



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

STOMATOLOŠKI FAKULTET

Marija Antunović

**HIBRIDNA TEHNIKA
INSTRUMENTACIJE KORIJENSKIH
KANALA**

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

Rad je ostvaren na Zavodu za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor rada: doc. dr. sc. Ivona Bago, Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Marina Gudelj, profesorica hrvatskog jezika i književnosti

Lektor engleskog jezika: Marija Gabrijela Topić, profesorica engleskog i talijanskog jezika i književnosti

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 38 stranica

10 slika

CD

Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni doprinos autora diplomskog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihovog podrijetla.

Zahvala

Zahvaljujem mentorici, doc. dr. sc. Ivoni Bago, na savjetima, pomoći te uloženom trudu tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem članovima obitelji i prijateljima na pruženoj podršci i razumijevanju tijekom mog školovanja.

Hibridna tehnika instrumentacije korijenskih kanala

Sažetak

Cilj endodontskog liječenja zuba je uklanjanje intrakanalne infekcije kemo-mehaničkom obradom korijenskog kanala i prevencija reinfekcije što se postiže punjenjem kanala i koronarnom restauracijom zuba. Danas su na tržištu dostupni brojni endodontski instrumenti i tehnike instrumentacije. Upotreba prvih nikal-titanskih instrumenata u obradi korijenskih kanala krajem 20. stoljeća rezultirala je ubrzanim razvojem novih instrumenata različitih konstrukcija, karakteristika i načina rada. Prednosti nikal-titanskih instrumenata su povećana fleksibilnost i superelastičnost zahvaljujući kojoj je moguće očuvati izvorni oblik korijenskog kanala s minimalnom mogućnošću ijtrogenih pogrešaka. Najnovije recipročne tehnike instrumentacije kanala primjenom samo jednog instrumenta omogućile su brzu instrumentaciju uz minimalne proceduralne greške. Nedavno se pojavila i ideja o hibridnoj instrumentaciji koja uključuje primjenu različitih tehnika i sustava. Kao rezultat toga pojavio se Twisted File Adaptive sustav obrade kanala koji tijekom instrumentacije prepoznaje izloženost instrumenta stresu te, ovisno o tome, mijenja kretnju iz rotacijske u recipročnu. Twisted File Adaptive instrumenti izrađeni su od Ni-Ti legure u R-fazi što im daje svojstvo superelastičnosti i memorije oblika. Dosad su u znanstvenoj literaturi objavljeni brojni znanstveni radovi. Twisted File Adaptive instrumenti odlikuju se visokom reznom učinkovitošću, malom incidencijom loma instrumenta, smanjenim apikalnim potiskivanjem debrisa, a posljedično manjom incidencijom postoperativne boli.

Ključne riječi: Twisted File Adaptive; hibridna tehnika; recipročna tehnika; Reciproc; WaveOne

Hybrid technique of root canal instrumentation

Summary

The aim of endodontic treatment is the elimination of intracanal infection by using chemomechanical root canal treatment as well as prevention of reinfection, which is achieved by filling a root canal and placing appropriate coronal restoration. Nowadays, numerous endodontic instruments and instrumentation techniques are available on the market. The use of the first nickel-titanium instruments for root canal treatment at the end of the 20th century has resulted in rapid development of new instruments of different constructions, characteristics and modes of operation. The advantages of nickel-titanium instruments are increased flexibility and superelasticity thanks to which it is possible to preserve the original root canal shape with the minimum possibility of iatrogenic errors. The latest reciprocating canal instrumentation techniques which use only one instrument enabled rapid instrumentation with minimal procedural errors. Recently, the idea of hybrid instrumentation has also appeared, which involves the application of different techniques and systems. As a result, Twisted File Adaptive instrumentation system emerged which recognizes the exposure of the instrument to stress during instrumentation, and according to this, changes its motion from rotary to reciprocating. Twisted File Adaptive instruments are made of NiTi alloy in R-phase which gives them superelasticity and shape memory effect. So far, in scientific literature numerous scientific works have been published. Twisted File Adaptive instruments are characterized by high cutting efficiency, low incidence of instrument fractures, reduced apical debris extrusion, and consequently less frequent postoperative pain.

Keywords: Twisted File Adaptive; hybrid technique; reciprocating technique; Reciproc; WaveOne

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Recipročne tehnike instrumentacije	4
2.1. Razvoj recipročne tehnike instrumentacije	5
2.2. Recipročne tehnike instrumentacije	6
2.2.1. WaveOne	6
2.2.2. WaveOne Gold	7
2.2.3. Reciproc	8
2.2.4. Reciproc Blue	9
2.3. Dosadašnji rezultati učinkovitosti recipročnih instrumenata u obradi korijenskih kanala	10
3. Twisted File Adaptive tehnika instrumentacije	12
3.1. Hibridna tehnika instrumentacije korijenskih kanala	13
3.2. Twisted File Adaptive	14
3.3. Dosadašnji rezultati učinkovitosti obrade kanala Twisted File Adaptive tehtnikom	18
3.3.1. Twisted File Adaptive i oblikovanje korijenskih kanala	18
3.3.2. Twisted File Adaptive i zamor materijala	19
3.3.3. Twisted File Adaptive - deformacija i lom instrumenta	19
3.3.4. Twisted File Adaptive i sposobnost rezanja dentinskog zida	20
3.3.5. Twisted File Adaptive - stvaranje pukotina u dentinu	20
3.3.6. Twisted File Adaptive i potiskivanje debrisa preko apeksa	21
3.3.7. Twisted File Adaptive i učinkovitost tijekom revizije	22
4. Rasprava	23
5. Zaključak	26
6. Literatura	28
7. Životopis	37

Popis skraćenica

CW (*clock-wise*) – u smjeru kazaljke na satu

CCW (*counter clock-wise*) – u smjeru suprotnom od kazaljke na satu

Ni-Ti – nikal-titan

PTN- ProTaper Next

PTU – ProTaper Universal

rpm (*revolutions per minute*) – okretaja u minuti

TF Adaptive – Twisted File Adaptive

1. UVOD

Svrha endodontskog liječenja zuba je kemo-mehanička obrada korijenskih kanala zuba i kvalitetno punjenje i brtvljenje endodontskog prostora s ciljem sprječavanja reinfekcije bakterijama iz usne šupljine ili periapikalnog prostora. Mehanička obrada korijenskog kanala je ključan korak u endodontskom liječenju čiji cilj je ukloniti vitalno i nekrotično pulpno tkivo zajedno s inficiranim dentinom, oblikovati korijenske kanale pritom poštujući anatomiju endodontskog prostora i širinu apikalnog otvora. Odgovarajuća preparacija omogućit će dostatnu dezinfekciju koja će zajedno s kvalitetnim punjenjem rezultirati cijeljenjem periapikalnog procesa. Dostupne tehnike obrade korijenskih kanala uključuju ručne i strojne tehnike instrumentacije, zvučne i ultrazvučne sustave i lasere (1).

Waila i suradnici (2) su 1988. godine predstavili prve Ni-Ti endodontske instrumente. Od tada se oni ubrzano razvijaju, a svojstva i učinkovitost temelje se na promjeni dizajna instrumenata, koniciteta, poprečnog presjeka i kinematike. Prednosti Ni-Ti instrumenata u odnosu na klasične čelične instrumente su fleksibilnost i superelastičnost zbog čega je smanjena incidencija ijatrogenih pogrešaka tijekom instrumentacije korijenskih kanala (3). Osim što posjeduju veću sposobnost rezanja dentina, pokazali su se superiornijima u očuvanju morfologije endodontskog prostora, kao i smanjenim apikalnim transportom (4). Prva generacija Ni-Ti instrumenata odlikovala se pasivnim režućim bridovima, nepromijenjenim konicitetom duž cijele radne duljine te je za instrumentaciju korijenskog kanala korišteno više instrumenata. Ni-Ti instrumenti druge generacije imali su aktivne režuće bridove te je za postizanje željenog oblika kanala bilo potrebno manje instrumenata. Treću generaciju karakteriziraju promjene u metalurškoj obradi Ni-Ti sirovine zagrijavanjem i uvođenjem «M-wire» tehnologije 2007. godine. Od 2011. godine, na tržištu su dostupne dvije recipročne tehnike, Reciproc (VDW, München, Njemačka) i WaveOne (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Švicarska), koje omogućuju obradu korijenskoga kanala jednim instrumentom (tkz. «single-file» instrumentacija kanala) koji je izrađen od M-žice (četvrta generacija). Petu generaciju čine instrumenti čiji se centar opterećenja i centar rotacije nalaze u istoj točki što rezultira stvaranjem mehaničkoga vala koji se pomiče cijelom duljinom instrumenta te na taj način smanjuje interakciju između instrumenta i dentina. Najpoznatiji predstavnike ove skupine je ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Švicarska).

Unatoč neprestalnom razvoju i poboljšanju svojstava Ni-Ti instrumenata i dalje se navode negativne karakteristike među kojima se ističe lom instrumenta, apikalno i lateralno potiskivanje debrisa i velika površina neinstrumentiranog dentina. Stoga, da bi se

minimizirale pogreške i time liječenje bilo uspješnije, pojavila se ideja o hibridnim tehnikama instrumentacije koje koriste kombinirane pokrete (3).

Nedavno je na tržište predstavljena tehnika Twisted File Adaptive (TF Adaptive, Axis/SybronEndo, Orange, SAD) koja koristi kombinaciju rotirajućih i recipročnih pokreta ovisno o stresu u korijenskom kanalu (5). Svrha ovog rada je predstaviti TF Adaptive hibridnu tehniku mehaničke obrade korijenskog kanala, karakteristike instrumenata, kliničku primjenu i dosadašnje rezultate znanstvenih istraživanja.

2. RECIPROČNE TEHNIKE INSTRUMENTACIJE

2.1. Razvoj recipročne tehnike instrumentacije

Recipročni pokret instrumenta u kanalu prvi put se spominje 1958. godine i definiran je kao slijed ponavljajućih kretnji naprijed i natrag (1). Kroz naredna razdoblja predstavljeni su instrumenti koji su koristili simetrične oscilirajuće pokrete od 90° u smjeru kazaljke na satu (engl. clock-wise, CW) i 90° u smjeru suprotnom od kazaljke na satu (engl. counter clock-wise, CCW). Oni se, međutim, nisu pokazali superiornijima u oblikovanju korijenskih kanala niti je smanjena incidencija pojave ijtrogenih pogrešaka. S vremenom, došlo je do promjena u tim kretnjama te upotrebe Ni-Ti instrumenata u endodonciji. Godine 2008. Yared je upotrijebio ProTaper F2 instrument (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Švicarska) koristeći pokrete od 144° CW i 72° CCW pri brzini od 400 okretaja u minuti. Ovaj pokret nazvan je parcijalnim ili asimetričnim recipročnim pokretom (6). Puni krug se postigao nakon nekoliko ciklusa recipročnih kretnji zbog čega se još naziva i parcijalnim recipročnim pokretom s rotirajućim učinkom (7). Koristio je manje brzine nego simetrični pokret te je omogućio dostatnu reznu učinkovitost uz smanjenje torzijskog stresa. Godine 2011. na tržište dolaze dva nova recipročna sustava, WaveOne (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Švicarska) i Reciproc (VDW, München, Njemačka). Razlika u odnosu na prijašnje instrumente očitovala se u metalurškoj proizvodnji, obliku instrumenta te tehnici korištenja. Instrumenti su dizajnirani tako da im je kretnja veća u smjeru CCW, a puni krug postižu nakon tri ciklusa kretnji. Recipročni pokret omogućio je obradu cijelog korijenskog kanala samo jednim instrumentom, bez prethodnog proširivanja istoga, čime se smanjuje i vrijeme preparacije, odnosno cjelokupnog postupka liječenja (6). U dosadašnjim istraživanjima, ovi instrumenti su se pokazali učinkovitijima u postupcima revizije te je vrijeme obrade kraće u odnosu na rotirajuće tehnike. Recipročni pokret produžuje vijek samih instrumenata dok ciklička otpornost ovisi o amplitudi samog pokreta. Anatomija endodontskog prostora je očuvana uz značajno uklanjanje bakterija. U usporedbi s rotacijskim, recipročne tehnike imaju sličnu reznu učinkovitost te je zabilježena slična incidencija mikropukotina u dentinu (8). U novije vrijeme pojavila se i treća vrsta recipročnog pokreta koji je nazvan hibridni recipročni pokret. On može biti fiksni i fleksibilan, odnosno može doći do promjene kretnje u kanalu na temelju mehaničkog otpora i okretnog momenta (6).

2.2. Recipročne tehnike instrumentacije

2.2.1. WaveOne

WaveOne (Dentsply Sirona, Ballaigues, Švicarska) je Ni-Ti sustav s recipročnim motorom koji koristi recipročni pokret od 170° CCW i 50° CW (9). Puni krug postiže se nakon tri ciklusa recipročnog pokreta, što omogućuje brže postizanje radne duljine, bolju reznu učinkovitost i uklanjanje debrisa (10). WaveOne je tehnika instrumentacije korijenskog kanala koja koristi jedan instrument (3). Instrumenti se izrađuju od Ni-Ti legure koja je podvrgnuta termomehaničkoj obradi sirove žice (pod određenim temperaturama i napetosti) te tako u svom sastavu sadrži austenit, martenizit i R-fazu, čiji omjeri ovise o uvjetima obrade. Upravo zbog toga odlikuje se većom temperaturom transformacije, nižim modulom elastičnosti, manjim transformacijskim stresom (11). M-žica na taj način povećava ukupnu otpornost i fleksibilnost instrumenta. U setu postoje tri instrumenta: žuti (veličina 21, konicitet 0,06), crveni (veličina 25, konicitet 0,08) i crni (veličina 40, konicitet 0,08) u tri duljine 21, 25 i 31 mm (Slika 1.). Instrumenti imaju izgled obrnute spirale i različit poprečni presjek duž radnoga dijela. U koronarnoj i srednjoj trećini poprečni presjek je konveksni trokutasti, dok je u apikalnoj trećini modificirani trokutasti. Upravo ovakav dizajn instrumenta omogućuje napredovanje kroz kanal uz maksimalnu sigurnost (3). Preporuka je da se kanal najprije instrumentira s ručnim instrumentom, a zatim se rabe WaveOne instrumenti (12).

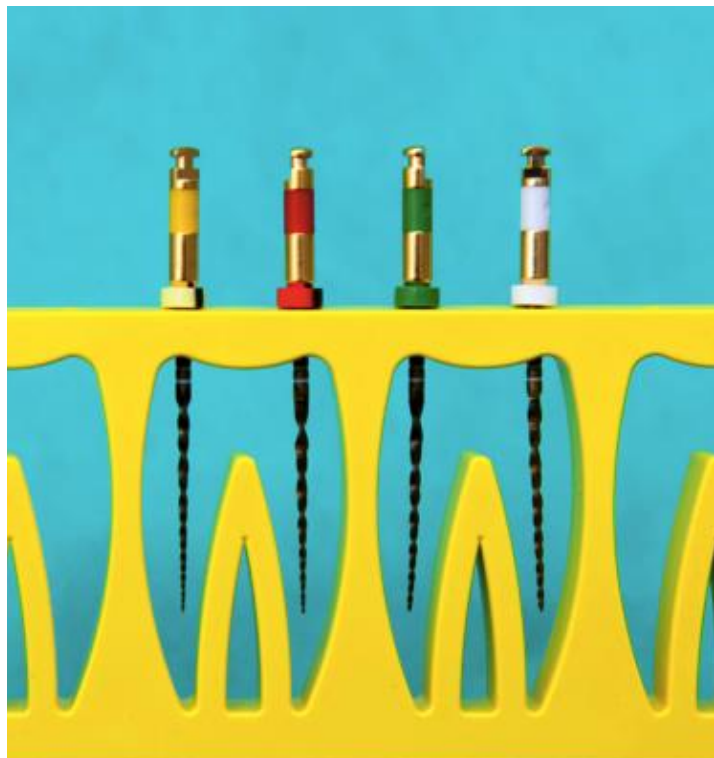


Slika 1. WaveOne instrumenti.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

2.2.2. WaveOne Gold

WaveOne Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, Švicarska) je recipročni sustav koji, u usporedbi s WaveOne instrumentima, ima promijenjenu geometriju i dimenzije instrumenta, dok je recipročni pokret jednak kao kod WaveOne instrumenta (13). Posebnost ovog sustava je u obradi instrumenata koji se tijekom proizvodnje zagrijavaju te potom toplinski obrađuju zlatom što rezultira njihovom fleksibilnošću (14). Poprečni presjek instrumenta je oblika paralelograma s dvije oštice od 85° koje su u kontaktu s dentinskim zidom. Na taj se način smanjuje dodirna površina tijekom instrumentacije, što smanjuje mogućnost urezivanja instrumenta u dentin. Instrumenti su dostupni u četiri veličine: maloj (veličina 20, konicitet 0,07, žuta), osnovnoj (veličina 25, konicitet 0,07, crvena), srednjoj (veličina 35, konicitet 0,06, zelena) i velikoj (veličina 45, konicitet 0,05, bijela) te tri duljine 21, 25 i 31 mm (13) (Slika 2.).



Slika 2. WaveOne Gold instrumenti.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

2.2.3. Reciproc

Godine 2011. Ghassan Yared je predstavio Ni-Ti recipročni sustav namijenjen obradi kanala jednim instrumentom pod nazivom Reciproc (VDW, München, Njemačka). Sustav sadrži tri instrumenta: R25 (veličina 25, konicitet 0,08) za uske kanale (Slika 3.), R40 (veličina 40, konicitet 0,06) za normalnu veličinu kanala i R50 (veličina 40, konicitet 0,05) za široke kanale. Konicitet je konstantan u apikalna 3 mm instrumenta, a potom se smanjuje (15). Proizvodnja od M-žice daje mu povećanu fleksibilnost i otpornost na ciklički zamor materijala (16, 17). Poprečni presjek je oblika slova S, s dvije režuće oštice, što mu omogućuje veću fleksibilnost i rezu učinkovitost (18, 19). Proizvođač navodi da prethodno nije potrebno proširiti kanal ručnim instrumentom bez obzira na zavijenost kanala (15). Koristi pokrete 150° CCW i 30° CW (20).

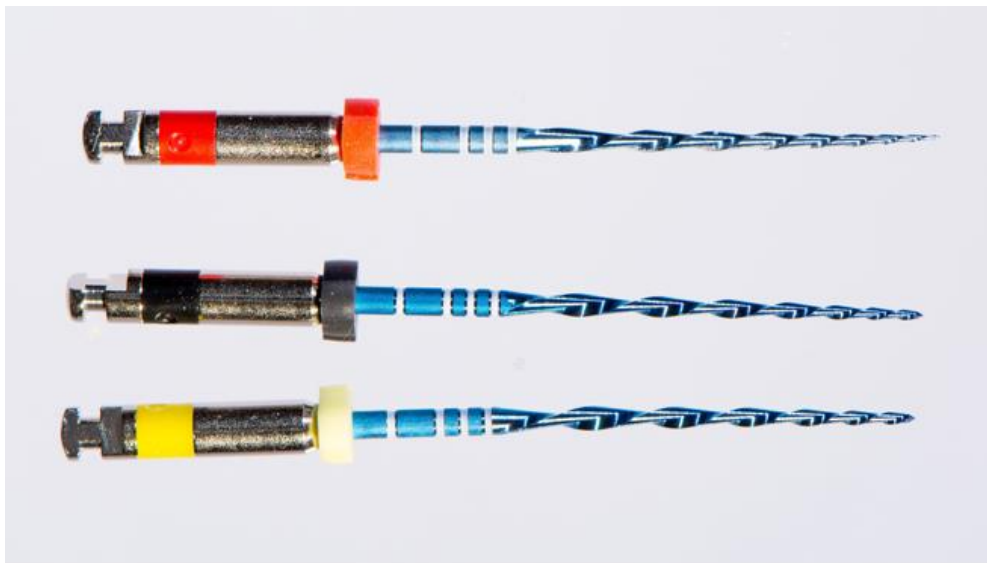


Slika 3. Reciproc R25 instrument.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

2.2.4. Reciproc Blue

Reciproc Blue (VDW, München, Njemačka) je poboljšana verzija originalnog Reciproc sustava (21). Tijekom proizvodnje instrumenti su podvrgnuti procesu zagrijavanja i hlađenja, što u konačnici rezultira vidljivim slojem titanijeva oksida na njihovoj površini. Rezultat je veća fleksibilnost i otpornost instrumenta na ciklički zamor (22). Namijenjen je obradi kanala jednim instrumentom bez prethodnog proširivanja kanala. Sastoji se od tri instrumenta: Reciproc Blue 25 (veličina 25, konicitet 0,08), Reciproc Blue 40 (veličina 40, konicitet 0,06) i Reciproc Blue 50 (veličina 50, konicitet 0,05) (Slika 4.). Konicitet instrumenta je stalan u apikalna 3 mm, a potom se smanjuje. Ima poprečni presjek u obliku slova S. Veličina potrebnog instrumenta može se odrediti radiografski ili pomoću ručnih instrumenata, a u rijetkim slučajevima, kada je potrebno omogućiti glatki put (engl. glide path), koristi se R-Pilot (VDW, München, Njemačka) koji pri radu također koristi recipročne pokrete (21).



Slika 4. Reciproc Blue instrumenti.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

2.3. Dosadašnji rezultati učinkovitosti recipročnih instrumenata u obradi korijenskog kanala

Brojna istraživanja su pokazala superiornost recipročnog pokreta u odnosu na rotacijski po pitanju cikličke otpornosti. Povećana otpornost na stres tijekom rada u korijenskom kanalu rezultira i manjom incidencijom loma instrumenta (23-25). U istraživanju Plotina i sur. (26) dokazana je veća ciklička otpornost Reciproc instrumenata u odnosu na WaveOne, što je objašnjeno različitim dizajnom instrumenta i kretanjem tijekom rada. Istraživanje Pereira Bueno i sur. (27) pokazalo je lom instrumenta u 0,26% slučajeva, od čega je frakturirao jedan WaveOne instrument tijekom treće primjene te dva Reciproc R25 instrumenta tijekom prve i treće primjene. Ovi rezultati slični su rezultatima Plotino i sur. (7), koji su objavili nastanak fraktura Reciproc R25 instrumenta u 0,47% slučajeva, dok instrumenti R40 i R50 nisu frakturirali. Shen i sur. (28) su u svom istraživanju koristili 438 WaveOne instrumenata te zabilježili deformacije u 9,6% slučajeva, a frakture instrumenta u 0,5% slučajeva. Najveći postotak deformacije zabilježen je kod malih instrumenata, slijede ga srednji instrumenti, dok kod velikih nije došlo do deformacije.

Rezultati sposobnosti uklanjanja debrisa recipročnim instrumentima iz kanala su kontradiktorni. U nekim istraživanjima, recipročne tehnike su pokazale bolje rezultate, odnosno manje zaostatnog debrisa nakon instrumentacije (29), dok je u drugim istraživanjima dokazana veća akumulacija debrisa nakon recipročne instrumentacije (30, 31). Ove razlike vjerojatno su posljedica različitih tehnika koje su korištene tijekom istraživanja, a moguće da primjena većeg broja instrumenata u rotacijskim sustavima rezultira boljom sposobnošću čišćenja korijenskog kanala (32). Apikalno potiskivanje debrisa veće je kod recipročnih tehnika u odnosu na rotirajuće (33, 34). Također, vidljive su razlike i između pojedinih sustava. Reciproc uzrokuje veću apikalnu protruziju debrisa u odnosu na WaveOne, što je vjerojatno posljedica dvije oštrice koje snažno režu dentin, za razliku od WaveOne instrumenata koji imaju manju reznu sposobnost (33, 35).

Dosad je objavljeno više istraživanja usporedbe antimikrobnog učinka rotacijskih i recipročnih tehnika instrumentacije koja nisu pokazala značajnu razliku između navedenih tehnika (36-38). Prema Machado i sur. (36) recipročne tehnike su izuzetno uspješne te je stupanj uklanjanja bakterija nakon jednoposjetne endodoncije recipročnom tehnikom obrade kanala 95,1%. Slični rezultati zabilježeni su nakon korištenja PTN, Mtwo (VDW, München, Njemačka) i klasičnih čeličnih instrumenata. Slične rezultate dobili su Martinho i sur. (37)

koji su objavili uspješnost WaveOne tehnike u 95,15% slučajeva, a Reciproc tehnike u 96,21%. Kod rotacijskih tehnika uspješnost ProTaper iznosi 97,98%, a Mtwo 96,34%.

Recipročni sustavi bolje zadržavaju središnji položaj instrumenta unutar korijenskog kanala, što rezultira zadržavanjem njegovog izvornog oblika, posebice u apikalnoj trećini (32). Također, Lim i sur. (39) su pokazali da WaveOne postiže slabije rezultate u odnosu na Reciproc ako se primjenjuje bez prethodnog proširenja ručnim instrumentom. Stoga preporučuju njegovu upotrebu nakon instrumentacije ručnim čeličnim instrumentom minimalne veličine 15.

Instrumentacija korijenskih kanala, bez obzira na tehniku koja se koristi, može uzrokovati brojne mikro pukotine u dentinu koje mogu dovesti do vertikalne frakture zuba (32). Prema Bürklein i sur. (40), recipročne tehnike uzrokuju veću incidenciju mikro fraktura, posebice u apikalnoj trećini. Autori zaključuju da Reciproc uzrokuje veći broj dentinskih pukotina u odnosu na WaveOne, što se može objasniti agresivnim režućim oštricama i korištenjem instrumenta bez prethodnog proširenja.

Berutti i sur. (41) su u istraživanju na ekstrahiranim molarima koristili WaveOne tehniku te su došli do zaključka da dolazi do gubitka radne duljine pri korištenju recipročnog pokreta, stoga preporučuju prethodno provjeriti radnu duljinu prije instrumentacije apikalne trećine kanala.

Prema Park i sur. (42), vrijeme instrumentacije s WaveOne sustavom je kraće u usporedbi s Reciproc instrumentacijom. Razlog tome vjerojatno je razlika u konstrukciji instrumenta jer WaveOne ima tri režuće oštrice, a Reciproc dvije. Također, nakon korištenja istog instrumenta više puta, vrijeme instrumentacije u oba sustava bilo je prolongirano. Reciproc se pak pokazao superiornijim u reznoj učinkovitosti u odnosu na WaveOne, a razlog tome je dvostruka oštrica instrumenta, dok je dizajn WaveOne instrumenata modificiran (18).

Tijekom revizije, recipročne tehnike uklanjaju sličnu količinu punila kao i rotacijske tehnike revizije (43, 44).

3. TWISTED FILE ADAPTIVE TEHNIKA INSTRUMENTACIJE

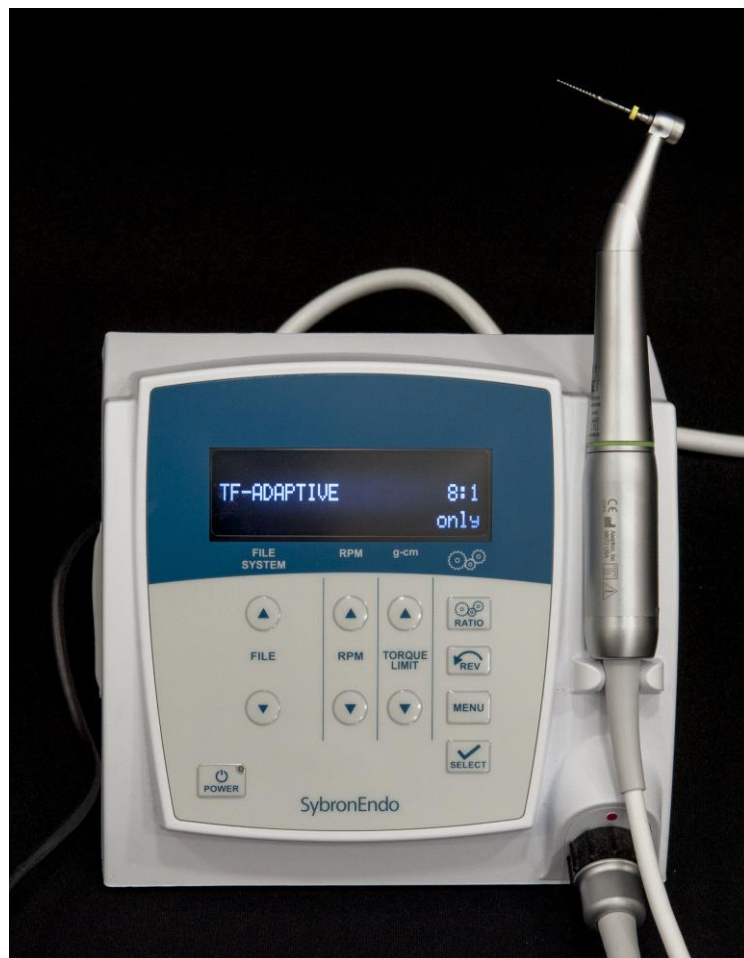
3.1. Hibridna tehnika instrumentacije korijenskih kanala

Obrada korijenskih kanala smatra se ključnim korakom u endodontskom liječenju zuba. Unutar toga, bitno je postići konični oblik kanala, čuvajući pritom njegov izvorni oblik i veličinu apikalnog otvora, bez suvišnog uklanjanja dentina i ijatrogenih pogrešaka. Unatoč ubrzanom razvoju materijala i tehnika instrumentacije često dolazi do transportacije kanala, koja se definira kao uklanjanje dentinskog zida na vanjskom dijelu zavijenosti kanala u apikalnoj trećini, a nastaje kao posljedica izravnavanja instrumenta i želje za vraćanjem u njegov prvobitni položaj. To može dovesti do oštećenja apikalnog otvora, stvaranja ureza u dentinu, gubitka puta kroz kanal i perforacija. Da bi se to spriječilo, bitno je da instrument cijelo vrijeme bude centriran u korijenskom kanalu što fleksibilnost Ni-Ti instrumenata i omogućuje (45).

Ideja hibridne tehnike očituje se u upotrebi različitih sustava instrumentacije kao i različitih tehnika instrumentacije s ciljem postizanja najboljeg mogućeg čišćenja i oblikovanja endodontskog prostora bez ijatrogenih pogrešaka. Ovakav koncept omogućuje korištenje najboljih svojstava pojedinog sustava (46). Nažalost, ne postoji sustav Ni-Ti rotirajućih instrumenata koji omogućuje idealnu preparaciju u svakom kliničkom slučaju. Različiti kanali zahtijevaju različit pristup. Upravo zbog toga se pojavila potreba za hibridnom tehnikom instrumentacije (6).

3.2. Twisted File Adaptive

Twisted File Adaptive (TF Adaptive) (Axis/SybronEndo, Orange, SAD) je Ni-Ti sustav s jedinstvenim motorom (Elements Motor, Axis/SybronEndo, SAD) (Slika 5.) koji, ovisno o stresu tijekom instrumentacije korijenskih kanala, kombinira rotacijske i recipročne kretnje. Kada instrument u kanalu nije pod stresom ili je pod minimalnim stresom, koristi CW kretnju do 600° omogućujući na taj način bolje čišćenje i oblikovanje kanala te više uklanjanja debrisa. S druge strane, kada je instrument u kanalu izložen stresu, motor to prepoznaje pomoću složenog algoritma te se automatski prilagođava, ovisno o jačini stresa, koristeći pokrete od 370° CW i do 50° CCW pri brzini od 400 rpm. Korištenje recipročnog pokreta smanjuje mogućnost nastanka pogreški pri radu, a da pritom ne utječe na samu izvedbu pokreta. Uočena je i manja incidencija pojave postoperativne boli zbog manjeg potiskivanja debrisa apikalno i lateralno što je omogućeno rotacijskim pokretima, te korištenjem fleksibilnih instrumenata (47).



Slika 5. Elements Motor, Axis/SybronEndo, SAD.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

TF Adaptive instrumenti su jedinstveni Ni-Ti instrumenti trokutastog presjeka i neaktivnog vrha dobiveni tehnikom uvijanja (Slika 6.) što je postignuto toplinskom obradom instrumenta u R-fazi i završnim kondicioniranjem površine čime se postiže poliranost instrumenta (48). Tijekom procesa proizvodnje sirova žica se zagrijava pri čemu kristalična struktura iz austenične prelazi u R-fazu, koja ima izvrsna svojstva superelastičnosti te sposobnost memorije. Također, ima manji Youngov modul elastičnosti nego austenit (49). Žica u R-fazi može se savijati te se nakon oblikovanja instrument ponovno zagrijava i hladi kako bi zadržao svoj željeni oblik. Konačno, instrument se vraća u austeničnu fazu. Prednost ovakvog načina proizvodnje očituje se u manjoj incidenciji mikrofraktura na površini instrumenta i zadržavanju visoke rezne učinkovitosti (50).



Slika 6. TF Adaptive instrumenti.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

TF Adaptive tehnika instrumentacije koristi šest instrumenata raspoređenih u dva seta (za uske kanale i normalne/velike kanale) po tri instrumenta i pripadajući motor (Elements Motor; Axis / SybronEndo). Kod uskih, zavijenih i kalcificiranih kanala (kad se radna duljina kanala teško postiže ručnim instrumentom #15, prema ISO standardu), koristi se SM (small) set s instrumentima: SM1 (zeleni prsten, veličina 20, konicitet 0,04), SM2 (žuti prsten, veličina 25, konicitet 0,06), SM3 (crveni prsten, veličina 35, konicitet 0,04) (Slika 7.).



Slika 7. SM1 TF Adaptive instrumenti.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

Kod normalnih i većih kanala (kad se radna duljina lagano postiže ručnim instrumentom #15, prema ISO standardu) koristi se ML (medium/large) set s instrumentima: ML1 (dva zelena prstena, veličina 25, konicitet 0,08), ML2 (dva žuta prstena, veličina 35, konicitet 0,06), ML3 (dva crvena prstena, veličina 50, konicitet 0,04). (Slika 8.). Instrumenti u oba seta označeni su od manjega prema većemu, bojama po uzoru na semafor: zelena, žuta i crvena. Svi instrumenti se koriste do pune radne duljine.



Slika 8. ML2 TF Adaptive instrumenti.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

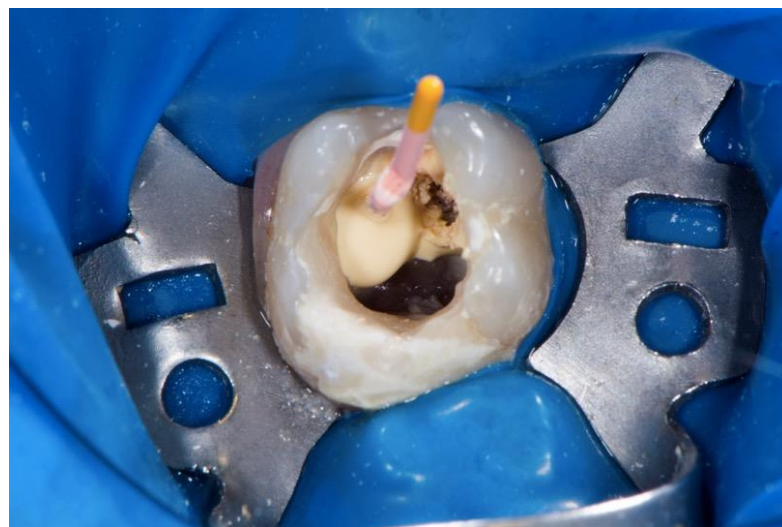
Za instrumentaciju kanala TF Adaptive tehnikom rabe se minimalno dva instrumenta jer najveći instrumenti u setovima (crveni SM3 i ML3) (Slika 9.) nisu obavezni i koriste se samo kod potrebe za dodatnim proširenjem apikalnog dijela kod širokih kanala. Instrumenti se mogu sterilizirati.



Slika 9. SM3 TF Adaptive instrumenti.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

TF Adaptive sistem instrumentacije uključuje i papirnate štapiće za sušenje kanala te gutaperka štapiće za punjenje kanala tehnikom jednog gutaperka štapića (engl. single cone technique) i termoplastičnu gutaperku na plastičnom nosaču (Slika 10.) (5).



Slika 10. Punjenje kanala SM2 TF Adaptive gutaperka štapićem.

Preuzeto s dopuštenjem autora: doc. dr. sc. Ivona Bago

3.3. Dosadašnji rezultati učinkovitosti obrade kanala Twisted File Adaptive tehnikom

3.3.1. Twisted File Adaptive i oblikovanje korijenskih kanala

U dosadašnjim istraživanjima provedenim na akrilatnim blokovima i ekstrahiranim zubima, TF Adaptive je pokazao manji stupanj transportacije kanala u uspoređi s recipročnim tehnikama (9, 51-53). Superiorniji rezultati mogu se objasniti automatskom prilagođavanju TF Adaptive instrumenata stresu u kanalu, dizajnu instrumenta i malom broju instrumenata (minimalno dva) potrebnih za instrumentaciju (52).

U rezultatima usporedbe TF Adaptive sustava s rotirajućim ProTaper Next (PTN, Dentsply Maillefer, Švicarska) i ProTaper Universal (PTU, Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Švicarska) sustavima, rezultati su kontradiktorni. U istraživanjima u kojima su korišteni akrilatni blokovi, TF Adaptive se pokazao kao superiornije rješenje u odnosu na PTN (9) i PTU (54). U istraživanjima provedenim na humanim ekstrahiranim zubima nije bilo značajnije razlike (55, 56). Ove razlike u dobivenim rezultatima najvjerojatnije su zbog korištenja akrilatnih blokova kao eksperimentanih uzoraka u određenim istraživanjima (9, 54) te humanih zuba u drugim istraživanjima (55, 56). Također, TF Adaptive instrumenti su pokazali manji stupanj transportacije u uspoređbi s Mtwo (VDW, München, Njemačka) sustavom koji koristi rotacijske i adaptivne pokrete (57).

Adrande i sur. (58) su u istraživanju na akrilatnim blokovima zaključili da TF Adaptive tijekom instrumentacije zavijenih kanala ne može u potpunosti održati smjer u kanalu, bez određenih devijacija. Otklon instrumenta od izvornog oblika kanala rezultira 20 do 35% neinstrumentirane površine. Ova područja mogu biti mjesta naseljavanja bakterija koje mogu dovesti do reinfekcije, također zaostatni sloj onemogućuje adekvatno punjenje što u konačnici rezultira neuspješnim endodontskim liječenjem. Međutim, nakon instrumentacije i recipročnim tehnikama, Reciproc i WaveOne, dio površine korijenskih kanala ostaje neinstrumentiran (52). Slični rezultati dobiveni su i u istraživanjima usporedbe TF Adaptive s ProTaper Next (59) i Self-Adjusting File (ReDent Nova, Ra'anana, Izrael) sustavima (60).

3.3.2. Twisted File Adaptive i zamor materijala

Upotreba superelastičnih Ni-Ti instrumenata s boljom reznom učinkovitošću omogućila je oblikovanje kanala u njihovom izvornom obliku bez pretjeranog uklanjanja dentinskog zida. Unatoč svim prednostima, postoji mogućnost frakture instrumenta zbog torzijskog zamora materijala i savijanja instrumenta (61).

Instrument, koji je jednim krajem fiksiran unutar korijenskog kanala, a na drugome dijelu dolazi do uvrtnja oko njegove uzdužne osi, razvija torzijski zamor legure što rezultira lomom. Prije samog loma dolazi do plastične deformacije instrumenta kao posljedice prekoračenja elastične granice materijala. Pri tome instrument nije zarobljen u kanalu, nego se nastavlja rotirati. Dio instrumenta koji se nalazi izvan zavirutoga dijela kanala razvija napetost dok je dio unutar zavoja stlačen. Upravo to djelovanje napetosti i tlačenja tijekom rotacije unutar zavijenih kanala rezultira cikličkim zamorom materijala što može rezultirati lomom. Uz zavijenost kanala bitnu ulogu pri razvoju cikličkog zamora imaju veličina i konicitet instrumenta (62).

U istraživanju Elsake i sur. (14), TF Adaptive pokazuje najmanji otpor na torzijski stres u usporedbi s recipročnim, Reciproc i WaveOne Gold, sustavima. S druge strane, Higuera i sur. (62) ne nalaze statistički značajnu razliku u cikličkom zamoru između TF Adaptive ML1 instrumenta i Reciproc R25 instrumenata, dok su oba pokazala superiornije rezultate u odnosu na WaveOne. Oba istraživanja objašnjavaju svoje rezultate dizajnom instrumenata i načinom proizvodnje (14, 62).

3.3.3. Twisted File Adaptive - deformacija i lom instrumenta

Jedan od ciljeva instrumentacije korijenskog kanala je sačuvati izvorni oblik kanala. To su omogućili Ni-Ti instrumenti. Međutim, kao rezultat zamora materijala dolazi do deformacije i loma instrumenata (51). Najčešće do frakture dolazi u apikalnoj trećini zuba, a za Ni-Ti instrumente je karakteristično da pucaju bez prethodnog upozorenja. Prosječna incidencija loma klasičnih čeličnih instrumenta iznosi 1,6%, a rotirajućih 1% (63). Kod recipročnih instrumenta pojavnost loma je smanjena te iznosi 0,47% za Reciproc (7) i 0,5% za WaveOne (28).

U istraživanju Gambarini i sur. (64) deformacija TF Adaptive instrumenta bila je u 22,2% slučajeva, dok je do frakture došlo u 0,8% slučajeva. Deformacija je najčešće zabilježena kod

SM2 instrumenta, i to u njegovoj srednjoj trećini, dok su deformacije kod SM1 i SM3 instrumenta uočene blizu vrha. Ovi rezultati mogu se pripisati načinu proizvodnje jer obrada toplinom, zajedno s uvijanjem u R-fazi, rezultira povećanom elastičnošću te većom plastičnom deformacijom kada je instrument izložen stresu u kanalu. Također, dva od tri ukupno slomljena instrumenta bili su SM2 instrumenti. Razlog tome mogao bi biti veći konicitet instrumenta što zajedno s kinematikom pokreta rezultira zamorom materijala.

3.3.4. Twisted File Adaptive i sposobnost rezanja dentinskog zida

Važno svojstvo Ni-Ti instrumenata je sposobnost rezanja dentinskog zida. Ona ovisi o njihovom načinu proizvodnje, dizajnu, poprečnom presjeku te načinu rada (43).

Gambarini i sur. (65) koristili su TF Adaptive sustav na plastičnim blokovima pri rotirajućim i prilagođavajućim pokretima te nisu pronašli značajne razlike u reznoj sposobnosti rotacijskih instrumenata i TF Adaptive instrumenata. Ovi rezultati mogli bi se objasniti konstrukcijom instrumenta i činjenicom da pri prilagođavajućim pokretima TF Adaptive većinom koriste rotacijsku kretnju. Tocci i sur. (66) došli su do zaključka da TF Adaptive postiže bolje rezultate od WaveOne, što bi se također moglo objasniti činjenicom da pri radu uglavnom koriste rotirajuće pokrete.

3.3.5. Twisted File Adaptive – stvaranje pukotina u dentinu

Pukotine u dentinu mogu nastati kod pretjeranog uklanjanja dentinskoga zida tijekom širenja korijenskih kanala zbog upotrebe prevelike sile za vrijeme punjenja zuba, te zbog opterećenja zuba u određenim funkcijskim ili parafunkcijskim kretnjama. Endodontski liječen zub s pukotinama u dentinu skloniji je vertikalnim frakturama korijena. Postoji mišljenje da različiti sustavi i tehnike instrumentacije mogu utjecati na nastanak dentinskih pukotina (67). Dosadašnja istraživanja nedvojbeno su pokazala da instrumentacija ručnim čeličnim instrumentima uzrokuje manje dentinskih pukotina u odnosu na Ni-Ti instrumente (68-70). Određene studije su pak pokazale da recipročni pokreti također uzrokuju manji broj fraktura u odnosu na rotacijske (68, 71). Prema Gergiju i sur. (72), TF Adaptive uzrokuje manje dentinskih pukotina, posebice u apikalnoj trećini u odnosu na Reciproc i WaveOne. Razlog tomu možemo pronaći u dizajnu instrumenata i samoj tehnici instrumentacije. Recipročne tehnike koriste jedan instrument tijekom instrumentacije korijenskih kanala, dok to nije slučaj

kod TF Adaptive. Ujedno uzrokuju više potiskivanja debrisa apikalno, što može dovesti do povećanog opterećenja na dentinski zid, a što će rezultirati većim brojem pukotina. Slične rezultate ovima također nalazimo u drugim provedenim istraživanjima koja su koristila određene recipročne i rotacijske pokrete (68, 69, 73). Zhou i sur. (74) pak tvrde da na incidenciju fraktura utječe veličina korijenskog kanala i duljina instrumentacije. Pronađena je povećana incidencija fraktura u uskim korijenskim kanalima bez obzira na korištenu tehniku te ako se instrumentiralo preko unutarnjeg foramena zuba. TF Adaptive je uzrokovao manje fraktura u odnosu na WaveOne i PTU. Dvije studije provedene na mandibularnim premolirama ne nalaze razliku između TF Adaptive, recipročnih tehnika i PTU (4, 73), dok De-Deus (75) u svojoj studiji tvrdi da su sve mikropukotine u dentinu, koje su se našle poslije instrumentacije, postojale i prije.

3.3.6. Twisted File Adaptive i potiskivanje debrisa preko apeksa

Tijekom instrumentacije korijenskih kanala, dentinske strugotine, pulpno tkivo, bakterije te irigansi mogu se potisnuti preko apeksa zuba što može rezultirati upalom parodonta te pojavom postoperativne boli (67).

U dosadašnjim istraživanjima potiskivanja debrisa kroz apeks, TF Adaptive sistem instrumentacije pokazao se manje agresivnim u odnosu na recipročne tehnike (76-78). Razlog bi mogao biti u činjenici da recipročni instrumenti režu dentin širom oštricom dok se oslobađaju iz kanala manjom oštricom te pritom potiskuju više debrisa apikalno. Ujedno, pri instrumentaciji, koriste jedan instrument bez prethodnog širenja kanala. S druge strane, motor TF Adaptive sustava prilagođava se stresu u kanalu na način da najveći dio vremena rabi rotirajuću kretnju, što mu omogućuje bolje rezanje dentina i uklanjanje debrisa. Također, koristi minimalno dva instrumenta visoke superelastičnosti i povećane otpornosti na cikličko opterećenje (76). U istraživanju Boijinka i sur. (79), WaveOne Gold je pokazao neznatno bolje rezultate od TF Adaptive, što se može prepisati boljim svojstvima zbog promjene u metalurškoj proizvodnji. U usporedbi s rotirajućim tehnikama, TF Adaptive je pokazao manje ili slično potiskivanje debrisa kroz apeks što se može objasniti razlikama u konstrukciji instrumenta i većom brzinom rada (80, 81). Karataş i sur. (82) u svom istraživanju također koriste TF Adaptive kombinirajući različite pokrete. Najslabije rezultate su dobili koristeći recipročne pokrete 90° CW i 30° CCW, dok je rad pri čistoj rotaciji rezultirao najmanjim volumenom potisnutog debrisa, međutim, bez značajnije razlike u odnosu na adaptivni pokret.

3.3.7. Twisted File Adaptive i učinkovitost tijekom revizije

Revizija je nekirurška metoda koja se provodi u slučajevima neuspješnog endodontskog liječenja. Cilj revizije je u potpunosti ukloniti gutaperku i pastu za punjenje iz korijenskog kanala kako bi se osigurala ponovna dezinfekcija i čišćenje korijenskog kanala. Pri tome su kliničarima dostupni ručni čelični instrumenti, strojni sustavi, laseri te ultrazvučni uređaji (83).

Prema dosadašnjim istraživanjima, TF Adaptive sustav pokazuje lošije rezultate revizije u usporedbi s rotirajućim i recipročnim tehnikama. Razlog je što su TF Adaptive instrumenti tijekom proizvodnje u R-fazi koja im daje svojstva superelastičnosti i smanjene torzijske napetosti (83, 84).

4. RASPRAVA

Posljednja dva desetljeća obilježio je razvoj i unaprijeđenje tehnika instrumentacije endodontskog prostora omogućujući na taj način adekvatno proširenje korijenskih kanala, poštujući pritom njegovu anatomiju te minimizirajući mogućnost nastanka pogrešaka. Razvoj mehaničke instrumentacije tako je omogućio i široku upotrebu recipročnog pokreta. Osnovni preduvjet, koji je doveo do njegove upotrebe u endodonciji, bila je primjena Ni-Ti instrumenata koji olakšavaju proces preparacije korijenskih kanala, skraćuju vrijeme preparacije i smanjuju mogućnost nastanka loma instrumenta. Upotreba CW i CCW kretnji omogućila je odgovarajuću reznu učinkovitost i postizanje željene radne duljine, dok je torzijski stres smanjen. Recipročni pokret doživio je brojne promjene od svojeg prvog predstavljanja 2008. godine. U proteklom razdoblju predstavljeni su određeni sustavi koji su imali motor koji je omogućio podešavanje pokreta u CW ili CCW smjeru, kao i brzine rada, ovisno o željama stomatologa. To je dovelo do razvoja hibridnog pokreta. Nedavno je tako predstavljen i TF Adaptive sustav, koji tijekom rada prepoznaje stupanj izloženosti instrumenta stresu te, ovisno o tome, mijenja svoju kinematiku iz rotacijskog u djelomični recipročni pokret (6).

Do sada su objavljeni brojni radovi o njegovoj učinkovitosti te kliničkoj primjeni (85). TF Adaptive se pokazao kao sustav koji omogućuje instrumentaciju korijenskih kanala uz najmanje odstupanje od njegove anatomije, u usporedbi s Reciproc i WaveOne tehnikama. Ova svojstva su posljedica promjene u metalurškoj proizvodnji instrumenata, zahvaljujući kojoj se odlikuju povećanom fleksibilnošću, te upotrebe više instrumenata tijekom rada, za razliku od recipročnih sustava koji koriste samo jedan instrument pri obradi cijelog korijenskog kanala. Međutim, niti jedan od ovih sustava nije u mogućnosti instrumentirati cijelu površinu korijenskog kanala, što ostavlja prostora rezidualnim bakterijama za njihov rast i što može uzrokovati reinfekciju endodontskog prostora (52). Promjene u proizvodnji i dizajnu instrumenta utječu i na otpornost na intrakanalni stres. Proces zagrijavanja kojem su podvrgnuti instrumenti tijekom proizvodnje, te naknadno savijanje, rezultirali su povećanom incidencijom plastične deformacije, koja je vidljiva kao odmotavanje reznih oštrica na površini instrumenta. Upravo ovo svojstvo omogućuje manju incidenciju lomova tijekom instrumentacije (64). Mali postotak deformacije i loma instrumenta također je zabilježen kod Reciproc (7) i WaveOne (28) sustava, međutim to je vjerojatno posljedica jednokratne upotrebe instrumenata, kako proizvođač preporučuje. S druge strane, TF Adaptive instrumenti su namijenjeni sterilizaciji te ponovnoj upotrebi (64). Dosadašnja istraživanja ne preporučuju upotrebu istog Ni-Ti instrumenta više od osam puta jer se na taj način povećava mogućnost

nastanka loma (86). Tijekom rada, TF Adaptive sustav uglavnom koristi rotacijske kretnje što mu omogućuje dostatnu reznu učinkovitost i napredovanje kroz korijenski kanal (65, 66). Pritom može doći do potiskivanja dentinskih strugotina, ostataka pulpnog tkiva i mikroorganizama kroz apeks što će rezultirati pojavom postoperativne boli (76). Prema Bürklein i sur. (33) recipročne tehnike značajno povećavaju količinu apikalno potisnutog debrisa te posljedično tome i povećanu incidenciju postoperativne boli. Recipročni pokret pri svom napredovanju kroz korijenski kanal koristi oštrice sa širim režućim kutom, dok se oslobađa koristeći užu kut, te na taj način ne izvlači debris u potpunosti nego ga potiskuje apikalno. Također, instrumentacija se provodi bez prethodnog proširivanja korijenskih kanala. Dok recipročne tehnike koriste isključivo pokrete u CCW smjeru, TF Adaptive većinu vremena radi koristeći pokrete rotacije, što mu omogućuje bolju reznu učinkovitost, ali i manju incidenciju potiskivanja debrisa apikalno. Posljedica toga je značajno manja pojavnost postoperativne boli (76). S druge strane, poboljšana fleksibilnost TF Adaptive instrumenata nije dovela do njegove superiornosti tijekom postupaka revizije u usporedbi s rotacijskim i recipročnim sustavima (83, 84).

Trenutno su nam na tržištu dostupni brojni endodontski instrumenti i tehnike instrumentacije, što govori u prilog tome da savršen sustav ili tehnika ne postoji. Kliničari mogu izabrati klasične čelične instrumente, rotacijske i recipročne, zvučne i ultrazvučne sustave kao i njihove kombinacije. Svaki od navedenih ima svoje prednosti i nedostatke. Stoga je na kliničaru da odabere instrumente i tehniku uz koje će postići najbolje moguće ishode liječenja (87). Kao novitet na tržištu pojavio se i TF Adaptive koji nudi brojne prednosti: superelastičnost, visoku otpornost na torzijsko opterećenje, manji stupanj protruzije debrisa apikalno, bolju adaptaciju instrumenta u korijenskom kanalu.

5. ZAKLJUČAK

TF Adaptive sistem instrumentacije kanala temelji se na specijalno dizajniranom algoritmu unutar stroja koji prepoznaje izloženost instrumenta stresu unutar kanala te ovisno o tome koristi rotacijsku kretnju kada instrument nije podvrgnut stresu, odnosno mijenja kretnju u recipročnu kada je prisutan stres. TF Adaptive instrumenti su jedinstveni Ni-Ti instrumenti dobiveni tehnikom uvijanja s visokim stupnjem poliranosti i fleksibilnosti. Kao rezultat, TF Adaptive tehnika instrumentacije je sigurna tehnika s visokom reznom učinkovitošću u rotacijskoj kretnji i minimalnim potiskivanjem debrisa kroz apikalni otvor.

6. LITERATURA

1. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topic*. 2005;1:30-76.
2. Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod*. 1988;14:346–51.
3. Happalaso M, Shen Y. Evolution of nickel–titanium instruments: from past to future. *Endod Topic*. 2013;29:3–17.
4. Aydin U, Aksoy F, Karataslioglu E, Yildirim C. Effect of ethylenediaminetetraacetic acid gel on the incidence of dentinal cracks caused by three novel nickel-titanium systems. *Aust Endod J*. 2015;41:104–10.
5. Gambarini G, Glassman G. TF Adaptive: A novel approach to nickel-titanium instrumentation “Rotary when you want it, reciprocation when you need it”. Healthcare learning website [Internet]. London: Healthcare learning; 2013 [cited 2013 May 1]. Available from: <https://www.oralhealthgroup.com/features/tf-adaptive-a-novel-approach-to-nickel-titanium-instrumentation-rotary-when-you-want-it/>.
6. Grande NM, Ahmed HM, Cohen S, Bukiet F, Plotino G. Current Assessment of reciprocation in endodontic preparation: A comprehensive review-Part I: Historic perspectives and current applications. *J Endod*. 2015 Nov;41(11):1778-83.
7. Plotino G, Grande NM, Porciani PF. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. *Int Endod J*. 2015 Feb;48(2):199-205.
8. Plotino G, Ahmed HM, Grande NM, Cohen S, Bukiet F. Current Assessment of Reciprocation in Endodontic Preparation: A Comprehensive Review-Part II: Properties and Effectiveness. *J Endod*. 2015;41(12):1939-50.
9. Liu W, Wu B. Root canal surface strain and canal center transportation induced by 3 different nickel-titanium rotary instrument systems. *J Endod*. 2016 Feb;42(2):299-303.
10. Berutti E, Chiandussi G, Paolino DS, Scotti N, Cantatore G, Castellucci A et al. Canal shaping with WaveOne Primary reciprocating files and ProTaper system: a comparative study. *J Endod*. 2012;38:505–9.
11. Pereira ES, Gomes RO, Leroy AM, Singh R, Peters OA, Bahia MG et al. Mechanical behavior of M-Wire and conventional NiTi wire used to manufacture rotary endodontic instruments. *Dent Mater*. 2013 Dec;29(12):318-24.
12. Yared G, Ramli GA. Single file reciprocation: A literature review. *ENDO (Lond Engl)*. 2013;7(3):171-8.
13. Webber J. Shaping canals with confidence: WaveOne GOLD single-file reciprocating system. Dental Tribune UK & Ireland website [Internet]. UK: Dental Tribune UK &

- Ireland; 2015 [cited 2015 Nov 11]. Available from: <https://uk.dental-tribune.com/news/shaping-canals-with-confidence-waveone-gold-single-file-reciprocating-system-2/>.
14. Elsaka SE, Elnaghy AM, Badr AE. Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments. *Int Endod J*. 2017 Nov;50(11):1077-83.
 15. Cassim I. A novel use of the Reciproc R25 endodontic file for root canal obturation. *SADJ*. 2014 Nov;69(10):458-62.
 16. Ye J, Gao Y. Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod*. 2012;38(1):105-7.
 17. Al-Hadlaq SM, Aljarbou FA, Al Thumairy RI. Evaluation of cyclic flexural fatigue of M-wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2010;36(2):305-7.
 18. Plotino G, Giansiracusa Rubini A, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cutting efficiency of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *J Endod*. 2014 Aug;40(8):1228-30.
 19. De-Deus G, Arruda TE, Souza EM, Neves A, Magalhães K, Thuanne E et al. The ability of the Reciproc R25 instrument to reach the full root canal working length without a glide path. *Int Endod J*. 2013 Oct;46(10):993-8.
 20. Yılmaz K, Özyürek T. Cyclic fatigue life of Tango-Endo, WaveOne GOLD, and reciproc NiTi instruments. *Restor Dent Endod*. 2017 May;42(2):134-9.
 21. Yared G. Reciproc blue: the new generation of reciprocation. *Giornale Italiano di Endodonzia*. 2017 Nov;31(2):96-101.
 22. De-Deus G, Silva EJ, Vieira VT, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the Reciproc files. *J Endod*. 2017 Mar;43(3):462-66.
 23. Varela-Patiño P, Ibañez-Párraga A, Rivas-Mundiña B, Cantatore G, Otero XL, Martín-Biedma B. Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect on instrument life. *J Endod*. 2010 Jan;36(1):157-9.
 24. De-Deus G, Moreira E JL, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int Endod J*. 2010 Dec;43(12):1063-8.

25. Wan J, Rasimick BJ, Musikant BL, Deutsch AS. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. *Aust Endod J.* 2011; 37:122–7.
26. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J.* 2012;45:614-8.
27. Bueno CSP, Oliveira DP, Pelegrine RA, Fontana CE, Rocha DGP, Bueno CEDS. Fracture incidence of WaveOne and Reciproc files during root canal preparation of up to 3 posterior teeth: A prospective clinical study. *J Endod.* 2017 May;43(5):705-8.
28. Shen Y, Coil JM, Mo AJ, Wang Z, Hieawy A, Yang Y et al. WaveOne rotary instruments after clinical use. *J Endod.* 2016 Feb;42(2):186-9.
29. Bürklein S, Hinschitza K, Dammaschke T, Schäfer E. 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. *Int Endod J.* 2012;45:449-61.
30. Dietrich M, Kirkpatrick T, Yaccino J. In vitro canal and isthmus debris removal of the Self-Adjusting File, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars. *J Endod.* 2012;38:1140-4.
31. Poggio C, Dagna A, Chiesa M, Beltrami R, Colombo M. Effects of Ni Ti rotary and reciprocating instruments on debris and smear layer scores: an SEM evaluation. *J Appl Biomater Funct Mater.* 2014 Dec;12(3):256-62.
32. Van der Vyver PJ, Jonker C. Reciprocating instruments in endodontics: a review of the literature. *SADJ.* 2014 Oct;69(9):404-9.
33. Bürklein S, Schäfer E. Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. *J Endod.* 2012;38:850-2.
34. Nayak G, Singh I, Shetty S, Dahiya S. Evaluation of apical extrusion of debris and irrigant using two new reciprocating and one continuous rotation single file systems. *J Dent (Tehran).* 2014 May;11(3):302-9.
35. Xavier F, Nevares G, Romeiro MK, Gonçalves K, Gomihno L, Albuquerque D. Apical extrusion of debris from root canals using reciprocating files associated with two irrigation systems. *Int Endod J.* 2014;47:1-5.
36. Machado MEL, Nabeshima CK, Leonardo MFP, Reis FAS, Britto MLB, Cai S. Influence of reciprocating single-file and rotary instrumentation on bacterial reduction on infected root canals. *Int Endod J.* 2013;46:1083-87.

37. Martinho FC, Gomes APM, Fernandes AMM, Ferreira NS, Endo MS, Freitas LF et al. Clinical comparison of the effectiveness of single-file reciprocating systems and rotary systems for removal of endotoxins and cultivable bacterial from primarily infected root canals. *J Endod.* 2014;40:625-9.
38. Ferrer-Luque CM, Bejarano I, Ruiz-Linares M, Baca P. Reduction in *Enterococcus faecalis* counts – a comparison between Rotary and reciprocating systems. *Int Endod J.* 2014;47:380-6.
39. Lim YJ, Park SJ, Kim HC, Min KS. Comparison of the centering ability of WaveOne and reciproc nickel titanium instruments in simulated curved canals. *Rest Dent Endod.* 2013;38:21-5.
40. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod.* 2013 Apr;39(4):501-4.
41. Berutti E, Chiandussi G, Paolino DS, Scotti N, Cantatore G, Castellucci A et al. Effect of canal length and curvature on working length alteration with WaveOne reciprocating files. *J Endod.* 2011 Dec;37(12):1687-90.
42. Park SK, Kim JY, Shon WJ, You SY, Moon YM, Kim HC et al. Clinical efficiency and reusability of the reciprocating nickel-titanium instruments to the root canal anatomy. *Scanning.* 2013 Mar-Apr;36(2):246-51.
43. Zuolo AS, Mello JE Jr, Cunha RS, Zuolo ML, Bueno CE. Efficacy of reciprocating and rotary techniques for removing filling material during root canal retreatment. *Int Endod J.* 2013 Oct;46(10):947-53.
44. Silva EJ, Orłowsky NB, Herrera DR, Machado R, Krebs RL, Coutinho-Filho Tde S. Effectiveness of rotatory and reciprocating movements in root canal filling material removal. *Braz Oral Res.* 2015 Dec;29(1):1-6.
45. Schäfer E, Dammaschke T. Development and sequelae of canal transportation. *Endod Top.* 2006 Nov;15(1):75–90.
46. Walsch H. The hybrid concept of nickel–titanium rotary instrumentation. *Dent Clin North Am.* 2004 Jan;48(1):183-202.
47. Gambarini G, Testarelli L, De Luca M, Milana V, Plotino G, Grande NM et al. Influence of three different instrumentation techniques on the incidence of postoperative pain after endodontic treatment. *Ann Stomatol.* 2013;1:138-41.
48. Anderson ME, Price JW, Parashos P. Fracture resistance of electropolished rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 2007;33:1212–6.

49. Srivastava S, Alghadouni MA, Alotheem HS. Current strategies in metallurgical advances of rotary NiTi instruments: A review. *J Dent Health Oral Disord Ther.* 2018 Feb;9(1):75-80.
50. Gambarini G, Grande NM, Plotino G. Fatigue resistance of engine driven rotary nickel-titanium instruments produced by newer manufacturing methods. *J Endod.* 2008;34:1003–5.
51. Gergi R, Arbab-Chirani R, Osta N, Naaman A. Micro-computed tomographic evaluation of canal transportation instrumented by different kinematics rotary nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2014 Aug;40(8):1223-7.
52. Gergi R, Osta N, Bourbouze G, Zgheib C, Arbab-Chirani R, Naaman A. Effects of three nickel titanium instrument systems on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2015 Feb;48(2):162-70.
53. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Duarte MA, Cavenago BC, Jaramillo D, Versiani MA. Shaping ability of Reciproc and TF adaptive systems in severely curved canals of rapid microCT-based prototyping molar replicas. *J Appl Oral Sci.* 2014 Nov-Dec;22(6):509-15.
54. Silva EJ, Tameirão MD, Belladonna FG, Neves AA, Souza EM, De-Deus G. Quantitative transportation assessment in simulated curved canals prepared with an adaptive movement system. *J Endod.* 2015 Jul;41(7):1125-9.
55. Silva EJNL, Pacheco PT, Pires F, Belladonna FG, De-Deus G. Microcomputed tomographic evaluation of canal transportation and centring ability of ProTaper Next and Twisted File Adaptive systems. *Int Endod J.* 2017 Jul;50(7):694-99.
56. Capar ID, Ertas H, Ok E, Arslan H, Ertas ET. Comparative study of different novel nickel-titanium rotary systems for root canal preparation in severely curved root canals. *J Endod.* 2014 Jun;40(6):852-6.
57. Pedullà E, Plotino G, Grande NM, Avarotti G, Gambarini G, Rapisarda E et al. Shaping ability of two nickel-titanium instruments activated by continuous rotation or adaptive motion: a micro-computed tomography study. *Clin Oral Investig.* 2016 Nov;20(8):2227-33.
58. Andrade-Junior CV, Neto ND, Rodrigues RC, Antunes HS, Porpino MT, Carvalhal JA et al. Transportation assessment in simulated curved canals after preparation with Twisted File Adaptive and BT-Race instruments. *J Clin Exp Dent.* 2017 Sep;9(9):1136-40.

59. Lopes RMV, Marins FC, Belladonna FG, Souza EM, De-Deus G, Lopes RT et al. Untouched canal areas and debris accumulation after root canal preparation with rotary and adaptive systems. *Aust Endod J.* 2017 Sep 20.
60. Rodrigues RC, Antunes HS, Neves MA, Siqueira JF Jr, Rôças IN. Infection control in retreatment cases: In vivo antibacterial effects of 2 instrumentation systems. *J Endod.* 2015 Oct;41(10):1600-5.
61. Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *J Endod.* 2012 Apr;38(4):541-4.
62. Higuera O, Plotino G, Tocci L, Carrillo G, Gambarini G, Jaramillo DE. Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals. *J Endod.* 2015 Jun;41(6):913-5.
63. Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod.* 2006 Nov;32(11):1031-43.
64. Gambarini G, Piasecki L, Di Nardo D, Miccoli G, Di Giorgio G, Carneiro E et al. Incidence of deformation and fracture of Twisted File Adaptive instruments after repeated clinical use. *J Oral Maxillofac Res.* 2016 Dec 28;7(4):e5.
65. Gambarini G, Giansiracusa Rubini A, Sannino G, Di Giorgio G, Piasecki L, Al-Sudani D et al. Cutting efficiency of nickel-titanium rotary and reciprocating instruments after prolonged use. *Odontology.* 2016 Jan;104(1):77-81.
66. Tocci L, Plotino G, Al-Sudani D, Rubini AG, Sannino G, Piasecki L et al. Cutting efficiency of instruments with different movements: a comparative study. *J Oral Maxillofac Res.* 2015 Mar 30;6(1):e6.
67. Pedrinha VF, Brandão JMDS, Pessoa OF, Rodrigues PA. Influence of file motion on shaping, apical debris extrusion and dentinal defects: A critical review. *Open Dent J.* 2018;12:189–201.
68. Karataş E, Arslan H, Alsancak M, Kırıcı DÖ, Ersoy İ. Incidence of dentinal cracks after root canal preparation with Twisted File Adaptive instruments using different kinematics. *J Endod.* 2015 Jul;41(7):1130-3.
69. Özyürek T, Tek V, Yılmaz K, Uslu G. Incidence of apical crack formation and propagation during removal of root canal filling materials with different engine driven nickel-titanium instruments. *Restor Dent Endod.* 2017 Nov;42(4):332-41.

70. Kesim B, Sagsen B, Aslan T. Evaluation of dentinal defects during root canal preparation using thermomechanically processed nickel-titanium files. *Eur J Dent.* 2017 Apr-Jun;11(2):157-61.
71. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu MK, Shemesh H. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod.* 2013 Aug;39(8):1054-6.
72. Gergi RM, Osta NE, Naaman AS. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, Reciproc and WaveOne instruments. *Eur J Dent.* 2015 Oct-Dec;9(4):508-12.
73. Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı DÖ, Arslan H, Topçu MÇ, Yeter KY. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *J Endod.* 2015 Feb;41(2):261-4.
74. Zhou X, Jiang S, Wang X, Wang S, Zhu X, Zhang C. Comparison of dentinal and apical crack formation caused by four different nickel-titanium rotary and reciprocating systems in large and small canals. *Dent Mater J.* 2015;34(6):903-9.
75. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJ, Neves Ade A, Alves H et al. Micro-computed tomographic assessment on the effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive systems on dentinal cracks. *J Endod.* 2015 Jul;41(7):1116-9.
76. Gambarini G, Testarelli L, De Luca M, Milana V, Plotino G, Grande NM et al. The influence of three different instrumentation techniques on the incidence of postoperative pain after endodontic treatment. *Ann Stomatol.* 2013 Mar 20;4(1):152-5.
77. Yılmaz K, Özyürek T. Apically extruded debris after retreatment procedure with Reciproc, ProTaper Next, and Twisted File Adaptive instruments. *J Endod.* 2017 Apr;43(4):648-51.
78. Kirchhoff AL, Fariniuk LF, Mello I. Apical extrusion of debris in flat-oval root canals after using different instrumentation systems. *J Endod.* 2015 Feb;41(2):237-41.
79. Boijink D, Costa DD, Hoppe CB, Kopper PMP, Grecca FS. Apically extruded debris in curved root canals using the WaveOne Gold reciprocating and Twisted File Adaptive systems. *J Endod.* 2018 Aug;44(8):1289-92.
80. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Ertas H. An in vitro comparison of apically extruded debris and instrumentation times with ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File Adaptive, and HyFlex instruments. *J Endod.* 2014 Oct;40(10):1638-41.

81. Dincer AN, Guneser MB, Arslan D. Apical extrusion of debris during root canal preparation using a novel nickel-titanium file system: WaveOne gold. *J Conserv Dent.* 2017 Sep-Oct;20(5):322-25.
82. Karataş E, Arslan H, Kırıcı DÖ, Alsancak M, Çapar ID. Quantitative evaluation of apically extruded debris with Twisted File Adaptive instruments in straight root canals: reciprocation with different angles, adaptive motion and continuous rotation. *Int Endod J.* 2016 Apr;49(4):382-5.
83. Akbulut MB, Akman M, Terlemez A, Magat G, Sener S, Shetty H. Efficacy of Twisted File Adaptive, Reciproc and ProTaper Universal retreatment instruments for root-canal-filling removal: A cone-beam computed tomography study. *Dent Mater J.* 2016;35(1):126-31.
84. Özyürek T, Demiryürek EÖ. Efficacy of different nickel-titanium instruments in removing gutta-percha during root canal retreatment. *J Endod.* 2016 Apr;42(4):646-9.
85. Çapar ID, Arslan H. A review of instrumentation kinematics of engine-driven nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2016 Feb;49(2):119-35.
86. Patino PV, Biedma BM, Liebana CR, Cantatore G, Bahillo JG. The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod.* 2005;31:114–6.
87. Deutsch AS. Endodontic insight: Two-instrument shaping for endodontic instrumentation techniques. *Dentistry iQ website [Internet]. Oklahoma: Dentistry iQ; 2016 [cited 2016 July 5]. Available from: <https://www.dentistryiq.com/articles/2016/07/endodontic-insight-two-instrument-shaping-for-endodontic-instrumentation-techniques.html>.*

7. ŽIVOTOPIS

Marija Antunović rođena je 14. 9. 1993. u Hanau, Njemačka. Po završetku osnovne i srednje škole u Splitu upisuje 2012. godine Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom studija sudjelovala je u Projektu za promociju oralnog zdravlja slijepih i slabovidnih osoba te brojnim drugim volonterskim studentskim aktivnostima. Bila je student demonstrator na kolegijima Morfologija zubi s dentalnom antropologijom i Pretkliničkoj i laboratorijskoj mobilnoj protetici. U 2017. godini osvojila je Rektorovu nagradu u kategoriji individualnog znanstvenog istraživačkog rada iz područja endodoncije. Aktivno se služi engleskim i njemačkim jezikom.

Objavljeni radovi:

1. Antunović M, Bago I. Hibridna tehnika instrumentacije korijenskih kanala - Twisted File Adaptive. Sonda 2017;18(34):38-40.
2. Antunović M, Babić B, Jukić Krmek S. Minimalno invazivna endodoncija. Sonda 2017;18(34):29-32.