven Rotary Nickel-Titanium Instruments Produced by New Manufacturing Methods. *Journal of Endodontics*, 34(8), 1003–1005. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.05.007>
- Gambarini, G., Plotino, G., Grande, N. M., Al-Sudani, D., de Luca, M., & Testarelli, L. (2011). Mechanical properties of nickel-titanium rotary instruments produced with a new manufacturing technique. *International Endodontic Journal*, 44(4), 337–341. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01835.x>
- Gao, Y., Shotton, V., Wilkinson, K., Phillips, G., & ben Johnson, W. (2010). Effects of Raw Material and Rotational Speed on the Cyclic Fatigue of ProFile Vortex Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 36(7), 1205–1209. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.02.015>
- Gellings, P. J. (1981). *Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen: Eine Einführung*. Hanser.
- Glosson, C. R., Haller, R. H., Brent Dove, S., & del Rio, C. E. (1995). A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 21(3), 146–151. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80441-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80441-3)
- Goldberg, M., Kulkarni, A., Young, M., & Boskey, A. (2011). Dentin structure composition and mineralization. *Frontiers in Bioscience*, E3(2), 281. <https://doi.org/10.2741/e281>
- Goo, H.-J., Kwak, S. W., Ha, J.-H., Pedullà, E., & Kim, H.-C. (2017). Mechanical Properties of Various Heat-treated Nickel-titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 43(11), 1872–1877. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.05.025>
- Green, D. (1955). Morphology of the pulp cavity of the permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 8(7), 743–759. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(55\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0030-4220(55)90039-6)
- Gu, L., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of Contemporary Irrigant Agitation Techniques and Devices. *Journal of Endodontics*, 35(6), 791–804. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.03.010>

- Gutmann, J. L., & Gao, Y. (2012). Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. *International Endodontic Journal*, 45(2), 113–128. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01957.x>
- Ha, J. H., Cheung, G. S. P., Versluis, A., Lee, C. J., Kwak, S. W., & Kim, H. C. (2015). ‘Screw-in’ tendency of rotary nickel-titanium files due to design geometry. *International Endodontic Journal*, 48(7), 666–672. <https://doi.org/10.1111/iej.12363>
- Haapasalo, M., & Shen, Y. (2013). Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. *Endodontic Topics*, 29(1), 3–17. <https://doi.org/10.1111/etp.12049>
- Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W., & Gao, Y. (2010). Irrigation in Endodontics. *Dental Clinics of North America*, 54(2), 291–312. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2009.12.001>
- Haïkel, Y., Serfaty, R., Bateman, G., Senger, B., & Allemann, C. (1999). Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 25(6), 434–440. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80274-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80274-X)
- Haïkel, Y., Serfaty, R., Wilson, P., Speisser, J. M., & Allemann, C. (1998). Mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment. *Journal of Endodontics*, 24(11), 731–735. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80163-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80163-5)
- Hamdy, T. M., Galal, M., Ismail, A. G., & Abdelraouf, R. M. (2019). Evaluation of Flexibility, Microstructure and Elemental Analysis of Some Contemporary Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 7(21), 3647–3654. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.811>
- Han-Hsing Lin, J., Karabucak, B., & Lee, S.-M. (2021). Effect of sodium hypochlorite on conventional and heat-treated nickel-titanium endodontic rotary instruments – An in vitro study. *Journal of Dental Sciences*, 16(2), 738–743. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.08.015>
- Hayashi, Y., Yoneyama, T., Yahata, Y., Miyai, K., Doi, H., Hanawa, T., Ebihara, A., & Suda, H. (2007). Phase transformation behaviour and bending properties of hybrid nickel-titanium rotary endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 40(4), 247–253. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01203.x>

- Herisa, M., Maharani, N., Meidyawati, R., Artiningsih, D. A., & Nazar, K. (2020). Smear layer reduction in root canals prepared with triangular and rectangular files as evaluated by scanning electron microscopy. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 27–30. <https://doi.org/10.22159/ijap.2020.v12s2.OP-21>
- Herold, K. S., Johnson, B. R., & Wenckus, C. S. (2007). A Scanning Electron Microscopy Evaluation of Microfractures, Deformation and Separation in EndoSequence and Profile Nickel-Titanium Rotary Files Using an Extracted Molar Tooth Model. *Journal of Endodontics*, 33(6), 712–714. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.03.014>
- Hilfer, P. B., Bergeron, B. E., Mayerchak, M. J., Roberts, H. W., & Jeansonne, B. G. (2011). Multiple Autoclave Cycle Effects on Cyclic Fatigue of Nickel-Titanium Rotary Files Produced by New Manufacturing Methods. *Journal of Endodontics*, 37(1), 72–74. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.09.011>
- Hilt, B., Cunningham, C., Shen, C., & Richards, N. (2000). Torsional Properties of Stainless-Steel and Nickel-Titanium Files After Multiple Autoclave Sterilizations. *Journal of Endodontics*, 26(2), 76–80. <https://doi.org/10.1097/00004770-200002000-00004>
- Huang, X., Shen, Y., Wei, X., & Haapasalo, M. (2017). Fatigue Resistance of Nickel-titanium Instruments Exposed to High-concentration Hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 43(11), 1847–1851. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.06.033>
- Hülsmann, M., Donnermeyer, D., & Schäfer, E. (2019). A critical appraisal of studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 52(10), 1427–1445. <https://doi.org/10.1111/iej.13182>
- Hulsmann, M., Peters, O. A., & Dummer, P. M. H. (2005). Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics*, 10(1), 30–76. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00152.x>
- Iacono, F., Pirani, C., Generali, L., Bolelli, G., Sassatelli, P., Lusvarghi, L., Gandolfi, M. G., Giorgini, L., & Prati, C. (2017). Structural analysis of HyFlex EDM instruments. *International Endodontic Journal*, 50(3), 303–313. <https://doi.org/10.1111/iej.12620>
- Janik, J. M. (1984). Access cavity preparation. *Dental clinics of North America*, 28(4), 809–818.

- Johnson, E., Lloyd, A., Kuttler, S., & Namerow, K. (2008). Comparison between a Novel Nickel-Titanium Alloy and 508 Nitinol on the Cyclic Fatigue Life of ProFile 25/.04 Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 34(11), 1406–1409. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.07.029>
- Jovanovic-Medojevic, M., Neskovic, J., Popovic-Bajic, M., Stratimirovic, D., & Zivkovic, S. (2022). Effects of sodium hypochlorite on corrosion of the rotary nickel-titanium endodontic instruments - SEM analysis. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo*, 150(5–6), 254–260. <https://doi.org/10.2298/SARH210321035J>
- Jovanovic-Medojevic, M., Pelemis, M., Neskovic, J., Popovic-Bajic, M., Stratimirovic, D., & Zivkovic, S. (2020). Analysis of working surface in new manual and rotary endodontic instruments (scanning electron microscopy). *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo*, 148(7–8), 398–403. <https://doi.org/10.2298/SARH190704018J>
- Kadhom, T. H., & Al-Hashimi, W. N. (2013). A Study to Compare the Efficiency of Different Instrumentation Systems for Cleaning Oval - Shaped Root Canals: An in Vitro Study. *Journal of Baghdad College of Dentistry*, 25(1), 49–55. <https://doi.org/10.12816/0014963>
- Karagoz-Kucukay, I., Ersev, H., Enginakkoca, E., Kucukay, S., & Gursoy, T. (2003). Effect of Rotational Speed on Root Canal Preparation with Hero 642 Rotary Ni-Ti Instruments. *Journal of Endodontics*, 29(7), 447–449. <https://doi.org/10.1097/00004770-200307000-00005>
- Karataşlıoğlu, E., Aydın, U., & Yıldırım, C. (2018). Cyclic Fatigue Resistance of Novel Rotary Files Manufactured from Different Thermal Treated Nickel-Titanium Wires in Artificial Canals. *Nigerian journal of clinical practice*, 21(2), 231–235. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_296_16
- Kato, A. S., Cunha, R. S., da Silveira Bueno, C. E., Pelegri, R. A., Fontana, C. E., & de Martin, A. S. (2016). Investigation of the Efficacy of Passive Ultrasonic Irrigation Versus Irrigation with Reciprocating Activation: An Environmental Scanning Electron Microscopic Study. *Journal of Endodontics*, 42(4), 659–663. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.01.016>

- Keleş, A., Eymirli, A., Uyanık, O., & Nagas, E. (2019). Influence of static and dynamic cyclic fatigue tests on the lifespan of four reciprocating systems at different temperatures. *International Endodontic Journal*, 52(6), 880–886. <https://doi.org/10.1111/iej.13073>
- Keskin, Özyürek, T., Uslu, G., & İnan, U. (2018). Cyclic fatigue resistance of new and used ProTaper universal and ProTaper next nickel-titanium rotary instruments. *Saudi Endodontic Journal*, 8(2), 82. https://doi.org/10.4103/sej.sej_24_17
- Khabiri, M., Ebrahimi, M., & Saei, M. R. (2017). The Effect of Autoclave Sterilization on Resistance to Cyclic Fatigue of Hero Endodontic File #642 (6%) at Two Artificial Curvature. *Journal of dentistry (Shiraz, Iran)*, 18(4), 277–281.
- Kim, H.-C., Yum, J., Hur, B., & Cheung, G. S.-P. (2010). Cyclic Fatigue and Fracture Characteristics of Ground and Twisted Nickel-Titanium Rotary Files. *Journal of Endodontics*, 36(1), 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.037>
- Kishore, A., Gurtu, A., Bansal, R., Singhal, A., Mohan, S., & Mehrotra, A. (2017). Comparison of canal transportation and centering ability of Twisted Files, HyFlex controlled memory, and Wave One using computed tomography scan: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 20(3), 161. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_110_16
- Knowles, K. I., Hammond, N. B., Biggs, S. G., & Ibarrola, J. L. (2006). Incidence of Instrument Separation Using LightSpeed Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 32(1), 14–16. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.10.008>
- Koçak, S., Şahin, F. F., Özdemir, O., Koçak, M. M., & Sağlam, B. C. (2021). A comparative investigation between ProTaper Next, Hyflex CM, 2Shape, and TF-Adaptive file systems concerning cyclic fatigue resistance. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 15(3), 172–177. <https://doi.org/10.34172/joddd.2021.029>
- Koch, G., Varney, J., Thompson, N., Moghissi, O., Gould, M., & Payer, J. (2016). International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study. *NACE international*, 216.

- Kosti, E., Zinelis, S., Molyvdas, I., & Lambrianidis, T. (2011). Effect of root canal curvature on the failure incidence of ProFile rotary Ni-Ti endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 44(10), 917–925. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01900.x>
- Kwak, S. W., Lee, C.-J., Kim, S. K., Kim, H.-C., & Ha, J.-H. (2019). Comparison of Screw-In Forces during Movement of Endodontic Files with Different Geometries, Alloys, and Kinetics. *Materials*, 12(9), 1506. <https://doi.org/10.3390/ma12091506>
- Larsen, C. M., Watanabe, I., Glickman, G. N., & He, J. (2009). Cyclic Fatigue Analysis of a New Generation of Nickel Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 35(3), 401–403. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.12.010>
- Li, H., Zhang, C., Li, Q., Wang, C., & Song, Y. (2014). Comparison of cleaning efficiency and deformation characteristics of Twisted File and ProTaper rotary instruments. *European Journal of Dentistry*, 08(02), 191–196. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.130598>
- Li, U., Lee, B., Shih, C., Lan, W., & Lin, C. (2002). Cyclic Fatigue of Endodontic Nickel Titanium Rotary Instruments: Static and Dynamic Tests. *Journal of Endodontics*, 28(6), 448–451. <https://doi.org/10.1097/00004770-200206000-00007>
- Lilley, J. D. (1976). Endodontic instrumentation before 1800. *International Endodontic Journal*, 9(2), 67–70. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1976.tb01241.x>
- Lin, G. S., Singbal, K., & Abdul Ghani, N. N. (2021). A Comparative evaluation of the shaping ability, canal straightening, and preparation time of five different NiTi rotary files in simulated canals. *Journal of Conservative Dentistry*, 24(1), 67. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_616_20
- Loh, H. S. (1998). Root morphology of the maxillary first premolar in Singaporeans. *Australian Dental Journal*, 43(5), 399–402. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1998.tb00199.x>
- Lopes, H. P., Elias, C. N., Vieira, V. T. L., Moreira, E. J. L., Marques, R. V. L., Machado de Oliveira, J. C., Debelian, G., & Siqueira, J. F. (2010). Effects of Electropolishing Surface Treatment on the Cyclic Fatigue Resistance of BioRace Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 36(10), 1653–1657. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.06.026>

- Lopes, H. P., Moreira, E. J. L., Nelson Elias, C., Andriola de Almeida, R., & Neves, M. S. (2007). Cyclic Fatigue of Protaper Instruments. *Journal of Endodontics*, 33(1), 55–57. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.09.003>
- Lu, T.-Y., Yang, S.-F., & Pai, S.-F. (2006). Complicated Root Canal Morphology of Mandibular First Premolar in a Chinese Population Using the Cross Section Method. *Journal of Endodontics*, 32(10), 932–936. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.04.008>
- Lyon, K. F. (2001). Endodontic Instruments for Root Canal Therapy. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, 16(3), 139–150. <https://doi.org/10.1053/svms.2001.28166>
- Malhotra, P., Bansal, P., Nikhil, V., Jaiswal, S., & Gupta, S. (2022). Comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of file systems based on different manufacturing technologies after exposure to NaOCl and multiple sterilization cycles. *Endodontology*, 34(3), 151. https://doi.org/10.4103/endo.endo_90_19
- Mandel, E., Adib-Yazdi, M., Benhamou, L.-M., Lachkar, T., Mesgouez, C., & Sobel, M. (1999). Rotary Ni-Ti profile systems for preparing curved canals in resin blocks: influence of operator on instrument breakage. *International Endodontic Journal*, 32(6), 436–443. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1999.00239.x>
- Martín, B., Zelada, G., Varela, P., Bahillo, J. G., Magán, F., Ahn, S., & Rodríguez, C. (2003). Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments. *International Endodontic Journal*, 36(4), 262–266. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00630.x>
- Marxkors, R., & Meiners, H. (1993). *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde* (4th изд.). Hanser.
- Medha, A., Patil, S., Hoshing, U., & Bandekar, S. (2014). Evaluation of Forces Generated on Three Different Rotary File Systems in Apical Third of Root Canal using Finite Element Analysis. *Journal of Clinical and Diagnostic research*, 8(1), 243–246. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/7919.3903>
- Mesgouez, C., Rilliard, F., Matossian, L., Nassiri, K., & Mandel, E. (2003). Influence of operator experience on canal preparation time when using the rotary Ni-Ti ProFile system in simulated

- curved canals. *International Endodontic Journal*, 36(3), 161–165. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00625.x>
- Mize, S. B., Clement, D. J., Pruett, J. P., & Carnes, D. L. (1998). Effect of sterilization on cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 24(12), 843–847. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80015-0](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80015-0)
- Mizrahi, S. I., Tucker, J. W., & Seltzer, S. (1975). A scanning electron microscopic study of the efficacy of various endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 1(10), 324–333. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(75\)80012-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(75)80012-4)
- Molven, O. (1970). A comparison of the dentin-removing ability of five root canal instruments. *European Journal of Oral Sciences*, 78(1–4), 500–511. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1970.tb02103.x>
- Moraes, S., Goncalves, M., Tanomaru Filho, M., & Bonetti Filho, I. (2012). Cutting ability of nickel-titanium rotary systems ProTaper, Mtwo and K3. *RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, 9(2), 177–182.
- Mounce, R. (2007). Negotiating challenging mid root curvatures: rounding the bend. *Dentistry today*, 26(2), 108, 110, 112.
- Mueller, H. J. (1982). Corrosion determination techniques applied to endodontic instruments — irrigating solutions systems. *Journal of Endodontics*, 8(6), 246–252. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(82\)80334-8](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(82)80334-8)
- Nair, Samuel, Dr. N. E., Singh, Dr. N., Sheetal, Dr. K., Lath, Dr. H., & Rathi, Dr. A. G. (2021). Cyclic fatigue resistance of twisted files, Hyflex cm, Hyflex EDM and Edgefile X3 after immersion in sodium hypochlorite. *International Journal of Applied Dental Sciences*, 7(2), 593–596. <https://doi.org/10.22271/oral.2021.v7.i2i.1270>
- Nevarés, G., de Albuquerque, D. S., Freire, L. G., Romeiro, K., Fogel, H. M., dos Santos, M., & Cunha, R. S. (2016). Efficacy of ProTaper NEXT Compared with Reciproc in Removing Obturation Material from Severely Curved Root Canals: A Micro-Computed Tomography Study. *Journal of Endodontics*, 42(5), 803–808. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.02.010>

- Nogueira, D., Silveira Bueno, C. Da, Kato, A., De Martin, A., Pelegrine, R., Silva Limoeiro, A. Da, Pedro Rocha, D., & Fontana, C. (2020). Effect of immersion in sodium hypochlorite on the cyclic fatigue resistance of three rotary instruments. *Journal of Conservative Dentistry*, 23(6), 554. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_117_19
- Oktavia, E., Abidin, T., & Denni, D. (2019). Effect of Sodium Hypochlorite, EDTA, and Chitosan Solution on Corrosion and Quantity of Extruded Nickel Ions Using Two Rotary Instruments (In Vitro). *World Journal of Dentistry*, 10(3), 207–213. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10015-1638>
- Olcay, K., Eyuboglu, T., & Erkan, E. (2019). Cyclic fatigue resistance of waveone gold, protaper next and 2shape nickel titanium rotary instruments using a reliable method for measuring temperature. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 22(10), 1335. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_655_18
- Ostrander, F. D. (1967). The practice of endodontics: past, present, and future. *Journal of dental education*, 31(3), 386–388.
- Özyürek, T. (2016). Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold Nickel-Titanium Instruments. *Journal of Endodontics*, 42(10), 1536–1539. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.06.019>
- Özyürek, T., Gündoğar, M., Uslu, G., Yılmaz, K., Staffoli, S., Nm, G., Plotino, G., & Polimeni, A. (2018). Cyclic fatigue resistances of Hyflex EDM, WaveOne gold, Reciproc blue and 2shape NiTi rotary files in different artificial canals. *Odontology*, 106(4), 408–413. <https://doi.org/10.1007/S10266-018-0340-Y>
- Özyürek, T., Yılmaz, K., & Uslu, G. (2017). The effects of autoclave sterilization on the cyclic fatigue resistance of ProTaper Universal, ProTaper Next, and ProTaper Gold nickel-titanium instruments. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 42(4), 301. <https://doi.org/10.5395/rde.2017.42.4.301>
- Parashos, P., Gordon, I., & Messer, H. (2004). Factors Influencing Defects of Rotary Nickel-Titanium Endodontic Instruments After Clinical Use. *Journal of Endodontics*, 30(10), 722–725. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000129963.42882.C9>

- Pasqualini, D., Alovise, M., Cemenasco, A., Mancini, L., Paolino, D. S., Bianchi, C. C., Roggia, A., Scotti, N., & Berutti, E. (2015). Micro-Computed Tomography Evaluation of ProTaper Next and BioRace Shaping Outcomes in Maxillary First Molar Curved Canals. *Journal of Endodontics*, *41*(10), 1706–1710. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.07.002>
- Patil, T., Saraf, A., Penukonda, R., Vanaki, S., & Kamatagi, L. (2017). A Survey on Nickel Titanium Rotary Instruments and their Usage Techniques by Endodontists in India. *Journal of Clinical and Diagnostic research*, *11*(5), 29–35. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/23936.9852>
- Pécora, J., Saquy, P., Sousa Neto, M., & Woelfel, J. (1991). Root Form and Canal Anatomy of Maxillary First Premolars. *Braz Dent J*, *2*, 87–94.
- Pedullà, E., Benites, A., La Rosa, G. M., Plotino, G., Grande, N. M., Rapisarda, E., & Generali, L. (2018). Cyclic Fatigue Resistance of Heat-treated Nickel-titanium Instruments after Immersion in Sodium Hypochlorite and/or Sterilization. *Journal of Endodontics*, *44*(4), 648–653. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.12.011>
- Pedullà, E., Franciosi, G., Ounsi, H. F., Tricarico, M., Rapisarda, E., & Grandini, S. (2014). Cyclic Fatigue Resistance of Nickel-Titanium Instruments after Immersion in Irrigant Solutions with or without Surfactants. *Journal of Endodontics*, *40*(8), 1245–1249. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.02.005>
- Pedullà, E., Grande, N. M., Plotino, G., Pappalardo, A., & Rapisarda, E. (2011). Cyclic Fatigue Resistance of Three Different Nickel-Titanium Instruments after Immersion in Sodium Hypochlorite. *Journal of Endodontics*, *37*(8), 1139–1142. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.04.008>
- Pedullà, E., Lo Savio, F., Boninelli, S., Plotino, G., Grande, N. M., La Rosa, G., & Rapisarda, E. (2016). Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. *Journal of Endodontics*, *42*(1), 156–159. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.10.004>
- Pedullà, E., lo Savio, F., Plotino, G., Grande, N. M., Rapisarda, S., Gambarini, G., & la Rosa, G. (2015). Effect of cyclic torsional preloading on cyclic fatigue resistance of ProTaper Next

- and Mtwo nickel–titanium instruments. *Giornale Italiano di Endodonzia*, 29(1), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.gien.2015.05.002>
- Peng, C., Hui, W., Wang, L., Xin, H., Deng, S., LI, C., & Zhang, L. (2015). Cyclic fatigue resistance of two nickel-titanium instruments in different curving angles: a comparative study. *Brazilian Oral Research*, 29(1). <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0122>
- Pereira, E. S. J., Amaral, C. C. F., Gomes, J. A. C. P., Peters, O. A., Buono, V. T. L., & Bahia, M. G. A. (2018). Influence of clinical use on physical-structural surface properties and electrochemical potential of NiTi endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 51(5), 515–521. <https://doi.org/10.1111/iej.12768>
- Peters, O. (2004). Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review. *Journal of Endodontics*, 30(8), 559–567. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000129039.59003.9D>
- Plotino, G., Costanzo, A., Grande, N. M., Petrovic, R., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2012). Experimental Evaluation on the Influence of Autoclave Sterilization on the Cyclic Fatigue of New Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 38(2), 222–225. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.10.017>
- Plotino, G., Giansiracusa Rubini, A., Grande, N. M., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2014). Cutting Efficiency of Reciproc and WaveOne Reciprocating Instruments. *Journal of Endodontics*, 40(8), 1228–1230. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.01.041>
- Plotino, G., Grande, N. M., Cordaro, M., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2009). A Review of Cyclic Fatigue Testing of Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 35(11), 1469–1476. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.06.015>
- Plotino, G., Grande, N. M., Cotti, E., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2014). Blue treatment enhances cyclic fatigue resistance of vortex nickel-titanium rotary files. *Journal of endodontics*, 40(9), 1451–1453. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2014.02.020>

- Poggio, C., Dagna, A., Chiesa, M., Beltrami, R., & Bianchi, S. (2015). Cleaning Effectiveness of Three NiTi Rotary Instruments: A Focus on Biomaterial Properties. *Journal of Functional Biomaterials*, 6(1), 66–76. <https://doi.org/10.3390/jfb6010066>
- Prando, D., Brenna, A., Diamanti, M. V., Beretta, S., Bolzoni, F., Ormellese, M., & Pedferri, M. (2017). Corrosion of Titanium: Part 1: Aggressive Environments and Main Forms of Degradation. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 15(4), e291–e302. <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000387>
- Pruett, J. P., Clement, D. J., & Carnes, D. L. (1997). Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 23(2), 77–85. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(97\)80250-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(97)80250-6)
- Qaed, N., Mourshed, B., Al-Shamiri, H., Alaizari, N., & Alhamdah, S. (2017). The Effect of surface topographical changes of two different surface treatments rotary instrument. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 0–0. <https://doi.org/10.4317/jced.54472>
- Ramires, I., & Guastaldi, A. C. (2002). Estudo do biomaterial Ti-6Al-4V empregando-se técnicas eletroquímicas e XPS. *Química Nova*, 25(1), 10–14. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000100003>
- Reddy, K. B., Dash, S., Kallepalli, S., Vallikanthan, S., Chakrapani, N., & Kalepu, V. (2013). A Comparative Evaluation of Cleaning Efficacy (Debris and Smear Layer Removal) of Hand and Two NiTi Rotary Instrumentation Systems (K3 and ProTaper): A SEM Study. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 14(6), 1028–1035. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1445>
- Reuben, J., Velmurugan, N., & Kandaswamy, D. (2008). The Evaluation of Root Canal Morphology of the Mandibular First Molar in an Indian Population Using Spiral Computed Tomography Scan: An In Vitro Study. *Journal of Endodontics*, 34(2), 212–215. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.11.018>
- Ribeiro Camargo, C., Bittencourt, T., Hasna, A., Palo, R., Talge Carvalho, C., & Valera, M. (2020). Cyclic fatigue, torsional failure, and flexural resistance of rotary and reciprocating

- instruments. *Journal of Conservative Dentistry*, 23(4), 364. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_409_20
- Roda-Casanova, V., Pérez-González, A., Zubizarreta-Macho, A., & Faus-Matoses, V. (2022). Influence of Cross-Section and Pitch on the Mechanical Response of NiTi Endodontic Files under Bending and Torsional Conditions—A Finite Element Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(9), 2642. <https://doi.org/10.3390/jcm11092642>
- Rodrigues, R. C. V., Zandi, H., Kristoffersen, A. K., Enersen, M., Mdala, I., Ørstavik, D., Rôças, I. N., & Siqueira, J. F. (2017). Influence of the Apical Preparation Size and the Irrigant Type on Bacterial Reduction in Root Canal-treated Teeth with Apical Periodontitis. *Journal of Endodontics*, 43(7), 1058–1063. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.02.004>
- Roland, D., Andelin, W., Browing, D., Roberthsu, G., & Torabinejad, M. (2002). The Effect of Preflaring on the Rates of Separation for 0.04 Taper Nickel Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 28(7), 543–545. <https://doi.org/10.1097/00004770-200207000-00015>
- Ruddle, C. J. (2005). The ProTaper technique. *Endodontic Topics*, 10(1), 187–190. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00115.x>
- Ruddle, C. J., Machtou, P., & West, J. D. (2013). The shaping movement: fifth-generation technology. *Dentistry today*, 32(4), 94, 96–99.
- Ruiz-Sánchez, C., Faus-Llácer, V., Faus-Matoses, I., Zubizarreta-Macho, Á., Sauro, S., & Faus-Matoses, V. (2020). The Influence of NiTi Alloy on the Cyclic Fatigue Resistance of Endodontic Files. *Journal of Clinical Medicine*, 9(11), 3755. <https://doi.org/10.3390/jcm9113755>
- Rwenyonyi, C. M., Kutesa, A. M., Muwazi, L. M., & Buwembo, W. (2007). Root and canal morphology of maxillary first and second permanent molar teeth in a Ugandan population. *International Endodontic Journal*, 40(9), 679–683. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01265.x>

- Sabet, Y., Shahsiah, S., Yazdizadeh, M., Baghamorady, S., & Jafarzadeh, M. (2020). Effect of deep cryogenic treatment on cyclic fatigue resistance of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *Dental research journal*, *17*(4), 300–305.
- Sarkar, N. K., Redmond, W., Schwaninger, B., & Goldberg, A. J. (1983). The chloride corrosion behaviour of four orthodontic wires. *Journal of Oral Rehabilitation*, *10*(2), 121–128. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1983.tb00106.x>
- Sattapan, B., Nervo, G., Palamara, J., & Messer, H. (2000). Defects in Rotary Nickel-Titanium Files After Clinical Use. *Journal of Endodontics*, *26*(3), 161–165. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00008>
- Sattapan, B., Palamara, J., & Messer, H. (2000). Torque During Canal Instrumentation Using Rotary Nickel-Titanium Files. *Journal of Endodontics*, *26*(3), 156–160. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00007>
- Schafer, E. (1997). Root canal instruments for manual use: a review. *Dental Traumatology*, *13*(2), 51–64. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1997.tb00011.x>
- Schafer, E., & Lohmann, D. (2002). Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile - Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *International Endodontic Journal*, *35*(6), 505–513. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2002.00513.x>
- Schäfer, E., & Vlassis, M. (2004). Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *International Endodontic Journal*, *37*(4), 229–238. <https://doi.org/10.1111/j.0143-2885.2004.00786.x>
- Shahi, S., Mokhtari, H., Rahimi, S., Shiezadeh, V., Ashasi, H., Abdolrahimi, M., & Foroughreyhani, M. (2012). Electrochemical corrosion assessment of RaCe and Mtwo rotary nickle-titanium instruments after clinical use and sterilization. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugia Bucal*, e331–e336. <https://doi.org/10.4317/medoral.17413>
- Sharma, G., Kakkar, P., & Vats, A. (2015). A Comparative SEM Investigation of Smear Layer Remaining on Dentinal Walls by Three Rotary NiTi Files with Different Cross Sectional

Designs in Moderately Curved Canals. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*, 9(3), 43–47. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/11569.5710>

Shen, Y., Cheung, G. S., Bian, Z., & Peng, B. (2006). Comparison of Defects in ProFile and ProTaper Systems after Clinical Use. *Journal of Endodontics*, 32(1), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.10.017>

Shen, Y., Haapasalo, M., Cheung, G. S., & Peng, B. (2009). Defects in Nickel-Titanium Instruments after Clinical Use. Part 1: Relationship between Observed Imperfections and Factors Leading to Such Defects in a Cohort Study. *Journal of Endodontics*, 35(1), 129–132. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.10.014>

Shen, Y., Hieawy, A., Huang, X., Wang, Z., Maezono, H., & Haapasalo, M. (2016). Fatigue Resistance of a 3-dimensional Conforming Nickel-Titanium Rotary Instrument in Double Curvatures. *Journal of Endodontics*, 42(6), 961–964. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.02.012>

Shen, Y., Qian, W., Abtin, H., Gao, Y., & Haapasalo, M. (2011). Fatigue Testing of Controlled Memory Wire Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 37(7), 997–1001. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.03.023>

Shen, Y., Qian, W., Abtin, H., Gao, Y., & Haapasalo, M. (2012). Effect of Environment on Fatigue Failure of Controlled Memory Wire Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics*, 38(3), 376–380. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.12.002>

Shen, Y., Zhou, H., Zheng, Y., Peng, B., & Haapasalo, M. (2013). Current Challenges and Concepts of the Thermomechanical Treatment of Nickel-Titanium Instruments. *Journal of Endodontics*, 39(2), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.005>

Silva, E. da F. e, & Oliveira, L. F. C. de. (2011). Caracterização química e metalográfica dos aços inoxidáveis de implantes removidos de pacientes. *Acta Ortopédica Brasileira*, 19(5), 280–285. <https://doi.org/10.1590/S1413-78522011000500003>

Silvaggio, J., & Hicks, M. L. (1997). Effect of heat sterilization on the torsional properties of rotary nickel-titanium endodontic files. *Journal of Endodontics*, 23(12), 731–734. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(97\)80344-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(97)80344-5)

- Sinha, P., Das, D., Bhattacharyya, A., Bikash Maity, A., & Chaudhury, T. (2021). An in-vitro comparative study of cyclic fatigue resistance of twisted files, Hyflex cm, Hyflex edm and Edgefile X3 after immersion in sodium hypochlorite and/or sterilization. *IP Indian Journal of Conservative and Endodontics*, 6(1), 30–36. <https://doi.org/10.18231/j.ijce.2021.007>
- Sonntag, D., Delschen, S., & Stachniss, V. (2003). Root-canal shaping with manual and rotary Ni-Ti files performed by students. *International Endodontic Journal*, 36(11), 715–723. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00703.x>
- Sood, K., & Mohan, B. (2007). *Effect of cleaning and sterilization procedures on NiTi rotary files-an SEM and EDS study*. Medknow Publications.
- Stokes, O. W., di Fiore, P. M., Barss, J. T., Koerber, A., Gilbert, J. L., & Lautenschlager, E. P. (1999). Corrosion in stainless-steel and nickel-titanium files. *Journal of Endodontics*, 25(1), 17–20. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80392-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80392-6)
- Tabassum, S. (2019). NiTi Rotary Systems: What's New. *European Endodontic Journal*. <https://doi.org/10.14744/ej.2019.80664>
- Testarelli, L., Grande, N. M., Plotino, G., Lendini, M., Pongione, G., Paolis, G. de, Rizzo, F., Milana, V., & Gambarini, G. (2009). Cyclic Fatigue of Different Nickel-Titanium Rotary Instruments: A Comparative Study. *The Open Dentistry Journal*, 3(1), 55–58. <https://doi.org/10.2174/1874210600903010055>
- Testarelli, L., Plotino, G., Al-Sudani, D., Vincenzi, V., Giansiracusa, A., Grande, N. M., & Gambarini, G. (2011). Bending Properties of a New Nickel-Titanium Alloy with a Lower Percent by Weight of Nickel. *Journal of Endodontics*, 37(9), 1293–1295. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.05.023>
- Thierry, B., Tabrizian, M., Trepanier, C., Savadogo, O., & Yahia, L. (2000). Effect of surface treatment and sterilization processes on the corrosion behavior of NiTi shape memory alloy. *Journal of biomedical materials research*, 51(4), 685–693. [https://doi.org/10.1002/1097-4636\(20000915\)51:4<685::aid-jbm17>3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/1097-4636(20000915)51:4<685::aid-jbm17>3.0.co;2-s)
- Thompson, S. A. (2000). An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *International Endodontic Journal*, 33(4), 297–310. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2000.00339.x>

- Topcu, K. M., Karatas, E., Ozsu, D., & Ersoy, I. (2014). Efficiency of the Self Adjusting File, WaveOne, Reciproc, ProTaper and hand files in root canal debridement. *European Journal of Dentistry*, 08(03), 326–329. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.137636>
- Topçuoğlu, H. S., Pala, K., Aktı, A., Düzgün, S., & Topçuoğlu, G. (2016). Cyclic fatigue resistance of D-RaCe, ProTaper, and Mtwo nickel–titanium retreatment instruments after immersion in sodium hypochlorite. *Clinical Oral Investigations*, 20(6), 1175–1179. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1611-4>
- Topçuoğlu, H. S., & Topçuoğlu, G. (2017). Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue and Reciproc Files in an S-shaped Canal. *Journal of Endodontics*, 43(10), 1679–1682. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.04.009>
- Topuz, O., Aydın, C., Uzun, O., Inan, U., Alacam, T., & Tunca, Y. M. (2008). Structural effects of sodium hypochlorite solution on RaCe rotary nickel-titanium instruments: an atomic force microscopy study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 105(5), 661–665. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.11.006>
- Tripi, T. R., Bonaccorso, A., & Condorelli, G. G. (2006). Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 102(4), e106–e114. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.12.012>
- Turpin, Y., Chagneau, F., & Vulcain, J. (2000). Impact of Two Theoretical Cross-Sections on Torsional and Bending Stresses of Nickel-Titanium Root Canal Instrument Models. *Journal of Endodontics*, 26(7), 414–417. <https://doi.org/10.1097/00004770-200007000-00009>
- Uslu, G., Özyürek, T., Gündoğar, M., & Yılmaz, K. (2018). Cyclic fatigue resistance of 2Shape, Twisted File and EndoSequence Xpress nickel-titanium rotary files at intracanal temperature. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 12(4), 283–287. <https://doi.org/10.15171/jodddd.2018.044>
- Uygun, A. D., Kol, E., Topcu, M. K. C., Seckin, F., Ersoy, I., & Tanriver, M. (2016). Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal

- instruments at different levels. *International Endodontic Journal*, 49(5), 494–499.
<https://doi.org/10.1111/iej.12471>
- Uygun, A. D., Unal, M., Falakaloglu, S., & Guven, Y. (2020). Comparison of the cyclic fatigue resistance of hyflex EDM, vortex blue, protaper gold, and onecurve nickel-Titanium instruments. *Nigerian journal of clinical practice*, 23(1), 41–45.
https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_343_19
- Valois, C. R. A., Silva, L. P., & Azevedo, R. B. (2005). Atomic Force Microscopy Study of Stainless-Steel and Nickel-Titanium Files. *Journal of Endodontics*, 31(12), 882–885.
<https://doi.org/10.1097/01.don.0000164132.27285.2c>
- Versluis, A., Kim, H.-C., Lee, W., Kim, B.-M., & Lee, C.-J. (2012). Flexural Stiffness and Stresses in Nickel-Titanium Rotary Files for Various Pitch and Cross-sectional Geometries. *Journal of Endodontics*, 38(10), 1399–1403. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.06.008>
- Vertucci, F. J. (2005). Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endodontic Topics*, 10(1), 3–29. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00129.x>
- Viana, A. C. D., Gonzalez, B. M., Buono, V. T. L., & Bahia, M. G. A. (2006). Influence of sterilization on mechanical properties and fatigue resistance of nickel–titanium rotary endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 39(9), 709–715.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01138.x>
- Vinothkumar, T. S., Kandaswamy, D., Prabhakaran, G., & Rajadurai, A. (2016). Mechanical behavior of deep cryogenically treated martensitic shape memory nickel–titanium rotary endodontic instruments. *European Journal of Dentistry*, 10(02), 183–187.
<https://doi.org/10.4103/1305-7456.178314>
- Wan, J., Rasimick, B. J., Musikant, B. L., & Deutsch, A. S. (2010). Cutting efficiency of 3 different instrument designs used in reciprocation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 109(5), e82–e85.
<https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.12.037>

- Wei, Z., Cui, Z., Yan, P., & Jiang, H. (2017). A comparison of the shaping ability of three nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study via a contrast radiopaque technique in vitro. *BMC Oral Health*, *17*(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s12903-016-0326-5>
- Wiggs, R. B. (1991). Endodontic instrumentation. *Journal of veterinary dentistry*, *8*(4), 4–10.
- Willershausen, B., Tekyatan, H., Kasaj, A., & Marroquín, B. B. (2006). Roentgenographic In Vitro Investigation of Frequency and Location of Curvatures in Human Maxillary Premolars. *Journal of Endodontics*, *32*(4), 307–311. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.011>
- Williamson, A. E., Sandor, A. J., & Justman, B. C. (2009). A Comparison of Three Nickel Titanium Rotary Systems, EndoSequence, ProTaper Universal, and Profile GT, for Canal-cleaning Ability. *Journal of Endodontics*, *35*(1), 107–109. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.09.022>
- Xu, X., Eng, M., Zheng, Y., & Eng, D. (2006). Comparative Study of Torsional and Bending Properties for Six Models of Nickel-Titanium Root Canal Instruments with Different Cross-Sections. *Journal of Endodontics*, *32*(4), 372–375. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.08.012>
- Yahata, Y., Yoneyama, T., Hayashi, Y., Ebihara, A., Doi, H., Hanawa, T., & Suda, H. (2009). Effect of heat treatment on transformation temperatures and bending properties of nickel-titanium endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, *42*(7), 621–626. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01563.x>
- Yao, J. H., Schwartz, S. A., & Beeson, T. J. (2006). Cyclic Fatigue of Three Types of Rotary Nickel-Titanium Files in a Dynamic Model. *Journal of Endodontics*, *32*(1), 55–57. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.10.013>
- Yared, G. (2008). Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *International Endodontic Journal*, *41*(4), 339–344. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01351.x>
- Yared, G., Bou Dagher, F. E., & Kulkarni, K. (2003). Influence of torque control motors and the operator's proficiency on ProTaper failures. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*,

Oral Radiology, and Endodontology, 96(2), 229–233. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(03\)00167-7](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(03)00167-7)

Yared, G., Bou Dagher, F. E., & Machtou, P. (2000). Cyclic fatigue of ProFile rotary instruments after clinical use. *International Endodontic Journal*, 33(3), 204–207. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1999.00296.x>

Yared, G., Bou Dagher, F. E., & Machtou, P. (2001). Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures. *International Endodontic Journal*, 34(1), 47–53. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00352.x>

Yared, G., Bou Dagher, F. E., Machtou, P., & Kulkarni, G. K. (2002). Influence of rotational speed, torque and operator proficiency on failure of Greater Taper files. *International Endodontic Journal*, 35(1), 7–12. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2002.00443.x>

Yared, G., & Kulkarni, G. K. (2002). Failure of ProFile Ni-Ti instruments used by an inexperienced operator under access limitations. *International Endodontic Journal*, 35(6), 536–541. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2002.00528.x>

Yared, G., Kulkarni, G. K., & Ghossayn, F. (2003). An *in vitro* study of the torsional properties of new and used K3 instruments. *International Endodontic Journal*, 36(11), 764–769. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00732.x>

Young, G., Parashos, P., & Messer, H. (2007). The principles of techniques for cleaning root canals. *Australian Dental Journal*, 52, S52–S63. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2007.tb00526.x>

Zhang, E.-W., Cheung, G. S. P., & Zheng, Y.-F. (2010). Influence of Cross-sectional Design and Dimension on Mechanical Behavior of Nickel-Titanium Instruments under Torsion and Bending: A Numerical Analysis. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1394–1398. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.04.017>

Zhao, D., Shen, Y., Peng, B., & Haapasalo, M. (2013). Micro-Computed Tomography Evaluation of the Preparation of Mesio Buccal Root Canals in Maxillary First Molars with Hyflex CM, Twisted Files, and K3 Instruments. *Journal of Endodontics*, 39(3), 385–388. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.030>

- Zhao, D., Shen, Y., Peng, B., & Haapasalo, M. (2016). Effect of autoclave sterilization on the cyclic fatigue resistance of thermally treated Nickel-Titanium instruments. *International Endodontic Journal*, 49(10), 990–995. <https://doi.org/10.1111/iej.12550>
- Zhou, H., Peng, B., & Zheng, Y.-F. (2013). An overview of the mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Endodontic Topics*, 29(1), 42–54. <https://doi.org/10.1111/etp.12045>
- Zinelis, S., Magnissalis, E., Margelos, J., & Lambriandius, T. (2002). Clinical Relevance of Standardization of Endodontic Files Dimensions According to the ISO 3630-1 Specification. *Journal of Endodontics*, 28(5), 367–370. <https://doi.org/10.1097/00004770-200205000-00005>
- Živković, S., Nešković, J., Medojević, M. J., Bajić, M. P., & Ostojić, D. (2018). Efficiency of root canal cleaning using a single instrument with reciprocating motion systems and full rotation systems: a SEM study. *Serbian Dental Journal*, 65(4), 171–178. <https://doi.org/10.2478/sdj-2018-0016>
- Zuolo, M. L., & Walton, R. E. (1997). Instrument deterioration with usage: nickel-titanium versus stainless steel. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*, 28(6), 397–402.
- Zuolo, M. L., Walton, R. E., & Murgel, C. A. F. (1992). Canal master files: Scanning electron microscopic evaluation of new instruments and their wear with clinical usage. *Journal of Endodontics*, 18(7), 336–339. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80484-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80484-X)

Изјава 1.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

ЕВАЛУАЦИЈА ЕФИКАСНОСТИ РОТИРАЈУЋИХ НИКЛ-ТИТАНИЈУМСКИХ ИНСТРУМЕНАТА У ПРЕПАРАЦИЈИ КАНАЛА КОРЕНОВА ЗУБА КОМПЛЕКСНЕ МОРФОЛОГИЈЕ

која је одбрањена на Медицинском факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао/ла на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, _____

Потпис аутора дисертације:


Ненад М. Стошић

Изјава 2.

**ИЗЈАВА О ИСОВЕТНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ И ШТАМПАНОГ ОБЛИКА
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

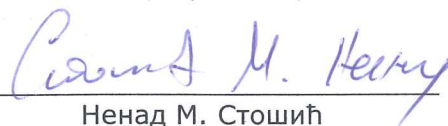
Наслов дисертације:

**ЕВАЛУАЦИЈА ЕФИКАСНОСТИ РОТИРАЈУЋИХ НИКЛ-ТИТАНИЈУМСКИХ
ИНСТРУМЕНАТА У ПРЕПАРАЦИЈИ КАНАЛА КОРЕНОВА ЗУБА КОМПЛЕКСНЕ
МОРФОЛОГИЈЕ**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предао/ла за уношење у **Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу**, истоветан штампаном облику.

У Нишу, _____

Потпис аутора дисертације:


Ненад М. Стошић

Изјава 3:

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

**ЕВАЛУАЦИЈА ЕФИКАСНОСТИ РОТИРАЈУЋИХ НИКЛ-
ТИТАНИЈУМСКИХ ИНСТРУМЕНАТА У ПРЕПАРАЦИЈИ КАНАЛА
КОРЕНОВА ЗУБА КОМПЛЕКСНЕ МОРФОЛОГИЈЕ**

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)

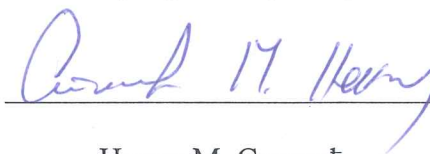
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)¹

У Нишу, _____

Потпис аутора дисертације:



Ненад М. Стошић

¹ Аутор дисертације обавезан је да изабере и означи (заокружи) само једну од шест понуђених лиценци; опис лиценци дат је у наставку текста

БИОГРАФИЈА

Ненад Стошић је рођен дана 01.04.1987. године у Лесковцу, са сталним местом пребивалишта у Лебану.

Основну школу „Радован Ковачевић Максим“ и гимназију „Лебане“ - природно математички смер, завршио је у Лебану са одличним успехом као носилац дипломе Вук Караџић. Студије Медицинског факултета у Нишу на одсеку стоматологија започео је школске 2006/2007, а дипломирао 21.09.2012. године са просечном оценом 9,44 (диплома бр. 3839-43/2012). Дипломски рад под називом “Преваленција каријеса сталних зуба код деце млађег школског узраста у једној нишкој основној школи” одбранио је са оценом 10. Такође, све стручне предмете из области стоматологије положио је са оценом 10.

Докторске академске студије - смер Базична стоматологија, уписао је 2012. године на Медицинском факултету у Нишу. Положио је све планом и програмом предвиђене испите са просечном оценом 10.

Током студија је учествовао на више научно-стручних скупова студената медицине и стоматологије. Учествовао је на 51, 52, и 53. конгресу студената биомедицинских наука Србије са међународним учешћем као и на VII међународном конгресу (International Pirogov scientific medical conference of students and young scientists) у Москви 2012. Као апсолвент био је члан организационог одбора симпозијума "Превенција оралног здравља" на коме је био коаутор једног рада.

Школске 2010/2011 године био је ангажован као демонстратор на предметима Болести зуба - претклиника и Претклиничка ендодонција. У периоду од 2008. до 2012. године био је члан Центра за научно-истраживачки рад студената (ЦНИРС). Током основних студија био је стипендиста Фондације Хемофарм из Вршца, Министарства просвете као и Фонда за младе таленте - Општина Лебане.

Обавезан лекарски стаж обавио је на Клиници за Стоматологију и у Војној болници у Нишу. Стручни испит за доктора стоматологије положио је 25. јуна 2014. године у Београду (уверење број 152-02-1519/2014-04).

Студент је треће године академских докторских студија на Медицинском факултету у Нишу - смер стоматолошке науке. Положио је све планом и програмом предвиђене испите са просечном оценом 10.

Као стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја, а затим и као докторанд, ангажован је на пројекту – „Превентивни, терапијски и етички приступ преклиничким и клиничким истраживањима и модулатора редокс ћелијске сигнализације у имуном, инфламаторном и пролиферативном одговору ћелије“ - (евиденциони број: 41018).

Специјалистичке испит из Болести зуба и ендодонције на Медицинском факултету у Нишу положио је 03.12.2021. године и тиме стекао звање специјалиста. Од 05.11.2019. ради као клинички лекар у Служби за Болести зуба и ендодонцију Клинике за денталну медицину у Нишу. Запослен је на Медицинском Факултету Универзитету у Нишу као асистент за УНО Болести зуба и ендодонција – претклиника.

Као студент докторских академских студија и асистент на Медицинском факултету у Нишу, објавио је један ауторски (подржан од стране пројекта, евид. бр. 451-03-68/2022-14/200113 за 2022.) и више коауторских радова у међународним часописима са импакт фактором („SCI“ листа). Такође је аутор и коаутор радова објављених у домаћим часописима са рецензијом, као и бројних саопштења штампаних у изводу са међународних и домаћих научних скупова.

Стошић Ненад