

Klasifikacija strojnih endodontskih sustava prema generacijama

Mirjam Bernatović dr. med. dent.¹
 Ana Sandrić dr. med. dent.¹
 prof. dr. sc. Silvana Jukić Krmek¹

[1] Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju

Uvod

Težnja da se olakša, vremenski i manualno, zahtjevna instrumentacija korijenskih kanala seže u pred kraj 19. stoljeća kada Oltramare prvi izrađuje instrument kojim se strojno obrađuje korijenski kanal. Ti su instrumenti bili pravokutnog presjeka te su se pasivno umetali do apikalnog foramena u korijenski kanal nakon čega bi započela rotacija (5). Već je 1889. godine William H. Rollins proizveo prvi motor za strojnu instrumentaciju. Koristio je posebno dizajnirane instrumente koji su se umetali u motor s rotacijom od 360 stupnjeva. Kako bi se izbjegao lom instrumenata, brzina je rotacije bila ograničena na 100 okr/min.

Zatim je 1928. proizveden „Cursor filing contra-angle“ koji je koristio kombiniranu rotacijsku i vertikalnu kretnju instrumenta. Upotreba je endodontskih motora u Europi postala popularna pojavom Racer (s vertikalnim kretnjama) i Giromatic (s recipročnim 90° rotacijama) sustava. Ti su motori radili s ograničenim rotacijskim i vertikalnim pokretima i koristili su instrumente napravljene od čelika (6).

Doba modificiranih sustava počinje s „The Canal Finder“ sistemom koji je prvi imao djelomično fleksibilne kretnje. Amplituda vertikalnog pomaka ovisila je o brzini rotacije i otporu instrumenta unutar kanala te bi se, s povećanjem otpora, vertikalna kretnja mijenjala u rotacijsku kretnju od 90°. To je bio pokušaj da anatomija kanala bude glavni čimbenik koji utječe na kretnju instrumenta unutar kanala (6).

Međutim, tek uvođenjem nikal titanske legure (NiTi) započinja era prave strojne endodoncije. Čelični su instrumenti neelastični te su često dovodili

do proceduralnih pogrešaka tijekom strojne obrade kao što je lom instrumenta, stepenica ili prekomjerno širenje kanala. Iz tih razloga, njihova primjena u strojnoj obradi nije zaživjela u kliničkoj praksi. Ni-Ti slitine nazivaju se još i „Nitinol“ (Ni – nikal, Ti – titan, NOL – Naval Ordnance Laboratory) te su proizvedene 1960. u istoimenom laboratoriju u Silver Springsu, SAD (2). NiTi slitina pokazuje svojstvo super-elastičnosti i svojstvo pamćenja oblika (4). NiTi legura može biti u tri različite kristalične strukture: martenzit, stresom potaknut martenzit i austenit. Kad se legura nalazi u martenzitičnom obliku, ona je mekana, rastezljiva i lako se može deformirati. Martenzit potaknut stresom je jako elastičan oblik, dok je austenit poprilično čvrst i tvrd (Srivastava). Austenit je stabilan na višim temperaturama, a martenzit je stabilan na nižim, približno sobnim temperaturama. Prijelaz iz austenitne u martenzitnu kristaličnu strukturu događa se i pod djelovanjem sila pri čemu nastaje stresom potaknut martenzit. Walia i suradnici su, 1988. godine, predložili Nitinol za oblikovanje kanala, jer su instrumenti jednakih veličina 2 do 3 puta fleksibilniji u usporedbi s nehrđajućim čelikom (3). Njihova elastičnost omogućava prilagodbu instrumenta zakrivljenim dijelovima kanala s manjom tendencijom stvaranja stepenice ili perforacije kanala. No, to nam svojstvo onemogućava njihovo savijanje prije uvođenja u kanal. Modul elastičnosti Ni-Ti legura znatno je niža od modula elastičnosti čelika, pa su sile na stijenke dentin prilikom instrumentacije puno manje. Nedostatak im je slabija rezna učinkovitost, no to se svojstvo u strojnoj obradi kanala nadoknađuje brojem rotacija.

Kako strojni sustavi na tržištu postoje

već gotovo tri desetljeća, nužno su se razvijali brojni sustavi s poboljšanom metalurgijom i oblikom instrumenata. Usto, javila se potreba za njihovom sistematizacijom. Uzimajući u obzir generacije, kinematiku kretnje i broj instrumenta, sustavi se mogu podijeliti na nekoliko načina. U nastavku rada iznosi prikazuje se podjela strojnih endodontskih sustava po generacijama.

1. generacija

Prvi je rotacijski 2% konusni Ni-Ti instrument dizajnirao 1992. dr. John McSpadden. No, veliki je nedostatak tih instrumenata bio njihov čest lom. Dvije je godine zatim, 1994. dr. Johnson predstavio ProFile instrumente s 4% konicitetom. Oni su izrađeni glodanjem, a poprečni presjek je u obliku tri jednako razmaknuta utora U-oblika oko osovine konusne Ni-Ti žice. Ti instrumenti nemaju rezne bridove već rezne plohe, što im omogućuje bolje praćenje oblika kanala i manju sklonost zaglavljivanju instrumenta, no zbog većih sila kojim te plohe djeluju na stijenke kanala češći je lom instrumenata. Dr. Johnson je prekršio tradiciju 2% konusnih instrumenata, a zajedno s dr. McSpaddenom proglašen je ocem NiTi rotirajućih instrumenata. Nakon toga slijedi niz rotirajućih instrumenata kao što su: LightSpeed (Dr. Steve Senia i Dr. William Wildey), Quantec (Dr. John McSpadden) i ProFile Greater Taper (GT, dr. Steve Buchanan). Svi instrumenti prve generacije imali su pasivne rezne plohe i jednak konicitet duž cijele radne dužine te su zahtijevale promjenu velikog broja instrumenata za postizanje željenog oblika korijenskog kanala (Slika 1). Njima se kanali obrađuju Crown-down tehnikom pri čemu se prvo instrumentira cervikalna, potom srednja trećina, te naposljetku,

apikalna trećina.

2. generacija

Ova generacija NiTi strojnih instrumenata razlikuje se od prethodne u aktivnim reznim bridovima te potrebom za manjim brojem instrumenata za potpunu obradu kanala. Sklonost zaglavljivanja instrumenta u dentinu zbog aktivnih reznih bridova nastoji se umanjiti manjim spiralnim kutom (kut između reznog brida i uzdužne osi instrumenta) i promjenjivom širinom utora. Ovdje spadaju ProTaper (Dentsply Tulsa) instrumenti koji, za razliku od svih pasivnih ili aktivnih NiTi instrumenata, imaju višestruka povećanja i smanjenja koniciteta na jednom instrumentu. ProTaper sustav izvorno obuhvaća samo tri instrumenta za oblikovanje (S1 i S2) i tri završna instrumenta (F1, F2 i F3). ProTaper Universal set se nadopunjuje s dva veća instrumenta za završnu obradu s većim apikalnim promjerom i setom za reviziju. Poprečni presjek završnih F3, F4 i F5 instrumenata neznatno je smanjen da bi se osigurala povećana fleksibilnost. Svaki instrument doseže apikalnu granicu preparacije, a pritom se, zbog njihovog dizajna, instrumentiraju različiti dijelovi kanala. Tako primjerice, S1 instrument koji svojim oblikom podsjeća na Eiffelov toranj, premda doseže punu radnu duljinu, zbog svog oblika instrumentira prvenstveno cervikalnu trećinu. Na taj način dizajn instrumenta omogućuje Crown-down tehniku zbog različitog koniciteta na pojedinim dijelovima instrumenta (Slika2).

Za razliku od prve generacije, rezni kutovi instrumenata su pozitivni što im daje veću reznju učinkovitost (npr.



Slika 1. ProFile instrumenti (Dentsply Maileffer, Švicarska) s promjerom vrha 0,25 mm (#25) i koniciteta 0,04 i 0,06 i Orifice Shaper (#40/0,06)

Quantec).

Kako bi se smanjilo zaglavljivanje instrumenta u dentinu zbog učinka urezivanja, a koje je povezano s aktivnim reznim bridom, na tržištu su se pojavili instrumenti s asimetričnim bridovima koji naizmjenice dodiruju stijenke kanala. U tu skupinu spadaju K3 SybronEndo, EndoSequence i BioRaCe NiTi instrumenti. Proizvođači tvrde da su na taj način instrumenti više centrirani u kanalu, fleksibilniji te da su zbog manjeg stresa otporniji na lom od prethodnih generacija. BioRaCe instrumenti se nakon završetka tradicionalnog procesa mljevenja podvrgavaju završnoj obradi (elektropoliranju) kako bi se smanjili nedostaci površine i poboljšala mehanička svojstva instrumenata.

3. generacija

Napredak u metalurškoj obradi NiTi legura obilježje je treće generacije endodontskih instrumenata. Od 2007. godine toplinska obrada je jedan od najvažnijih pristupa kojom se optimizira mikrostruktura legure. Time se mijenja temperatura prelaska NiTi legure iz austenita u martenzit što poboljšava elastičnost i otpornost na zamor endodontskih instrumenata. Razvijeno je nekoliko termomehaničkih postupaka te su proizvedene različite legure: M-Wire, R-phase legura i CM Wire.

M-Wire legura je proizvedena 2007. godine serijom toplinskih postupaka nad



Slika 2. ProTaper Universal set instrumenata (Dentsply Maileffer, Švicarska)

postojećom NiTi žicom. Od te legure prvi su proizvedeni ProFile GT Series X instrumenti koji se dizajnom neznatno razlikuju od prethodnika. ProFile Vortex je proizveden 2009., a razlikuje se od originalne Profile serije po reznim bridovima umjesto reznih ploha, dok su promjer vrha i koničnost isti. Vortex Blue je instrument sa specifičnom plavom bojom koja je rezultat odlaganja sloja titanijevog oksida na površini instrumenta. Taj relativno čvrsti površinski sloj nadoknađuje čvrstoću koja je manja kod instrumenta proizvedenih od M-Wire kao što je ProFile Vortex, čime se povećava reznja učinkovitost (2).

CM Wire, elastična NiTi legura s manjim postotkom nikla (52 Ni%) u odnosu na ostale NiTi legure, uvedena je u endodonciju 2010. godine. Ta se legura izrađuje posebnim termomehaničkim postupkom kojim se kontrolira svojstvo memorije što omogućuje savijanje instrumenta bez povratka u prvotni oblik. Instrumenti od CM Wire se mogu savinuti i tako savijeni unijeti u kanal. Od te legure izrađeni su HyFlex i TYPHOON CM. Zagrijavanjem se legura vraća u originalni oblik, a ako se deformacije na instrumentu ne poprave sterilizacijom, takav instrument treba odbaciti.

Izum R-phase legure 2008. godine omogućio je izradu instrumenta proizvedenih plastičnom deformacijom, procesu sličnom uvijanju koji se koristi za izradu većine K-strugača i proširivača od nehrđajućeg čelika. Tvrtka SybronEndo predstavila je prvi NiTi instrument proizveden od R-phase legure uvijanjem Twisted File (Slika 3). Ista tvrtka je unaprijedila svoj sustav K3 pretvarajući ga u K3XF instrumente izrađene od R-phase



Slika 3. Twisted Files (SybronEndo) veličine 25, koniciteta 0,08, 0,06 i 0,04

legure. Instrumenti su identični oblikom, a razlikuju se po tome što se K3XF podvrgavaju naknadnoj toplinskoj obradi.

4. generacija

Premda koncept recipročnih kretnji nije novost u endodonciji, punu pozornost stekao je 2008. kada je dr. Gassan Yared upotrijebio nejednaku recipročnu kretnju koristeći instrument iz serije ProTaper (F2 – 25/0,08) kako bi optimalno oblikovao gotovo svaki kanal. Za razliku od prethodnih recipročnih sustava kod kojih je opseg rotacije u jednom smjeru jednak opsegu rotacije u drugom smjeru, kod nejednakih recipročnih kretnji, kretnja obrnuta od kazaljke na satu (eng. *counterclockwise* – CCW) je obično nekoliko puta manja od one u smjeru kazaljke na satu (eng. *clockwise* – CW). Instrumenti su oblikovani tako da režu stijenku kanala u CCW smjeru, a u obrnutom smjeru se događa oslobađanje instrumenta. Na taj način se smanjuje stres na instrument tijekom obrade kanala.

Temeljem izuma dr. Yareda tijekom 2011. godine, tvrtke Dentsply i VDW izbacile su na tržište recipročne sustave WaveOne i Reciproc kojima se većina kanala oblikuje jednim instrumentom, a oba sustava su izrađena od M-Wire. Osim koncepta jedan instrument za kanal, preporuka proizvođača u ovoj generaciji je jednokratna primjena instrumenata.

WaveOne (Dentsply) sustav je, dizajnom, kombinacija druge i treće generacije, a koristi se s endo-motorom koji pokreće instrument u nejednake dvosmjerne kutove. Kut CCW (150) pet je puta veći od kutova CW (30) i dizajniran je da bude manji od elastičnog limita instrumenta. Nakon tri ciklusa rezanja CCW i CW, instrument će se okrenuti za 360 ° što omogućava lakši prodor, učinkovitije rezanje i bolje uklanjanje debrisa iz kanala. Dostupne su tri veličine instrumenata za obradu kanala različitog promjera: uski kanali – mali instrument (žuti 21/0,06), srednje široki kanali – primarni instrument (crveni 25/0,08) i široki kanali – veliki (crni 40/0,08). Značajka dizajna je obrnuta spirala i dva različita poprečna presjeka duž duljine njihovih aktivnih dijelova te nerežući vrh (Slika 4).

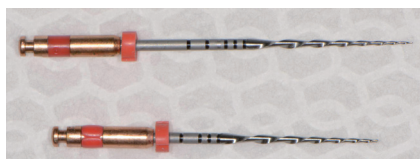
Reciproc (VDW) instrumenti imaju poprečni presjek u obliku slova S. Kratka radna dužina od 11 mm omogućava lakši pristup kutnjacima. Instrumenti se koriste u 10 ciklusa recipročnih pokreta u sekundi što rezultira približno 300 okr/min. Vrijednosti rotacija CCW i CW su različite: 150°/30°. Kada se instrument okreće u smjeru rezanja - CCW, prodirat će u kanal i uklanjati dentin, a kada se rotira u suprotnom smjeru – CW, instrument se oslobađa i izbacuje dentinski debris. Završni rezultat, koji se odnosi na

stupanj rotacije CW i CCW, napredak je instrumenta u kanalu bez rizika od učinka njegovog zaglavlivanja (Slika 5). Elastičnost verzija instrumenta nastala termičkom obradom legure kojom se uklanja svojstvo memorije te se instrument može savijati jest Reciproc Blue (Slika 6).

Premda ne koristi recipročnu kretnju, već vibracijsku, većina preglednih radova svrstava Samoprilagođavajući instrument (Self-adjusting file – SAF, ReDent-Nova, Izrael) u četvrtu generaciju. SAF predstavlja potpuno novi pristup u dizajnu i načinu rada. Instrument je šuplji cilindar tanke, nježne NiTi rešetke s lagano abrazivnom površinom. Šuplji instrument omogućuje istovremeno kontinuirano ispiranje kanala tijekom mehaničke obrade. Kada se umetne u korijenski kanal, SAF se, zbog elastične NiTi mreže, prilagođava trodimenzijskom obliku kanala, a abrazivna površina rešetkastih niti jednolično uklanja dentin (Slika 7). Instrument pokreće posebno konstruiran RDT3 ručni nastavak koji pretvara rotacijske kretnje mikromotora (5 000 okr/min) u vertikalne vibracije (5 000 vibr/min). Pri tome se ipak zadržava sposobnost rotacije kada instrument nije u tijesnom dodiru s dentinom, tj. kada se izvuče iz kanala. SAF se koristi u pokretima unutra-van, a blaga rotacija instrumenta, kada se vadi iz kanala, omogućuje ravnomjerno obuhvaćanje svih stijenki kanala.



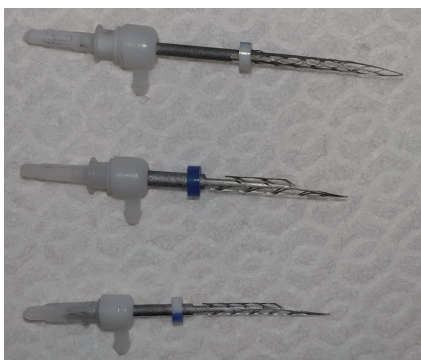
Slika 4. WaveOne Gold Primary instrument (Dentsply Maileffer, Švicarska)



Slika 5. Reciproc R25 duljine 31 i 25 mm (VDW, Munchen, Njemačka)



Slika 6. Reciproc Blue (VDW, Munchen, Njemačka)



Slika 7. Self Adjusting File (ReDent-Nova, Izrael), šuplji, ekspanzirajući instrument



Slika 8. (Dentsply Maileffer, Švicarska)



Slika 9. One Curve (Micro Mega, Besancon, Francuska)

Tablica 1. Karakteristike strojnih endodontskih instrumenata svrstanih prema generaciji.

Gen.	Naziv sustava	Legura	Min.br instr. za kanal	Uk. br. instrumenata u sustavu	Konicitet na vrhu	Kretnja	Poprečni presjek instrumenta
I.	ProFile	Ni-Ti	4	~	.02,.04,.08	rotirajuća	trostruki U oblik
	LightSpeed	Ni-Ti	~	~	.02	rotirajuća	trostruki U oblik
	Quantec	Ni-Ti	5	~	#15-60/.03,.04,.05,.06,.08,.10,.12	rotirajuća	dvostruki U oblik
	ProFile Greater Taper	Ni-Ti	~	~	#20-60/.04,.06	rotirajuća	trostruki U oblik
II.	ProTaper Universal	Ni-Ti	3	8(S1,2,SX,F1-5)	SX/.10,S1/.03,S2/.04,F1-3/.06	rotirajuća	konveksni trokut
	K3 SybronEndo	Ni-Ti	3	6 (#25-40)	#25(.10,.08,.06), #30-40/.06	rotirajuća	trostruki heliks
	EndoSequence	Ni-Ti	4	12 (XS/S,M,L)	.04,.06	rotirajuća	trostruki heliks
	BioRaCe NiTi	Ni-Ti	4	6(BR0-5)	BR0(25/08),BR1(15/05),BR2(25/04),BR3(25/06),BR4(35/04),BR5(40/04)	rotirajuća	trokutast
	ProFile Vortex	M-wire	3	12 (#15-50 / .04,.06)	#15-50 / .04,.06	rotirajuća	trokutast
III.	ProFile Vortex Blue	M-wire	3	12 (#15-50/.04,.06)	#15-50/.04,.06	rotirajuća	trokutast
	ProFile GT Series X	M-wire	3	8 (#20-40)	#20-40/.04,.06,.08	rotirajuća	trostruki U oblik
	HyFlex CM	CM-Wire	2	5 (#20-40)	#20/.04,.06, #25-40/.04	rotirajuća	trokutast, pravokutan
	Typhoon CM	CM-Wire	4	12 (#20-50)	#20-50/.04, #20-35/.06, #25/.08	rotirajuća	trokutast
	K3XF	R-phase NiTi	3	10 (#25-40)	#25/.10,.08, #25-40/.06,.04	rotirajuća	trostruki heliks
IV.	Wave One	M-wire	1	3 (Small,Primary,Large)	S (21/06), P(25/08), L(40/08)	recipročna	trostruki heliks
	Wave One Gold	M-wire + gold thermal treatment	1	4 (Small, Primary, Medium, Large)	S(20/07), P(25/07), M(35/06), L(45/05)	recipročna	pravokutan
	Reciproc	M-wire	1	3 (R25, R40, R50)	R25(.08), R40(.06), R50(.05)	recipročna	S-oblik
	Reciproc Blue	M-wire + blue thermal treatment	1	3 (R25, R40, R50)	R25(.08), R40(.06), R50(.05)	recipročna	S-oblik
	SAF	Ni-Ti	1			vibracijska	
V.	Revo-S	M-wire	3	3(SC1,SC2,SC)+3(AS30,AS35,AS40)	SC1,SC(25/06),SC2(25/04),AS30,AS35,AS40(.06)	rotirajuća	asimetričan
	2 Shape	T-wire	1	2 (TS1, TS2)	TS1 (25/.04), TS2 (25/.06)	rotirajuća	asimetričan
	One Shape	Ni-Ti	1	1(#25)	#25/.06	rotirajuća	trostruki U-S oblik
	One Curve	C-Wire	1	1 (#25)	#25/.06	rotirajuća	trostruki U-S oblik
	ProTaperNext	M-wire	2	5 (X1, X2,X3,X4, X5)	X1(17/4),X2(25/6),X3(30/7),X4(40/6),X5(50/6)	rotirajuća	pravokutan

5. generacija

Peta generacija strojnih endodontskih instrumenta oblikovana je tako da su središte mase i/ili središte rotacije ekscentrični. U rotaciji, instrumenti koji imaju ekscentrični dizajn proizvode mehanički val kretanja koji putuje duž njihove aktivne duljine te se na taj način smanjuje doticaj instrumenta i dentina tijekom preparacije kanala.

Najznačajniji predstavnici pete generacije su Revo-S (Micro-Mega), One Shape (Micro-Mega) i ProTaper Next (Dentsply). ProTaperNext instrumenti su izrađeni od M-Wire legure, a imaju pravokutni presjek žice što im omogućuje ekscentrično središte rotacije. Pritom je zadržan progresivni konicitet originalne ProTaper serije tako da se na različitim dijelovima jednog instrumenta nalaze različiti koniciteti. Ekscentrični dizajn smanjuje vjerojatnost potiskivanja dentinske piljevine prema apeksu čime se smanjuje mogućnost nastanka blokade korijenskog kanala i neželjeno zaglavljivanje instrumenta tj. učinak uvijanja (Slika 8).

Revo-S sustav sastoji se od tri instrumenta SC1, SC2 i SU. Tri rezna brida smještene su na tri različita radijusa u odnosu na uzdužnu os. Asimetrični poprečni presjek olakšava prodiranje kroz kanal "zmijolikim" pokretom što smanjenje torzijsko naprezanja instrumenta. Instrumenti se razlikuju svojim oblikom


i poprečnim presjekom. SC1 instrument ima različit konicitet uzduž radnog dijela što olakšava uklanjanje dentinskog debrisa i učinkovitije čišćenje. Manji promjer tog instrumenta omogućava veću fleksibilnost, lakše prodiranje kroz kanal i savladavanje zapreka. SC2 ima stalan konicitet 0,04 i 3 identična rezna brida koja omogućuju sigurno vođenje instrumenta do apikalne regije zahvaljujući ravnoteži sila. Progresivni razmak između utora uklanjanja mogućnost zaglavljivanja. SU zaglađuje stijenke kanala, a zahvaljujući svom asimetričnom presjeku rekapitulira djelovanje SC1 i SC2. Dentinski debris usmjerava koronarno i time poboljšava učinak čišćenja. Proizvođač tvrdi da instrumenti djeluju u tri ciklusa: rezanje, eliminacija dentinskog debrisa i čišćenje.

One Shape (Micro-Mega, Besançon, France) je jedini „singl- file“ NiTi instrument u kontinuiranoj rotaciji prilikom preparacije korijenskog kanala što znači da je samo jedan instrument dovoljan za obradu čitavog kanala (Slika 9). One Shape instrument ima promjenjiv presjek duž radnog dijela koji ima optimalnu reznu učinkovitost u sva tri dijela kanala. Prva zona 2 mm ima 3 varijabilna rezna brida koja omogućavaju centrirani prodor prema apeksu. Istovremeno, instrument slijedi početni oblik kanala i zavoje zahvaljujući ne-režućem vrhu. Druga zona dugačka 7,5 mm se progresivno mijenja iz 3 u dva rezna

brida, a treća zona dugačka 7,5 mm ima dva simetrična, pozitivna rezna brida za učinkovito uklanjanje dentinskog debrisa.

Nova verzija One Shape instrumenta je One Curve (Micro-Mega, Besançon, France). Karakterizira ga isti varijabilni presjek kao kod prethodnika, no razlikuju se prema vrsti legure od koje su izrađeni. One Curve je izrađen od posebne C.Wire legure koja uklanja svojstvo memorije klasičnih NiTi legura. To omogućuje savijanje instrumenta što olakšava njegovo unošenje u udaljene kanale te lakše slijeđenje zavoja unutar kanala (Slika 10).

Zaključak

Od samih početaka endodoncije do danas, razvijene su brojne teorije, tehnike i načini preparacije korijenskih kanala. Razvojem nikal-titanskih legura tijekom devedesetih godina prošlog stoljeća uvodi se u praksu strojna instrumentacija. Poznavanje klasifikacije strojnih instrumenata prema generacijama nužno je tijekom obrade korijenskih kanala kako bi se omogućio ispravan izbor instrumenta prema kliničkim zahtjevima svakog pojedinog kanala. Premda novije generacije instrumenata omogućuju sigurniji i brži rad, neka od svojstava instrumenata starijih generacija kao što je npr. centriranost obrade kanala kod prve generacije mogu biti od pomoći prilikom obrade zahtjevnih kanala. 

LITERATURA

- Grossman L. Endodontics 1776-1976: A bicentennial history against the background of general dentistry. J Am Dent Assoc. 1976;93(1):78-87.
- Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. Endodon Top. 2005;10:30-76.
- Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG. The 'balanced force' concept for instrumentation of curved canals. J Endod. 1985;11(5):203-11.
- Shafer E. Root canal instruments for manual use: a review. Endod Dent Traumatol. 1997;13(2):51-64.
- Srivastava S. Current Strategies in Met-

- allurgical Advances of Rotary NiTi Instruments: A Review. J Dent Health Oral Disord Ther 2018;9(1):00333
- Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. J Endod. 1988;14(7):346-51.
- Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. Int Endod J. 2008;41(4):339-44.
- Grossman L. Endodontics 1776-1976: A bicentennial history against the background of general dentistry. J Am Dent Assoc. 1976;93(1):78-87.
- Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. Endodon Top. 2005;10:30-76.
- Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG.

- The 'balanced force' concept for instrumentation of curved canals. J Endod. 1985;11(5):203-11.
- Shafer E. Root canal instruments for manual use: a review. Endod Dent Traumatol. 1997;13(2):51-64.
- Srivastava S. Current Strategies in Metallurgical Advances of Rotary NiTi Instruments: A Review. J Dent Health Oral Disord Ther 2018;9(1):00333
- Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. J Endod. 1988;14(7):346-51.
- Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. Int Endod J. 2008;41(4):339-44.