

Biološki aspekti obrade korijenskih kanala

Jukić, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, School of Dental Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:127:300647>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb School of Dental Medicine Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Martina Jukić

BIOLOŠKI ASPEKTI OBRADJE KORIJENSKIH KANALA

Diplomski rad

Zagreb, 2020.

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

Mentor rada: prof. dr. sc. Silvana Jukić Krmek

Lektor hrvatskog jezika: Doris Babić, mag. edu. hrv. jezika i književnosti

Lektor engleskog jezika: Maja Božiković, mag. edu. eng. i hrv. jezika i književnosti

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 38 stranica

2 tablice

1 CD

Rad je vlastito autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni doprinos autora poslijediplomskog specijalističkog 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

Veliko hvala mojoj mentorici prof. dr. sc. Silvani Jukić Krmek na pomoći i korisnim savjetima prilikom pisanja ovog rada.

Posebno zahvaljujem svojim roditeljima i braći Ivanu i Vladi na neizmjenoj podršci tijekom svih šest godina studiranja.

Hvala svim mojim prijateljima na nezaboravnim zajedničkim trenucima. Divno je bilo studirati s vama.

Draga Matea, hvala na motivaciji u svim kriznim situacijama.

BIOLOŠKI ASPEKTI OBRADJE KORIJENSKIH KANALA

Sažetak

Apikalni parodontitis, upala periapikalnog tkiva najčešće nastala kao posljedica perzistirajuće bakterijske infekcije sustava korijenskih kanala, nije isključivo lokalni fenomen. Sve je više dokaza da endodonska infekcija može imati i sistemske posljedice što naglašava važnost njenog ispravnog liječenja. Kritična faza endodonske terapije kemo-mehanička je obrada korijenskih kanala koja treba biti temeljena na ispravnim biološkim principima. Cilj mehaničke instrumentacije i kemijskog ispiranja korijenskih kanala uklanjanje je bakterija i nekrotičnog tkiva kako bi se uklonila postojeća infekcija ili spriječila reinfekcija. Dokazano je da bakterije imaju sklonost penetracije u dentinske tubuluse i mogućnost preživljenja u ekstremnim uvjetima što čini njihovo potpuno uklanjanje nemogućim. Kompleksnost građe i anatomske nepravilnosti korijenskih kanala, posebno u apikalnoj trećini, dodatno otežavaju kemo-mehaničku obradu. Ispravno određivanje radne duljine te adekvatna širina instrumentacije ključni su čimbenici koji diktiraju uspjeh. Uvođenjem novih instrumenata i upotrebom različitih tehnika instrumentacije unaprijedila se tehnička obrada korijenskih kanala. Postupak čišćenja i širenja je brži i lakši, no potreban je oprez kako bi se izbjegla ijtrogena oštećenja kao što je razvoj vertikalne frakture korijena.

Ključne riječi: apikalni parodontitis, biološki aspekti, instrumentacija korijenskih kanala, endodoncija, sistemske bolesti

BIOLOGICAL ASPECTS OF THE ROOT CANAL PREPARATION

Summary

Apical periodontitis, an inflammation of the periapical tissue most commonly occurring as a result of persistent bacterial infection of the root canal system, is not an exclusively local phenomenon. There is a growing evidence that endodontic infection can also have systemic consequences which emphasizes the importance of its proper treatment. Chemo-mechanical root canal treatment is critical phase of endodontic therapy and should be based on correct biological principles. The goal of mechanical instrumentation and chemical irrigation of root canal system is to remove bacteria and necrotic tissue to treat existing infection or prevent reinfection. It is proven that bacteria have tendency to penetrate dentinal tubules and survive in extreme conditions what makes their complete removal impossible. The complexity of the structure and anatomical irregularities of the root canals, especially in the apical third, further complicate chemo-mechanical process. Proper determination of working length and adequate width are key factors that dictate success. The introduction of new instruments and use of different instrumentation techniques has improved technical quality of root canal treatment. The cleaning and spreading process is faster and easier, but caution is needed to avoid iatrogenic damage such as development of vertical root fracture.

Key words: apical periodontitis, biological aspects, root canal preparation, endodontics, systemic diseases

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. BIOLOŠKI ASPEKTI OBRADJE KORIJENSKIH KANALA	4
2.1. Utjecaj endodontskih lezija na sistemske bolesti	5
2.1.1. Oralna fokalna infekcija.....	5
2.1.2. Apikalni parodontitis i sistemsko zdravlje.....	6
2.1.3. Šećerna bolest (diabetes mellitus).....	7
2.1.4. Kardiovaskularne bolesti	8
2.1.5. Ostale sistemske bolesti	9
2.2. Doseg infekcije u kanalu	10
2.3. Utjecaj instrumentacije korijenskih kanala na biološke aspekte endodontskog liječenja.	11
2.3.1. Endodontski instrumenti	11
2.3.2. Tehnike instrumentacije.....	15
2.3.3. Radna duljina	17
2.3.4. Morfologija apikalnog područja korijenskog kanala	18
2.3.5. Krajnja točka instrumentacije	19
2.3.6. Radna širina	20
2.3.7. Ekstruzija dentinskog debrisa u periapikalno područje	22
2.3.8. Utjecaj instrumentacije na pojavnost mikrofraktura dentina i vertikalnu frakturu zuba	22
3. RASPRAVA.....	25
4. ZAKLJUČAK	28
5. LITERATURA.....	30
6. ŽIVOTOPIS	37

Popis skraćenica

ADA - Američka udruga dentalne medicine - (*American Dental Association*)

AP - apikalni parodontitis

CCW - smjer obrnut od smjera kazaljke na satu (*counterclockwise*)

CRP - c-reaktivni protein

CW – u smjeru kazaljke na satu (*clockwise*)

DM – *diabetes mellitus*

DNA – deoksiribonukleinska kiselina

IgG – Imunoglobulin G

IL-1 - Interleukin-1

IL-6 - Interleukin-6

IL-17 - Interleukin-17

ISO - Međunarodna organizacija za standardizaciju (*International Standards Organization*)

NiTi – nikal-titan

RA – reumotoidni artritis

TNF- α - tumorski nekrotizirajući čimbenik alfa

1. UVOD

Endodoncija je grana stomatologije koja se bavi morfologijom, fiziologijom i patologijom zubne pulpe i periradikularnog tkiva, odnosno prevencijom i terapijom bolesti navedenih tkiva. Primarni cilj endodontskog liječenja očuvanje je prirodnog zuba čija je vrijednost u usnoj šupljini neprocjenjiva. Terapija korijenskog kanala rutinska je metoda koja omogućuje pacijentu uklanjanje boli te uspostavljanje narušene funkcije i estetike zuba.

Uspjeh endodontske terapije zasniva se na uspostavljanju ispravne dijagnoze te prikladnog plana liječenja, koristeći zatim poznato znanje o anatomiji i morfologiji zuba kako bi se izvelo odgovarajuće čišćenje, dezinfekcija i punjenje korijenskog kanala (1). Kemo-mehanička preparacija kanala kombinacija je mehaničke instrumentacije i kemijskog ispiranja s ciljem uklanjanja bakterija, bakterije i njihovih produkata, nekrotičnog i vitalnog tkiva, organskog debrisa, slina, krvi i ostalih onečišćenja iz sustava korijenskih kanala (2).

S biološkog aspekta, ciljevi su kemo-mehaničke preparacije eliminacija, odnosno redukcija mikroorganizama iz korijenskog kanala, uklanjanje zaostalog pulpnog tkiva koje može uzrokovati bol i služiti kao izvor nutrijenata za rast bakterija te izbjegavanje potiskivanja debrisa preko apikalnog foramena što može rezultirati poticanjem stvaranja upalne reakcije ili podržavanjem već postojeće. Tehnički kriteriji usmjereni su oblikovanju korijenskog kanala tako da se zadovolje biološki aspekti te da se omogući postavljanje kvalitetnog punjenja. To podrazumijeva izradu kanala stalnog koniciteta zadržavajući njegov originalan oblik te položaj apikalnog foramena koji mora biti najuži mogući (3).

Čišćenje i širenje korijenskog kanala kritična su faza endodontskog liječenja, a najvažniji čimbenici koji diktiraju uspjeh ovog procesa su kompleksnost građe samog kanala te odabir odgovarajućih instrumenata i otopina za ispiranje. Morfološke nepravilnosti značajno otežavaju potpuno uklanjanje bakterija i debrisa što se pokušava unaprijediti razvojem naprednijih instrumenata i korištenjem različitih tehnika instrumentacije.

Razvoj suvremene endodoncije omogućio je veliki napredak u tehnološkom smislu što se očituje poboljšanjem kvalitete liječenja vidljive na rendgenskim snimkama u smislu odgovarajuće duljine punjenja i koničnog oblika korijenskog kanala. Presječno epidemiološko istraživanje iz Švedske ukazuje da poboljšana kvaliteta liječenja ne znači nužno i poboljšani dugoročni ishod liječenja. Zaključak istraživanja je da, usprkos poboljšanoj tehničkoj kvaliteti punjenja korijenskih kanala tijekom vremena, ne postoji napredak u periapikalnom statusu endodontski liječenih zubi (4). Takav nalaz ukazuje da pored tehničke izvedbe treba imati na

umu i biološke čimbenike koji uvelike mogu utjecati na ishod liječenja i dugoročni uspjeh terapije.

Svrha ovog rada prikaz je bioloških aspekata endodoncije s naglaskom na utjecaj endodontskih lezija na sistemske bolesti, doseg infekcije u kanalu, pregled instrumenata i tehnika instrumentacije, određivanje ispravne radne duljine i širine te utjecaj instrumentacije na pojavu mikrofraktura i vertikalne frakture korijenskog kanala.

2. BIOLOŠKI ASPEKTI OBRADJE KORIJENSKIH KANALA

2.1. Utjecaj endodontskih lezija na sistemske bolesti

Endodontski prostor zuba, ukoliko se naruši integritet tvrdih zubnih tkiva, direktni je put između okoliša usne šupljine. Upala zubne pulpe je prva linija organizma u prodoru mikroorganizama, a ukoliko se ta barijera probije, nastaje upalna reakcija u periapikalnom tkivu kojom se proces nastoji ograničiti i spriječiti njihov prodor u okolna i udaljena tkiva i organe. Premda donedavna istraživanja nisu pronalazila snažnu uzročno-posljedičnu povezanost između sistemskih bolesti i endodontskih bolesti, novije tehnologije omogućuju znanstvenicima bolji uvid u njihovu direktnu povezanost.

2.1.1. Oralna fokalna infekcija

Fokalna infekcija lokalizirana je ili generalizirana infekcija uzrokovana diseminacijom mikroorganizama ili njihovih toksičnih produkata iz fokusa infekcije. Fokus infekcije odnosi se na okruglo područje tkiva inficirano patogenim mikroorganizmima i obično je lokalizirano blizu mukozne ili kutane površine (5). Nedavni napredak u klasifikaciji i identifikaciji oralnih mikroorganizama i realizacija da se određeni mikroorganizmi mogu normalno pronaći samo u usnoj šupljini ukazuje na važnost uloge oralne fokalne infekcije na sistemsko zdravlje. Postalo je jasno da usna šupljina može biti mjesto podrijetla diseminacije patogenih organizama u udaljene dijelove tijela, posebice kod imunokompromitiranih pacijenata kao što su pacijenti koji boluju od malignih bolesti, reumatoidnog artritisa, dijabetesa ili su na terapiji kortikosteroidima te imunosupresivima.

Oralna infekcija i dentalni zahvati mogu uzrokovati tranzitornu bakterijemiju. Bakterijemija je opažena u 100 % pacijenata nakon ekstrakcije zuba, 70 % nakon čišćenja zubnog kamenca, 55 % nakon alveotomije, 20 % nakon endodontskog liječenja. Put ulaska mikroorganizama može biti i kroz ranu na sluznici nastalu tijekom svakodnevnih normalnih i paranormalnih funkcija kao što su žvakanje ili četkanje zubi. Mikroorganizmi koji dospiju u krv uglavnom su eliminirani za nekoliko minuta retikuloendotelnim sustavom domaćina i u pravilu ne uzrokuju nikakve simptome osim moguće blago povišene tjelesne temperature. Međutim, ukoliko naiđu na povoljne uvjete, nastanjuju se na određenom mjestu i nakon nekog vremena počinju se umnožavati.

Brojna epidemiološka istraživanja sugeriraju da oralna infekcija, posebno marginalni i apikalni parodontitis (AP) mogu biti rizični faktor za razvoj sistemskih bolesti. Endodontska infekcija sadrži kompleksu mikrofloru od približno 200 vrsta mikroorganizama s

predominacijom gram-anaeroba. Anatomska blizina ove mikroflora krvnoj struji može pospješiti bakterijemiju te sistemsko širenje bakterijskih produkata, komponenti i imunokompleksa (6).

2.1.2. Apikalni parodontitis i sistemsko zdravlje

Apikalni parodontitis, upalni proces periapikalnog tkiva, primarno je posljedica mikrobnog infekcije pulpnog tkiva. Najčešće je uzrokovan perzistirajućom bakterijskom infekcijom sustava korijenskih kanala zuba s nekrotičnom pulpom ili endodontski liječenog zuba (7).

Visoka prevalencija AP u općoj populaciji ukazuje na njegov značajan utjecaj na oralno zdravlje. U Europi, AP zahvaća 34 – 61 % pojedinaca te 2,8 – 4,2 % zuba, a prevalencija raste s dobi (8). Nedavno provedena presječna studija o prevalenciji AP-a i kvaliteti endodontskog punjenja u populaciji grada Zagreba utvrdila je nalaz AP-a u 8,5 % od ukupnog broja pregledanih zuba te u 54 % endodontski liječenih zuba. (9).

Iako periapikalna upala uzrokuje lokalni odgovor tkiva s ciljem sprječavanja širenja infekcije, AP nije isključivo lokalni fenomen. Interakcija između lipopolisharida, produkta anaerobnih gram-negativnih bakterija uzročnika AP, s TLR4 receptorima na makrofagima i neutrofilima aktivira puteve unutarnje imunosti povećavajući razinu prouplanih citokina IL-1b, IL-6, IL-8, TNF- te prostaglandina E2. Ovi citokini mogu dospjeti u sistemsku cirkulaciju uzrokujući povećan kronični sistemski imunološki odgovor (8).

Premda AP ima važnu protektivnu ulogu ograničavanja bakterija unutar korijenskog kanala, proces je jedinstven jer ne može ukloniti uzrok infekcije. Jednom kad zubna pulpa postane nekrotična, obrambeni mehanizmi ne mogu djelovati unutar kanala zbog nepostojanja cirkulacije. Obrambene snage izvršno djeluju na rubu nekrotičnog tkiva, ali one nisu u stanju prodrijeti u endodontski prostor potpuno razvijenog zuba. Posljedično, bez odgovarajućeg endodontskog liječenja, periapikalni proces postaje kroničan. Nastaje resorpcija kosti u zahvaćenom području, a kost i parodontni ligamant zamjenjuje upalno, granulacijsko tkivo bogato upalnim stanicama što se radiološki očituje se kao prosvjetljenje oko vrha korijena. Međutim, u slučaju slabljenja imunološkog odgovora pacijenta ili prevladavanja virulentnih bakterija, infekcija se može proširiti.

U takvom procesu stvara se lokalno velik broj propupalnih citokina čija je uloga modulacija upalnog odgovora i upravo se ta „citokinska oluja“ povezuje s upalnim procesom, resorpcijom

kosti i razvojem AP. To je „cijena koju domaćin plaća“ za neophodan i učinkovit imunološki odgovor na infekciju korijenskih kanala.

Tri su glavna načina kojim oralna infekcija može utjecati na sistemske bolesti: 1. **metastasko širenje infekcije** iz usne šupljine kao rezultat prolazne bakterijemije, 2. **metastatska ozljeda** kao posljedica cirkuliranja toksina iz oralnih mikroorganizama i 3. **metastatska upala** uzrokovana imunološkom ozljedom uzrokovanom oralnim mikroorganizmima.

Metastatska infekcija

Mikroorganizmi iz usne šupljine mogu ući u krvotok i uzrokovati bakterijemiju uslijed ozljede tijekom stomatološkog zahvata, provođenja svakodnevne oralne higijene ili akutne infekcije. Mikroorganizmi koji su tim putem ušli i cirkuliraju krvotokom obično bivaju eliminirani unutar nekoliko minuta retikuloendotelnim sustavom. Pri tome mogu izazvati blagi porast tjelesne temperature. Međutim, ponekad se mogu, ukoliko nađu pogodne prilike, naseliti u pojedina tkiva i organe i nakon određenog vremena inkubacije se počnu dijeliti.

Metastatska ozljeda

Određene gram-pozitivne i negativne bakterije imaju sposobnost stvaranja difundirajućih proteina ili egzotoksina koji uključuju citotoksične enzime i dimerne toksine koji imaju podjedinice A i B. Egzotoksini se smatraju letalnim. Endotoksini, koji su dijelovi vanjske stanične membrane, oslobađaju se nakon smrti stanice i dovode do različitih patoloških manifestacija. Oni se kontinuirano oslobađaju iz parodontnih gram-negativnih bakterija tijekom njihova uzgoja *in vivo*.

Metastatska upala

Kada topivi antigen uđe u krvotok može reagirati sa specifičnim cirkulirajućim antitijelom. Ti imuni kompleksi mogu uzrokovati različite akutne i kronične reakcije na mjestu njihovog odlaganja (10).

2.1.3. Šećerna bolest (diabetes mellitus)

Šećerna bolest (*diabetes mellitus* - DM), jedna od najčešćih endokrinoloških bolesti, metabolički je poremećaj koji pogađa metabolizam ugljikohidrata, lipida i proteina rezultirajući promijenjenom razinom šećera u krvi koja nastaje kao posljedica apsolutne ili

relativne inzulopenije (11). Nastala hiperglikemija rezultat je disfunkcije beta stanica gušterače ili inzulinske rezistencije stanica (5)

Dobro je poznato da dijabetes može utjecati na patogenezu apikalnog parodontitisa, posebno na stupanj njegova razvoja i ozbiljnost. Prvo istraživanje na temu utjecaja dijabetesa na patogenezu AP, objavljeno 1996. Kohsaka sa sur. (12), pokazuje da su upala parodontnog ligamenta periapikalnog područja, resorpcija korijena i gubitak alveolarne kosti izraženiji kod štakora s dijabetesom u usporedbi s kontrolnom skupinom. Daljnje studije zaključile su da je prevalencija AP povećana kod pacijenata s dijabetesom tipa 2. Također, dijabetički pacijenti s kroničnim AP imaju veće lezije i odgođeno cijeljenje u odnosu na zdrave pacijente. U usporedbi s kontroliranim dijabetesom, loša kontrola glikemije povezana je s većom prevalencijom AP i povećanom stopom neuspjeha endodontskog liječenja (13). Rezultati istraživanja na 640 trajnih zuba u 504 pacijenta od kojih 6,4 % s DM pokazali su lošiji uspjeh endodontskog liječenja u pacijenata s dijabetesom što upućuje na to da je dijabetes važan preoperativni prognostički faktor u liječenju korijenskih kanala (14).

Pokazalo se da je veza između dijabetesa i apikalnog parodontitisa dvosmjerna te da AP može potencirati sistemski učinak dijabetesa. Ovaj učinak očituje se u porastu razine triglicerida, serumskog HbA1c, proupalnih citokina, Interleukina – 17 (IL-17) u serumu te povećanoj količini upalnih stanica i trombocita u krvi (13). Porast proupalnih medijatora u serumu, posebice Interleukina-1 i Interleukina-6 (IL-1, IL-6), i tumorskog nekrotizirajućeg čimbenika alfa (TNF- α), pod utjecajem okolišnih faktora kao što su smanjena fizička aktivnost, loša prehrana, pretilost i infekcija, ima ulogu u razvoju inzulinske rezistencije. Visoke razine c-reaktivnog proteina (CRP) i fibrinogena kod kroničnog parodontitisa mogu biti povezane s lošijom kontrolom glikemije (5).

2.1.4. Kardiovaskularne bolesti

Kardiovaskularne bolesti vodeći su uzrok smrtnosti u svijetu. Najčešće kardiovaskularne bolesti uključuju koronarnu srčanu bolest i cerebrovaskularnu bolest. Glavnu ulogu u etiopatogenezi bolesti ima ateroskleroza, proces karakteriziran odlaganjem plaka na unutarnjim stijenkama arterija. Istraživanja pokazuju da visoke razine proteina akutne faze upale (CRP, fibrinogen, serumski Amiloid A) u aterosklerozi povećavaju rizik za razvoj kardiovaskularnih bolesti.

Postoje dva patofiziološka mehanizma koja objašnjavaju povezanost parodontitisa i razvoja ateroskleroze:

1. Direktni put

Oralni mikrobi koji dospiju u cirkulaciju putem tranzitorne bakterijemije mogu utjecati na razvoj kardiovaskularnih događaja. Brojni oralni patogeni kao *Porphyromonas gingivalis*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Prevotella intermedia*, *Treponema denticola*, te *Eikenella corrodens* izolirani su iz aterosklerotskog plaka (5). Bakterijska DNA tipična za endodontsku infekciju pronađena je u 78,2 % tromba (15).

2. Indirektni put

Loša oralna higijena, kao i kronična parodontna bolest povećanjem razina CRP i fibrinogena mogu imati indirektnu ulogu u formiranju aterosklerotskog plaka. Otpuštanje proupalnih citokina (TNF- α , IL-1, IL-6) u cirkulaciju kod AP potiče nakupljanje upalnih stanica na mjestu velikih krvnih žila i aktivira funkciju trombocita. TNF- α regulira ekspresiju adhezijskih molekula na endotelnim stanicama koje su uključene u ekstravazaciju krvnih stanica u krvne žile i priležeće tkivo. Na mjestu vezanja ili stagnacije stanica započinje formiranje aterosklerotskog plaka (5).

Costa i sur. (16) su zaključili, na temelju istraživanja na 103 pacijenta, da osobe s kroničnim AP imaju 2,8 puta veću šansu da obole od bolesti koronarnih krvnih žila. Nadalje, An i sur. (17) su uočili da je ta mogućnost čak 5,3 puta veća kod osoba s AP. Kod hipertenzivnih pacijenata AP mijenja sistemsku razinu CRP-a, IL-6 i fibrinogena koji su biomarkeri kardiovaskularnih bolesti (13). Nadalje, AP je povezan s povećanom stopom infarkta miokarda. Studija na 248 pacijenata koji su preživjeli infarkt miokarda i 249 zdravih pacijenata pokazuje da pacijenti s preživjelim infarktom imaju veći broj izgubljenih zubi te više infektivnih lezija endodontskog podrijetla u odnosu na kontrolnu skupinu (15).

2.1.5. Ostale sistemske bolesti

Khalighinejad i sur. (18) istraživali su prisutnost AP u pacijenata s kroničnim zatajenjem bubrega i dobili rezultat da 52 % pacijenata sa zatajenjem ima barem jedan endodontski liječen zub, dok je u kontrolnoj skupini to iznosilo 28 %. Štoviše, otkrili su da je broj zubi s AP značajno povezan s koncentracijom uree u serumu.

Također, istraživana je i povezanost preeklampsije i zastupljenosti AP kod majke. 54 % trudnica koje su razvile preeklampsiju ima barem jedan zub s AP, a samo 16 % one s normalnim razvojem trudnoće (18).

AP kod pacijenata s cirozom jetre povezan je s povišenom razinom CRP, a smanjenom razinom albumina u sistemske cirkulaciji što povećava prevalenciju razvoja komplikacija ciroze kao što su ascites, jetrena encefalopatija i varikozna krvarenja (13).

DNA oralnih bakterija pronađen je u serumu i sinovijalnoj tekućini pacijenata s reumatoidnim artritismom (RA). Pokazalo se da pacijenti s RA imaju povećanu razinu IgG antitijela na *P. gingivalis*, *P. intermedia* i *Bacteroides forsythus* što sugerira na utjecaj AP na progresiju RA (5).

2.2. Doseg infekcije u kanalu

Krajnji je cilj endodontske terapije eliminacija bakterija iz sustava korijenskih kanala da bi se iskorijenila postojeća infekcija ili spriječila reinfekcija korijenskog kanala i periradikularnog tkiva. Postoji dovoljno dokaza koji upućuju da instrumentacija i kemijsko ispiranje nisu uvijek dostatni za uklanjanje svih MO iz kanala. *In vitro* i *in vivo* istraživanja dokazuju bakterije imaju sposobnost invazije dentinskih kanalića. Bakterije koje duboko penetiraju u dentinske kanaliće zaštićene su od mehaničke instrumentacije što otežava njihovo uklanjanje. S obzirom da je utjecaj infekcije na nastanak i perzistiranje AP dokazan kao i njegov utjecaj na sistemske bolesti, znanstvenici i kliničari trebaju uložiti maksimalan napor kako bi endodontski prostor učinili što manje inficiranim i na taj način učinili ishod liječenja predvidljivijim te smanjili mogućnost poticanja, pogoršavanja ili održavanja određenih sistemskih bolesti. Da bi se uspješno mogli boriti s infekcijom, potrebno je poznavati, osim vrste mikroflore unutar endodontskog prostora, i način raspodjele, tj. doseg infekcije unutar kanala.

IN VITRO ISTRAŽIVANJA

In vitro istraživanja pokazala su da kada se broj bakterija u kanalu poveća, veća je i dubina njihove penetracije u dentinske tubuluse (3). Haapasalo i Orstavik (19) na goveđim zubima dokazali su da *Enterococcus faecalis* može prodrijeti u dentinske tubuluse do dubine 400 µm. Siqueira sa sur. (20) dokazuje duboku penetraciju bakterija *Propionibacterium acnes*,

Actinomyces israeli, *Porphyromonas gingivalis* te *E. faecalis*. Štoviše, Perez sa sur. (21) otkriva da *S. sanguis* prodiru u tubuluse do 792 μm . *In vitro* studije na ljudskim zubima pokazuju penetraciju *S. sanguis* do dubine 382 μm te *P. intermedia* do 26 μm (22). Pokazalo se da penetracija gljivicama doseže 60 μm dubine (23).

IN VIVO ISTRAŽIVANJA

Armitage i sur. (24) pronašli su bakterije u dentinskim tubulusima na polovini udaljenosti od cemento-dentinske granice. Ando i Hoshino (25) dokazuju prisutnost bakterija 500 do 2000 μm u tubulusima kod zubi s jako destruiranim krunama. Pokazalo se da su vitalni zubi otporniji na bakterijsku invaziju dentinskih tubulusa. Maksimalna dubina penetracije kod avitalnih zubi je 2100 μm . Nadalje, Love (26) je otkrio da je dublja penetracija bakterija u cervikalnoj i srednjoj trećini (do 200 μm) kanala u odnosu na apikalnu (do 60 μm). Osim bakterija, Sen i sur. (27) pronašli su gljivice u korijenskim kanalima na dubini od 10 do 150 μm .

Debris koji zaostaje nakon preparacije korijenskog kanala omogućava bakterijsku kontaminaciju čak i nakon dezinfekcije. Preko dentinskih tubulusa i apikalnog otvora, bakterije mogu doseći periapeks i uzrokovati reinfekciju nakon RTC (28). Weiger i sur. (29) testirali su vitalitet bakterija u dentinskim tubulusima nakon upotrebe intrakanalnih uložaka te pronašli da *S. Sanguis* i *E. faecalis* mogu preživjeti čak i nakon tretmana kalcijevim hidroksidom.

2.3. Utjecaj instrumentacije korijenskih kanala na biološke aspekte endodontskog liječenja.

2.3.1. Endodontski instrumenti

Instrumenti koji se koriste u endodontskoj terapiji grupirani su prema preporukama Međunarodne organizacije za standardizaciju (*International Standards Organization*)

1. ručni instrumenti: K-tip proširivači i strugači, Hedstroem strugači
2. strojni instrumenti sa završetkom za sporo rotirajuće nastavke: rotirajući proširivači i strugači (Gates-Glidden i Peeso) te strugači i proširivači s povratnim pokretom
3. ultrasonični i sonični instrumenti – montiraju se na poseban ručni nastavak
4. nikal-titanski instrumenti – za ručnu i strojnu instrumentaciju (1).

Ručni endodontski instrumenti

Do 1960. godine instrumenti su se proizvodili od karbonskog čelika, nakon čega se kao materijal koristi nehrđajući čelik zbog svoje otpornosti na koroziju. Glavni nedostatak nehrđajućeg čelika nedovoljna je savitljivost što se unaprijedilo smanjenjem broja navoja po mm dužine te promjenom poprečnog presjeka u trokutasti ili romboidni. Elastičnost nikal-titanske legure čini jednu četvrtinu ili petinu one u nehrđajućeg čelika. Ručni endodontski instrumenti proizvode se na dva načina. Tehnika brušenja i uvijanja žice podrazumijeva prvo brušenje (tokarenje) žice čime se postiže odgovarajući konicitet te poprečni presjek koji može biti kvadratičan, trokutast ili romboidan. Slijedi uvijanje žice u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu da bi se dobio helikozoidni rezni rub. Na ovaj način proizvode se K-tip strugači i proširivači, a razlika je u tome što strugači imaju veći broj navoja po mm dužine u odnosu na proširivače za istu veličinu instrumenta. Drugi način proizvodnje brušenje je instrumenata direktno u tokarskom stroju. Primjer tako proizvedenih instrumenata su Hedstroem strugači te gotovo svi nikal-titanski instrumenti.

Specifikacija br. 28 Američke udruge dentalne medicine - ADA (*American Dental Association*) odredila je međunarodne standarde za promjer, dužinu, otpornost na lom, čvrstoću i otpornost na koroziju što se odnosi isključivo na ručne instrumente.

Strugači i proširivači dostupni su u 3 dužine radnog dijela: 21, 25 i 31 mm. Prednost kraćih instrumenata je bolja kontrola te lakši pristup stražnjim zubima, dok se duži koriste za instrumentaciju duljih korjenova.

Dimenzije su određene prema veličini poprečnog presjeka na točno određenoj poziciji duž radnog dijela instrumenta. Spiralna rezna oštrica duga je 16 milimetara. D0 je promjer na vrhu instrumenta, a promjer na kraju radnog dijela, odnosno na 16. mm naziva se D16. Veličina poprečnog presjeka vrha instrumenta povećava se za 0,05 mm do instrumenta broj 60 (D0 = 0,6 mm), a onda za 0,10 mm za svaku iduću veličinu do 140.

Konicitet iznosi 0.02 što znači da svakim milimetrom dužine poprečni presjek instrumenta raste za 0,02 mm.

Vršak instrumenta je piramidalan i zatvara kut od $75^{\circ} \pm 15^{\circ}$. Kako bi se smanjile proceduralne greške, u novije vrijeme dizajnirani su instrumenti s tzv. neagresivnim vrškom. Takav tupi vršak puno manje reže dentin te se izbjegava urezivanje instrumenta u vanjsku stijenkiju kanala. Naime, instrument tada sam sebi urezuje put umjesto da slijedi originalnu zakrivljenost kanala što može dovesti do perforacije.

Torzijska ograničenja instrumenta označavaju otpornost na lom što je iznos okretnog momenta koji se može primijeniti na zaglavljenu instrument do točke pucanja. Svaki instrument bi trebao biti dovoljno čvrst kako bi se mogao rotirati u kanalu, a da se ne slomi. Za čelične ručne instrumente postoje definirani standardi otpornosti na lom pri različitim silama. Instrumenti manji od broja 20 podnose veći broj rotacija bez pucanja od većih instrumenata (većih od 40).

Kodiranje plastičnog drška instrumenta različitim bojama (engl. *color coding*) uvedeno je zbog lakše identifikacije i označava veličinu instrumenta. Skala od 5 boja započinje bijelom bojom (D0 -15 mm), nastavlja se žutom #20 te slijede crvena #25, plava #30, zelena #35 i crna #40. Boje se istim redom ponavljaju za instrumente veličine od #45-#80 i #90-#140.

Postoje još i manji instrumenti, ružičastom bojom označen je instrument veličine 06 (D0- 0,6mm), instrument veličine 08 (D0- 0,08 mm) označen je sivom bojom te je instrument s ljubičastim drškom veličine 10 (D0- 0,10 mm) (1,2).

Strojni endodontski instrumenti

Uvođenjem rotirajućih NiTi instrumenata u kliničku upotrebu, strojna instrumentacija u endodontskoj praksi u stalnom je porastu. NiTi legura koja se koristi u proizvodnji endodontskih instrumenata sadrži otprilike 56 % Ni te 45 % Ti, a poznata je pod nazivom Nitinol. Naziva se i materijalom s memorijom jer se i nakon deformacije vraća u prvobitni oblik. Glavno svojstvo joj je superelastičnost koju duguje promjeni u strukturi kristalne rešetke na različitoj temperaturi. Njena jedinstvena svojstva osiguravaju prednost u instrumentaciji zavijenih kanala i omogućavaju izradu instrumenata s većim konicitetom što rezultira boljom kontrolom preparacije korijenskih kanala (30). U usporedbi s 0,02 mm konicitetom kod čeličnih instrumenta, uobičajeni koniciteti su 0,04, 0,06, 0,08, 0,10, 0,12. Konicitet može biti stalan uz različit promjer vrška, različit uz isti promjer vrška te različit uz različit promjer vrška. Vršak može biti aktivan (režući) ili neaktivan (nerežući).

Zbog nepravilne i pretjerane upotrebe može doći do cikličkog zamora NiTi legura s posljedičnom frakturom instrumenta, pogotovo u uskim i zavijenim kanalima. Torzijske sile koje nastaju zbog trenja povećavaju mogućnost loma. Mogu se smanjiti upotrebom *crowndown* tehnike i redovitim ispiranjem (1). Na temelju brojnih istraživanja na ekstrahiranim zubima zaključeno je da se primjenom rotirajućih NiTi instrumenata bolje prati prirodna zakrivljenost korijenskih kanala, pogotovo u apikalnoj regiji. Međutim, zbog svoje iznimne fleksibilnosti NiTi nisu prikladni za pronalaženje puta korijenskog kanala ili zaobilazanje eventualnih stepenica. Za taj dio preparacije idealni su mali instrumenti od nehrđajućeg čelika

koji osiguravaju kanalnu prohodnost smanjujući rizik za razvoj ijtrogenih oštećenja kao što su formiranje stepenice ili lom instrumenta (30).

Od 1990-ih do danas, evolucijom NiTi instrumenata razvilo se pet generacija sustava za strojnu obradu korijenskih kanala koji se razlikuju po specifičnom dizajnu i tehnikama instrumentacije. Najznačajnije svojstvo **prve generacije** instrumenata pasivne su rezne radijalne površine koje su omogućile centriranost instrumenta u kanalu prilikom rada. Imale su konicitet od 4 % do 6 %. Glavni nedostatak ove generacije upotreba je velikog broja instrumenata da bi se postigla zadovoljavajuća preparacija. **Druga generacija** na tržištu pojavljuje se 2001., a glavna je razlika u odnosu na prethodnu upotreba aktivnih reznih rubova što smanjuje broj instrumenata potrebnih za preparaciju. Nekoliko je studija potvrdilo njihovu učinkovitost u brzini preparacije i zadržavanju originalnog oblika kanala, dok su neke studije pronašle određen stupanj transportacija kanala zajedno sa sklonošću loma instrumenta. Kod **treće generacije** naglasak je na toplinskoj obradi NiTi legura kako bi se povećala otpornost na ciklički zamor i smanjila mogućnost loma instrumenta. Termo-mehanički obrađena legura u odnosu na konvencionalnu ima drugačiji omjer određenih kristaličnih faza - oblika kristalne rešetke (austenita, martenzita i R-faze) što povećava njihovu fleksibilnost. Karakteristika **četvrte generacije** uvođenje je recipročnog pokreta. Tehnologiju recipročne kretnje prvi put je predstavio francuski stomatolog Blanc kasnih 50-ih godina (31). Instrumentacija započinje pokretom prvo u smjeru obrnutom od smjera kazaljke na satu (engl. *counter clock* - CCW) čime se omogućava rezanje dentina. Zatim slijedi pokret u smjeru kazaljke na satu (engl. *clockwise* - CW) kojim se instrument zajedno sa zahvaćenim dentinom izvlači iz kanala. CCW pokret veći je od CW pokreta te se potpuna rotacija od 360 ° postiže nakon triju ciklusa rezanja (32). Recipročna u odnosu na rotacijsku kretnju pokazuje sljedeće prednosti: potreban je manji broj instrumenata za čišćenje i oblikovanje korijenskog kanala, smanjena je torzijska napetost, smanjenje broja ciklusa unutar korijenskog kanala tijekom instrumentacije koje rezultira manjim opterećenjem instrumenta te smanjena mogućnost loma instrumenta. Posljednja **peta generacija** instrumenata dizajnirana je tako da centar mase ili centar rotacije nisu u središtu instrumenta. Kada se rotiraju, instrumenti koji imaju „*offset*“ dizajn proizvode mehanički val koji putuje duž aktivnog dijela instrumenta što povećava njegovu fleksibilnost i poboljšava uklanjanje debrisa. Instrumenti ove generacije obuhvaćaju prednosti 2. i 3. generacije zajedno (31).

Najistaknutiji komercijalni predstavnici pojedine generacije navedeni su u Tablici 1. (31).

Tablica 1. Podjela sustava instrumenata po generacijama

1. generacija	LightSpeed Endodontics, Profile-Dentsply, Quantec-SybronEndo, GT system-Dentsply
2. generacija	ProTaper Universal-Dentsply, K3-SybronEndo, Mtwo-VDW, Hero Shaper-Micro-Mega, I Race, I Race Plus-FKG Dentaire.
3. generacija	K3 XF Files-SybronEndo, Profile GTX Series-Dentsply, CM Files (HyFlex CM)-Coltene, Vortex Blue (Dentsply Tulsa)
4. generacija	Wave One-Dentsply, SAF-ReDent Nova, Reciproc-VDW
5. generacija	HyFlex EDM-Coltene, Revo-S-Micro-Mega, One Shape Micro-Mega, ProTaper Next-Dentsply

2.3.2. Tehnike instrumentacije

Mehanička instrumentacija korijenskih kanala sastoji se od čišćenja i širenja, konceptualno različitih postupaka koji se provode istovremeno. Cilj čišćenja je postizanje glatkih stijenki korijenskih kanala. To se provjerava prolaskom instrumenta malih dimenzija po stijenkama korijenskih kanala te bi dobro instrumentiran kanal trebao biti gladak u svim dimenzijama. Indikatori uspješnosti čišćenja su i izgled otopine za ispiranje boja nakon postupka irigacije te čistoća dentinske strugotine na zadnje korištenom endodontskom instrumentu.

Postupkom širenja osigurava se prostor potreban za postavljanje materijala za punjenje, a pri tome tehnika punjenja diktira tehniku instrumentacija. Za lateralnu kondenzaciju potrebno je kanal proširiti toliko da je omogućen ulazak spreadera 1 - 2 mm kraće od radne duljine. Većina tehnika instrumentacije podrazumijevaju oblikovanje tzv. apikalnog stopa, oblikovanja apikalne barijere koja sprječava prodor instrumenata, materijala za punjenje i otopina za ispiranje u periapikalno područje (1,33).

Schilder (34) je postavio nekoliko glavnih principa instrumentacije korijenskih kanala:

1. koničan oblik preparacije
2. zadržavanje originalnog oblika kanala
3. očuvanje apikalnog foramena na originalnoj poziciji
4. promjer apikalnog otvora što manji mogući.

Tijekom vremena mnoštvo se različitih tehnika razvilo za instrumentaciju korijenskih, a podijeljene su u dvije glavne grupe: apeksno-koronarnu (standardna, *step-back*, pasivna *step back* i *balanced-force* tehnika) te koronarno-apeksnu (*step-down*, *double-flared*, *crown-down* i *canal-master* tehnika) (33).

***Step-back* tehnika**

Najčešće korištena tehnika ručne instrumentacije je *step-back* tehnika. Nakon izrade pristupnog kaviteta, koji treba biti takav da omogući pravocrtan pristup korijenskom kanalu i postavljanja gumene plahtice, slijedi određivanje radne duljine apeks lokatorom. Prvi instrument koji zapinje u kanalu naziva se inicijalni (eng. *initial file*) i on određuje veličinu zadnjeg instrumenta (eng. *master apical file* - MAF-a) kojim se obrađuje apikalni kraj kanala. Naime, MAF je za 2 - 3 broja veći od inicijalnog instrumenta. Kada je apikalna instrumentacija završena, slijedi koronarno širenje. Svakim sljedećim instrumentom kanal se obrađuje za 0,5 - 1 mm kraće od određene radne duljine čime se postiže koničan oblik korijenskog kanala. Nakon svakog instrumenta obvezna je rekapitulacija (uvođenje MAF do radne duljine) i ispiranje kako bi se spriječilo nakupljanje debrisa. Slijedi zaglađivanje stijenci hedstroem strugačem, sušenje papirnatim štapićima i provjera radne duljine u suhom kanalu. (33). Tehnika je uvedena kako bi se instrumentacija zavijenih korijenskih kanala učinila predvidljivijom u odnosu na standardnu obradu kanala kod koje su svi instrumenti od prvog do zadnjeg punom dužinom obrađivali kanal. Ipak, zbog krutosti ručnih instrumenata od nehrđajućeg čelika tehnika često rezultira ijatrogenim oštećenjem prirodnog oblika kanala (30).

***Step-down* tehnika**

U nastojanju da se smanji incidencija ijatrogenih oštećenja, razvila se *step-down* tehnika čija je karakteristika korištenje većih instrumenata za instrumentaciju koronarnog dijela kanala nakon čega slijedi rad sve manjim instrumentima prema apikalnom dijelu. Blokade

korijenskog kanala, apikalna ekstruzija debrisa i incidencija apikalne transportacije manje su zastupljeni kod *step-down* tehnike u odnosu na *step-back* (30).

***Balanced-force* tehnika**

Predstavljena je 1985. s namjenom unaprjeđivanja instrumentacije zavijenih korijenskih kanala (35). Koncept se temelji na primjeni kontrolirane sile kako bi se spriječilo neželjeno rezanje dentina (36). Instrument se postavlja u kanal te se okreće u smjeru kazaljke na satu što ga gura apikalno nakon čega slijedi rotacija u suprotnom smjeru što instrument vraća koronarno (1). Na taj način postiže se kružno uklanjanje dentina za koje se smatra da pozitivno utječe na njegovu otpornost koja nadilazi tendenciju instrumenta da se ispravi u zavijenom kanalu (35). Simultano s rotacijom vrši se i pritisak prema apikalno čiji stupanj varira od laganog prema snažnom sukladno veličini instrumenta (manji instrumenti, laganiji pritisak) (1).

***Crown-down* tehnika**

To je tehnika koja se najčešće koristi prilikom strojne instrumentacije NiTi instrumentima. Prvo se instrumentira koronarna trećina kanala nakon čega slijedi instrumentacija srednje i apikalne trećine. Koronarnim širenjem smanjuje se kontakt instrumenta sa stijenkama korijenskog kanala čime se reduciraju torzijske sile. Nekoliko je prednosti ove tehnike: pravocrtan pristup apikalnoj regiji, bolja taktilna kontrola, poboljšani prodor otopina za ispiranje, učinkovitije uklanjanje debrisa, manja mogućnost ijtrogenih oštećenja i loma instrumenta te brža instrumentacija (37).

4.3.3. Radna duljina

Određivanje ispravne radne duljine značajno utječe na ishod endodontskog liječenja. Prema definiciji, radna duljina je udaljenost od koronarne referentne točke do završnog mjesta preparacije korijenskog kanala. Referentna točka treba biti stabilna i obično je kod prednjih zubi incizalni brid, a kod stražnjih vršak kvržice (1).

Metode određivanja radne duljine su:

1. upotreba poznatih podataka o anatomiji zuba i obliku korijenskog kanala te o srednjim vrijednostima duljine korijenskog kanala
2. taktilno-senzorna metoda
3. radiološka metoda
4. elektronički apeks-lokatori.

Radiološka metoda često je korištena u zadnjih 100 godina. Kako je RTG snimka dvodimenzionalan prikaz trodimenzionalne strukture, metoda nije precizna. Nadalje, stvarni apikalni otvor ne poklapa se s radiološkim, a moguće je i superponiranje struktura što dodatno otežava mjerenje. Nedostaci taktilno-senzorne metode su subjektivnost kliničara te razlike u anatomiji apikalnog suženja koje ponekad nije ni prisutno. Seidberg sa sur. (38) ustanovio je da točnost određivanja apikalnog suženja taktilno-senzornom metodom iznosi oko 60 %, čak i kod iskusnih stomatologa. Stoga, danas je metoda izbora za mjerenje radne duljine korijenskih kanala upotreba elektroničkih apeks-lokatora. Elektronički apeks-lokator (endometar) je uređaj koji radi na principu električne provodljivosti, a sastoji se od triju standardnih dijelova: elektrode priključene na usnu, elektrode priključene na endodontski instrument koji se nalazi u korijenskom kanalu te samog uređaja koji sadržava ekran s ljestvicom koja pokazuje pomicanje endodontskog instrumenta prema otvoru korijenskog kanala. Najčešće zvučnim signalom, uređaj daje znak da je endodontski instrument dosegao područje apikalnog foramena, s točnošću mjerenja unutar 0,5 mm od apeksa (1,39).

2.3.4. Morfologija apikalnog područja korijenskog kanala

Morfologija korijenskog kanala, posebno njegove apikalne trećine važan je faktor uspjeha endodontskog liječenja zuba (40). Korijenski kanali dio su endodontskog prostora u korijenu zuba, započinju ljevkastim otvorom i završavaju apikalnim otvorom. Oblik i veličina korijena, stupanj zakrivljenosti, dob i izgled zuba određuju oblik korijenskog kanala. Nepravilnosti u obliku ispupčenja i udubljenja na stijenkama kanala, slijepih završetaka, komunikacija među kanalima su česta, posebice na stražnjim zubima. Takve promjene uglavnom nisu dostupne kemo-mehaničkoj obradi (1,40).

Akcesorni kanali, postranični ogranci glavnog korijenskog kanala, veza su između pulpe i parodontnog ligamenta. Učestaliji su u apikalnoj trećini i na stražnjim zubima, ali se mogu naći na bilo kojoj razini od račvišta do vrška korijena. Dvojbena je njihova uloga u patologiji te terapiji pulpnih tkiva (1).

Apikalni foramen završetak je korijenskog kanala. Kod mladih ljudi je širok te se postupno sužava odlaganjem cementa. Od stvarnog, anatomskog vrha korijenskog kanala (*foramen apicis dentis externum*) 1 - 2 mm unutar kanala nalazi se cementno-dentinska granica koju se naziva fiziološki foramen (*foramen apicis dentis internum*) (33). Smatra se da je **apikalno suženje** krajnja granica mehaničke instrumentacije kanala. Prema definiciji, apikalno suženje najuži je dio kanala i mjesto na kojem završava pulpa, a započinje parodontni ligament (3). Njegova prosječna udaljenost od vanjskog apikalnog otvora je 0,5 mm. Prema nekim istraživanjima, može biti čak do 3 mm od vanjskog otvora. Za mlađe osobe ta je udaljenost manja te se s godinama povećava. Nadalje, udaljenost je nešto veća kod stražnjih zuba u odnosu na prednje (39). Na temelju svojih istraživanja Ricucci i Langeland (41) zaključili su da instrumentacija do apikalne konstrikcije osigurava uvjete za optimalno cijeljenje i minimalnu traumu periradikularnog tkiva. Ipak, apikalno suženje teško je klinički utvrditi s točnošću, a nekad uopće nije prisutno (3). Dummer i sur. (42) pronašli su da je apikalno suženje prisutno u manje od polovine zubi, a često je i izgubljeno resorptivnim procesom AP.

Anatomske čimbenici koji otežavaju pristup apikalnom dijelu i dosezanje pune radne duljine su zavijenost i kalcifikacije u kanalu. Studija Tang i sur. iz 2011. (43) pokazuje da zavijenost kanala otežava pristup apikalnoj konstrikciji dvostruko, a kalcifikacije sedmerostruko u odnosu na normalnu anatomiju korijenskog kanala. Ustanovljeno je da su ravni korijenski kanali s jedinstvenim otvorom prije iznimka nego pravilo. Većina kanala je zavijena, najčešće u vestibulo-oranom smjeru (40). Što je zavijenost kanala jače izražena, teže ga je tretirati. Nadalje, interna resorpcija koja najčešće nastaje kao posljedica kronične upale pulpe također otežava pristup apikalnim dijelovima korijenskog kanala (1).

2.3.5. Krajnja točka instrumentacije

S biološkog i kliničkog aspekta, krajnja točka instrumentacije ne smije prijeći preko apikalnog foramena. Optimalni rezultati dobiveni su kada punjenje korijenskog kanala završava unutar 2 mm od radiološkog apeksa. Ukoliko je kraće od toga, stopa uspješnosti liječenja pada. Međutim, prepunjenje dovodi do još lošijih rezultata. Kada materijal za punjenje prijeđe

periapikalno područje, uvijek izazove upalni odgovor tkiva kao reakciju na strano tijelo usprkos izostanku simptoma (44).

Na temelju opsežne procjene postojećih studija u posljednjih 50 godina, Wu i sur. (45) su 2000. godine došli do sljedećih zaključaka:

- a) nakon vitalne pulpektomije – krajnja točka instrumentacije 2 - 3 mm kraća od radiološkog apeksa, oznaka 0,5 na apeks lokatoru
- b) nekroza pulpe – krajnja točka instrumentacije na samom kraju ili unutar 2 mm od kraja radiološkog apeksa, oznaka 0,0 na apeks lokatoru.

Stoga, točka na kojoj završava kemo-mehanička obrada korijenskih kanala uvelike ovisi o dijagnozi. U slučaju vitalne pulpe teži se da radna duljina bude što bliže apikalnoj konstrikciji jer, kako je već navedeno, tako su osigurani uvjeti optimalnog cijeljenja. U slučaju nekroze pulpe, bakterije, njihovi nusproizvodi te inficirani dentinski debris nakupljaju se u apikalnoj trećini kanala i periradikularnom tkivu što može ugroziti njegovo cijeljenje. Prema tome, radna duljina trebala bi biti što bliže vanjskom apikalnom otvoru da bi se korijenski kanal adekvatno očistio od bakterija i debrisa cijelom dužinom.

Iako postoji širok raspon mišljenja o mjestu na kojem instrumentacija korijenskog kanala treba završiti, kliničari su uglavnom podijeljeni u dva glavna tabora. Mišljenje jednih je da svi postupci trebaju biti unutar granica kanala, dok drugi smatraju da instrumentacija treba završiti na vanjskom apikalnom otvoru. Uz ove dvije filozofije, neki se kliničari zalažu za „nalaženje na pola puta“ (*middle-of-the-road philosophy*); čišćenje i širenje do vanjskog apikalnog otvora nakon čega slijedi povlačenje u kanal i formiranje apikalnog stopa na mjestu završetka dentina do kojeg bi sezalo punjenje (44).

2.3.6. Radna širina

Sustav korijenskih kanala treba biti dovoljno proširen za potpuno uklanjanje debrisa i adekvatnu irigaciju apikalne trećine. Međutim, ne postoji opći konsenzus za opseg apikalnog širenja s obzirom da apikalni promjer značajno varira od zuba do zuba (1). Iz literature je vidljivo da oblik apikalnog suženja nije ujednačeno okrugao, nego je češće ovalan ili nepravilan. Klinički, to znači da najveći promjer apikalnog suženja treba uzeti u obzir ako želimo postići temeljito čišćenje (3). Morfološka istraživanja ukazuju da je kod zdravih zubi u odraslih pacijenata apikalni promjer širi od 300 - 350 mikrona. Resorpcija uzrokovana AP

može dodatno proširiti promjer (30). Istraživanje Gesi i suradnika iz 2014. dokazuje širi apikalni promjer u prisustvu periapikalnog upalnog procesa (46).

Weine (47) je predložio smjernice za apikalnu preparaciju te zagovara da radna širina treba biti za tri instrumenta veća od prvog instrumenta koji zapinje u kanalu. Ovakav pristup temelji se na pretpostavci da prvi instrument koji zapinje u kanalu odražava veličinu apikalnog promjera te da bi se instrumentacijom za tri veća instrumenta do iste radne duljine postiglo adekvatno čišćenje inficiranog dentina sa svih stijenki kanala. Nadalje, svrha ovakvog pristupa je i formiranje apikalnog stopa kako bi se spriječilo propuštanje ili ekstruzija materijala u periapikalni prostor.

Istraživanje Wu-a i sur. iz 2000. godine imalo je za svrhu utvrditi reflektira li doista prvi instrument koji zapinje u kanalu promjer apikalnog prostora. U 90 % kanala ispitanih zubi promjer instrumenta bio je manji od kraćeg promjera kanala. U 75 % slučajeva instrument je u dodiru s jednom stranom dentinske stijenke, a u 25 % kanala nije uopće u kontaktu sa stijenkom (48). Za točnije određivanje apikalnog promjera preporučeno je širenje srednjeg i koronarnog dijela korijenskog kanala. Također, preporuča se i upotreba instrumenata bez izraženog koniciteta kako bi se zaobišlo bilo kakve interference u kanalu koje bi mogle dovesti do preranog zapinjanja instrumenta i krive procjene pravog apikalnog promjera (46).

Mikrobiološka istraživanja ukazuju na to da je šira preparacija apikalnog dijela u pozitivnoj korelaciji s redukcijom broja bakterija. Bolja dezinfekcija postiže se opsežnijim uklanjanjem inficiranog dentina i dubljom penetracijom otopine za ispiranje u tubuluse (30). Orstavik sa sur. (49) pokazuje da instrumentacija do širine #45 smanjuje bakterijski rast do 10 puta. Wu (50) i Sequeira (51) pokazuju da, iako je došlo do redukcije bakterija tijekom apikalnog širenja, potpuno uklanjanje nije moguće. Tan i Messer (52) uspoređivali su uspješnost ručne i strojne tehnike u čišćenju apikalnog dijela i zaključili da nijedna nije u potpunosti učinkovita. Međutim, zaključili su da opsežnija instrumentacija ima prednost u redukciji debrisa apikalne trećine (3). Schäfer i sur. (53) na ekstrahiranim ljudskim zubima, nakon instrumentacije zavijenih kanala, otkrili su neinstrumentirana područja sa zaostalim debrisom i kod NiTi rotirajućih instrumenata, isto kao i kod ručnih instrumenata izrađenih od nehrđajućeg čelika. Istraživanja ukazuju na ograničenu sposobnost mehaničke instrumentacije i naglašavaju važnost antibakterijskog ispiranja u dezinfekciji korijenskih kanala.

Što se tiče učinkovitog prodiranja otopine za ispiranje do apikalne trećine, istraživanja pokazuju da je minimalna širina #35. Ram (54) zaključuje da je širina od #40 potrebna za

maksimalni kontakt otopine za ispiranje s apikalnim debriso. Shuping i sur. (55) te Siqueira i sur. (56) potvrđuju potrebu za instrumentacijom širim instrumentima za optimalno ispiranje. Učinkovitost uklanjanja debrisa i zaostatnog sloja ispiranjem ovisno o veličini MAF (#20, #25, #30, #35) istraživao je i Khademi sa suradnicima. Prema rezultatima koji su dobili, minimalna širina instrumentacije potrebna da bi irigans prodro do apikalne trećine kanala je #30. (57) Nadalje, Shuping i sur. (58) pronašli su da je antibakterijski utjecaj natrijevoga hipoklorita vidljiv tek pri obradi s instrumentima #30 - 35.

2.3.7. Ekstruzija dentinskog debrisa u periapikalno područje

Tijekom mehaničke preparacije dentinske strugotine, ostaci pulpnog tkiva i mikroorganizmi mogu biti ekstrudirani u periapikalno tkivo što može rezultirati neuspjehom endodontskog tretmana. Nedavna istraživanja otkrivaju da sve tehnike, ručne i strojne, uzrokuju veću ili manju ekstruziju dentinskog debrisa u periapiks. Međutim, količina potisnutog debrisa razlikuje se među pojedinim tehnikama preparacije i dizajnu instrumenta (59). Smanjenje broja instrumenata potrebnih za preparaciju sugerira da bi količina potisnutog debrisa mogla biti manja. Međutim, izgleda da dizajn instrumenta ima veći utjecaj. Pokazalo se da instrumenti S-tip poprečnog presjeka, neaktivnim vrškom i malom masom u središtu instrumenta imaju tendenciju ekstruziji veće količine debrisa (60).

2.3.8. Utjecaj instrumentacije na pojavnost mikrofraktura dentina i vertikalnu frakturu zuba

Jedan od bioloških aspekata preparacije korijenskih kanala je utjecaj instrumentacije na integritet preostalog tvrdog zubnog tkiva. Mehanička instrumentacija korijenskih kanala može oslabiti strukturu zuba uzrokujući naprezanja u kanalu koja dovode do mikrofraktura, posebno u apikalnoj trećini kanala. Mikrofrakture mogu napredovati i uzrokovati nastanak vertikalne frakture korijena (61).

Vertikalna fraktura uzdužna je fraktura koja se proteže iz korijenskog kanala u parodont, a primarno nastaje u bukolingvalnoj razini. Njihova incidencija kod endodontski liječenih zuba široko varira, a uglavnom je to zbog otežanog postavljanja dijagnoze. Prognoza zuba s VFR je loša i najčešće završava ekstrakcijom ili resekcijom zahvaćenog korijena (62).

Etiologija mikrofraktura je multifaktorijalna, a najčešći etiološki čimbenici su prikazani u Tablici 2. (1, 63, 64).

Tablica 2. Etiološki čimbenici razvoja mikrofraktura

PREOPERATIVNI FAKTORI	OPERATIVNI FAKTORI
morfologija korijena (zavijeni, širi u bukolingvalnom smjeru)	opsežna mehanička instrumentacija
dehidracija dentina	dizajn instrumenata
dob pacijenta	različite tehnike instrumentacije
pretjerana uporaba sile prilikom ekstrakcije zuba	kondenzacija tijekom punjenja korijenskog kanala
okluzalne interferencije	preparacija za intrakanalnu nadogradnju
parafunkcijske kretnje	dizajn intrakanalne nadogradnje

Nedavni tehnološki napredak u polju radiologije omogućio je primjenu Mikro-CT prikaza u dentalnim istraživanjima. Micro-CT vrlo je precizna i neinvazivna metoda koja omogućuje kvalitativnu i kvantitativnu volumetrijsku analizu poprečnog presjeka dentina što daje detaljan uvid u postojanje bilo kakvih defekata u dentinu kao što su mikrofrakture (64, 65).

Tako je ustanovljeno postojanje mikrofraktura preoperativno, a faktori koji do njih dovode navedeni su u Tablici 2. Arias i sur. (ref) pronašli su mikrofrakture preoperativno u 4 od 6 zubi u kontrolnoj skupini. Također, one su bile više zastupljene kod mandibularnih zubi (10.3 %) u odnosu na maksilarne (2,9 %), ali u istraživanju su korišteni isključivo mandibularni pretkutnjaci (66).

De Deus i sur. 2016. godine istraživali su učestalost razvoja mikrofraktura nakon strojne preparacije korijenskih kanala sustavima Reciproc i ProTaper Universal na kadaverima koristeći mikro-CT prikaz. Analizom poprečnog presjeka maksilarnih pretkutnjaka nakon instrumentacije nisu pronađene nove mikrofrakture u usporedbi s preoperativnim snimkama (65).

S druge strane, u istraživanju Adorno et al. iz 2013. (67) dokazana je značajna povezanost preparacije kanala s inicijacijom mikropukotina, dok su tehnike punjenja povezane s

njihovom propagacijom. Nadalje, istraživanje Jamleha i suradnika iz 2014. dokazuje da i recipročna (WaveOne) i rotacijska (ProTaper) tehnika strojne instrumentacije uzrokuju mikrofrakture, ali su one manje zastupljene kod recipročnog sustava instrumenata (61).

Singh sa sur. 2018. godine pokazuje povećan broj mikrofraktura nakon instrumentacije i punjenja korijenskih kanala (5,44 %) te nakon preparacije za intrakanalnu nadogradnju (8,35 %). Isto tako, dokazali su da se broj mikrofraktura razlikuje ovisno o primijenjenoj tehnici preparacije kanala za nadogradnju. Najviše mikrofraktura u kanalu bilo je nakon preparacije ParaPost XT Drills svrdlima, zatim slijede Peeso svrdla te K file instrumenti (64).

Specifičnost u dizajnu instrumenata utječe na incidenciju mikrofraktura kod različitih tehnika instrumentacije. Trokutasti poprečni presjek proizvodi veću razinu stresa duž aktivnog dijela instrumenta u odnosu na kvadratni.

Rotirajući instrumenti izazivaju veće torzijske sile u kanalu u odnosu na ručne instrumente. Veća brzina i broj okretaja instrumenta u kanalu smanjuje njegovu otpornost na stvaranje mikrofraktura. Postupno i sporo uklanjanje dentina kod ručne instrumentacije minimalizira naprezanja.

Nadalje, kontinuirani rotirajući pokret uzrokuje više mikrofraktura u kanalu u odnosu na recipročni pokret. Recipročnim pokretom dentin se uklanja naizmjenično što smanjuje naprezanja na dentinskim stijenkama kanala i u samom instrumentu (62, 64). Istraživanje Jamleha i sur. iz 2014. dokazuje da i recipročna (WaveOne) i rotacijska (ProTaper) tehnika strojne instrumentacije uzrokuju mikrofrakture, ali su one manje zastupljene kod recipročnog sustava instrumenata (61).

3. RASPRAVA

Epidemiološka istraživanja potvrđuju poveznicu između endodontskih infekcija i sistemskog zdravlja. Šećerna bolest i kardiovaskularne bolesti su skupine sistemskih bolesti o čijoj povezanosti s apikalnim parodontitisom ima najviše dokaza. Za potpuno razumijevanje patogeneze AP i utjecaja na sistemsko zdravlje potrebne su dodatne studije. Iako nije u potpunosti razjašnjena, poveznica zasigurno postoji što naglašava važnost uspješne sanacije oralnih infektivnih lezija.

Liječenje apikalnog parodontitisa usmjereno je eliminaciji primarnog etiološkog uzročnika, a to su bakterije. Poznato je da bakterije imaju sposobnost invazije dentinskih tubulusa, a kompleksna morfologija sustava korijenskih kanala dodatno otežava njihovo potpuno uklanjanje. Mehanička instrumentacija značajno reducira broj bakterija u inficiranom korijenskom kanalu. Byström i Sundqvist (68) izvijestili su da samo instrumentacija ručnim čeličnim instrumentima bez dezinfekcije ispiranjem antibakterijskim otopinama smanjuje broj bakterija 100 - 1000 puta. Međutim, iz više istraživanja poznato je da isključivo mehanička instrumentacija nije dostatna za odgovarajuću dezinfekciju. Tako su Dalton i sur. (69) dokazali prisutnost bakterija u 72 % instrumentiranih kanala nakon instrumentacije rotirajućim NiTi instrumentima i ručnim K-file, i to bez značajne razlike između dviju tehnika. Nadalje, Peters i sur. (70) upotrebom micro-CT prikaza analizirali su preparaciju korijenskih kanala maksilarnih prvih kutnjaka i pronašli da je 35 % dentinske površine ostalo netaknuto nakon instrumentacije K-tip ručnim instrumentima i trima različitim tehnikama strojne instrumentacije NiTi instrumentima, opet s malim razlikama među tehnikama.

Različiti sustavi instrumenata i tehnike instrumentacije razvili su se s ciljem unaprjeđenja mehaničke obrade i redukcije intrakanalnog debrisa. Iako je tehnička kvaliteta punjenja bolja, pokazalo se da je napredak u periapikalnom statusu endodontski liječenih zubi izostao (4).

Radna duljina i širina instrumentacije korijenskih kanala moraju biti u skladu s biološkim principima, a njihovo ispravno određivanje diktira uspjeh endodontske terapije.

Danas je metoda izbora za određivanje radne duljine upotreba elektroničkih apeks lokatora. Na točnost mjerenja apeks lokatorom utječu tekućine u kanalu tako da je najpreciznije mjeriti u suhom kanalu. Utjecaj tekućine manji je kad se za točku mjerenja uzme vanjski apikalni otvor (oznaka 0,0 na apeks lokatoru). Nadalje, točnost je veća u kanalima s manjim apikalnim promjerom (39). Radna duljina uvelike ovisi o dijagnozi. Smatra se da kod vitalne pulpektomije krajnja točka instrumentacije treba biti što bliže apikalnoj konstrikciji, mjestu za koje je predviđeno optimalno cijeljenje periapikalne lezije. Klinički, to je 2 - 3 mm od

radiološkog apeksa. S druge strane, kod nekroze pulpe instrumentacija bi trebala završiti što bliže vanjskom apikalnom otvoru.

Ne postoji opći konsenzus za opseg apikalnog širenja. Razlog tomu velike su varijacije u promjeru i izgledu apikalnog otvora, a on je rijetko pravilno okrugao te je češće ovalan. Da bi se zadovoljili principi čišćenja, veličina instrumentacije mora obuhvatiti najveći promjer apikalnog suženja. Smatra se da bi minimalna preparacija apikalnog dijela korijenskog kanala trebala biti za tri instrumenta veća od prvog koji zapinje. Šira apikalna preparacija dokazano reducira inficirani debris. Također, osigurava dublju penetraciju irigansa u dentinske tubuluse i omogućava lakše i efikasnije punjenje. Manji apikalni otvor također ima svoje prednosti. Manja je mogućnost ekstruzije materijala za punjenja ili irigansa u periapikalno tkivo kao i transportacije apikalnog otvora, čimbenika koji kompromitiraju cijeljenje.

Iako se opsežnijom mehaničkom instrumentacijom postiže bolje čišćenje, mogućnost ijtrogenih oštećenja u obliku razvoja mikrofraktura je veća. Mikrofrakture napredovanjem mogu dovesti do vertikalne frakture korijena koja uglavnom završava ekstrakcijom zuba. Dokazano nastaju neovisno o tehnici instrumentacije, ali pokazalo se da je broj mikrofraktura manji kod recipročne strojne tehnike instrumentacije (61). Brzina i broj okretaja strojnih instrumenata u kanalu u pozitivnoj su korelaciji s razvojem mikrofraktura (64). Stoga, svakom kliničaru dobrobit pacijenta treba biti ispred brzine i jednostavnosti izvedbe.

4. ZAKLJUČAK

Veza između sistemskog i oralnog zdravlja je dvosmjerna. Endodontske infekcije mogu imati sistemske posljedice. Potpuna eliminacija bakterija, glavnog etiološkog čimbenika endodontske infekcije, onemogućena je zbog njihove duboke penetracije u dentinske tubuluse i kompleksne građe sustava korijenskih kanala. Da bi se postiglo što bolju dezinfekciju koja bi omogućila uklanjanje postojeće infekcije ili sprječavanje reinfekcije, potrebno je pronaći sve korijenske kanale, odrediti ispravnu radnu duljinu i širinu te dezinficirati sve zakutke. Radna duljina ovisi o dijagnozi, ali generalno se smatra da svi postupci moraju biti ograničeni na sustav korijenskih kanala kako bi zadovoljili biološke aspekte endodoncije. Kako bi postigli adekvatno apikalno širenje i obuhvatili apikalni promjer u cijelom opsegu, radna širina treba biti veća najmanje za tri instrumenta od prvog koji zapinje u kanalu. Iako se razvojem novih materijala i dizajna instrumenata uvelike unaprijedila tehnička obrada, ne postoji tehnika instrumentacije ili sustav endodontskih instrumenata koji su klinički superiorni u svim situacijama i za sve korijenske kanale.

5. LITERATURA

1. Walton RE, Torabinejad M. Endodoncija: Načela i praksa. 4. izd. Zagreb: Naklada Slap; 2009. 476p.
2. Kranjčić J, Majdandžić M, Pandurić V. Instrumenti u endodontskoj terapiji. Sonda. 2009;9(17):43-7.
3. Baugh D, Wallace J. The role of apical instrumentation in root canal treatment: A review of the literature. *J Endod.* 2005;31(5):333–40.
4. Frisk F, Hugoson A, Hakeberg M. Technical quality of root fillings and periapical status in root filled teeth in Jönköping, Sweden. *Int Endod J.* 2008;41(11):958-68.
5. Patil R, Gondivkar SM, Gadbail AR, Yuwanati M, Gadbail MM, Likhitkar M, et al. Role of oral foci in systemic diseases: An update. *Int J Contemp Dent Med Rev.* 2017;1–8.
6. Li X, Kolltveit KM, Tronstad L, Olsen I. Systemic disease caused by oral infection. *Clinical Microbiology reviews. Clin Med Res.* 2000;13(4):547–58.
7. Bukmir RP, Glavičić S, Pršo IB. Tehnički aspekti endodontskog tretmana i utjecaj na zdravlje periapikalnog tkiva u presječnim studijama. *Med Flum.* 2014;50(3):259–67.
8. Segura-Egea JJ, Martín-González J, Castellanos-Cosano L. Endodontic medicine: Connections between apical periodontitis and systemic diseases. *Int Endod J.* 2015;48(10):933–51.
9. Matijević J, Čižmeković Dadić T Prpić Mehičić G, Anić I, Šlaj, Jukić Krmek S. Prevalence of apical periodontitis and quality of root canal fillings in population of Zagreb, Croatia: a cross-sectional study. *Croat Med J.* 2011; 52(6):679–87.
10. Thoden van Velzen SK, Abraham-Inpijn L, Moorers W R. Plaque and systemic disease: a reappraisal of the focal infection concept. *J Clin Periodontol.* 1984;11:209–20.
11. Puhar I. Stomatološki pacijent sa šećernom bolešću. Sonda. 2003;5(8-9):22-29.
12. Kohsaka T, Kumazawa M, Yamasaki M, Nakamura H. Periapical lesions in rats with streptozotocin-induced diabetes. *J Endod.* 1996 Aug;22(8):418-21.
13. Cintra TA, Estrela C, Azuma MM, Queiroz IOA, Kawai T, Gomes-Filho JE. Critical review Endodontic Therapy. 2018;32(1):66–81.

14. Laukkanen E, Vehkalahti MM, Kotiranta AK. Impact of systemic diseases and tooth based factors on outcome of root canal treatment. *Int Endod J.* 2019;52(10):1417–26.
15. Lechner J, Baehr V von. Impact of Endodontically Treated Teeth on Systemic Diseases. *Dentistry.* 2018;08(03).
16. Costa TH, Figueiredo Neto JA, Oliveira AE, Maia MFL, Almeida AL. Association between chronic apical periodontitis and coronary artery disease. *J Endod.* 2014;40(2):164-7.
17. An GK, Morse DE, Kunin M, Goldberger RS, Psoter WJ. Association of radiographically diagnosed apical periodontitis and cardiovascular disease: a hospital records-based study. *J Endod.* 2016;42(6):916-20.
18. Khalighinejad N, Aminoshariae A, Kulild JC, Sahly K, Mickel A. Association of end-stage renal disease with radiographically and clinically diagnosed apical periodontitis: a hospital-based study. *J Endod.* 2017;43(9):1438-41.
19. Haapasalo M, Orstavik D. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res.* 1987;66(8):1375–9.
20. Siqueira JF, Uzeda MD, Fonseca MEF. A scanning electron microscopic evaluation of *in vitro* dentinal tubule penetration by selected anaerobic bacteria. *J Endod.* 1996;22(6):308 – 10.
21. Perez F, Calas P, De Falguerolies A, Maurette A. Migration of a *Streptococcus sanguis* strain through the root dentinal tubules. *J Endod* 1993;19(6):297– 01.
22. Berkiten M, Okar I, Berkiten R. In vitro study of the penetration of *Streptococcus sanguis* and *Prevotella intermedia* strains into human dentinal tubules *J Endod.* 2000;26(4):236 – 9.
23. Waltimo T, Orstavik D, Siren EK, Haapasalo M. In vitro yeast infection of human dentin. *J Endod.* 2000;26(4):207–9.
24. Armitage GC, Ryder MI, Wilcox SE. Cemental changes in teeth with heavily infected root canals. *J Endod.* 1983;9(4):127–30.

25. Ando N, Hoshino E. Predominant obligate anaerobes invading the deep layers of root canal dentin. *Int Endod J.* 1990;23(1):20–7.
26. Love RM. Regional variation in root dentinal tubule infection by *Streptococcus gordonii*. *J Endod.* 1996;22(6):290–3.
27. Sen BH, Piskin B, Demirci T. Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM. *Endod Dent Traum.* 1995;11(1):6–9.
28. Xu K, Wang J, Wang K, Gen N, Li J. Micro-computed tomographic evaluation of the effect of the final apical size prepared by rotary nickel-titanium files on the removal efficacy of hard-tissue debris. *J Int Med Res.* 2018;46(6):2219–29.
29. Weiger R, De Lucena J, Decker H, Lost C. Vitality status of microorganisms in infected human root dentine. *Int. Endod J.* 2002;35(2):166–71.
30. Young GR, Parashos P, Messer HH. The principles of techniques for cleaning root canals. *Aust Dent J.* 2007;52(1):52-63.
31. Kuzekanani M. Nickel–Titanium rotary instruments: Development of the single-file systems. *J Int Soc Prevent Communit Dent.* 2018;8(5):386-90.
32. Grande NM, Ahmed HMA, 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;41(11):1778–83.
33. Paliska J, Janković B. Ručna instrumentacija korijenskih kanala STEP-BACK tehnikom; Sonda. 2009;9(17):57-60.
34. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18(2):269-96.
35. Kyomen SM, Caputo AA, White SN. Critical analysis of the balanced force technique in endodontics. *J Endod.* 1994;20(7):332–7.
36. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG. The “balanced force” concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1985;11(5):203–11.
37. Apical crown technique to model canal roots. A review of the literature. *Minerva Stomatol.* 2007;56(9):445-59.

38. Seidberg BH, Alibrandi BV, Fine H, Logue B. Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital tactile sense. *J Am Dent Assoc.* 1975; 90(2):379-87.
39. Jukić Krmek S, Mihaljević D, Simeon P, Karlović Z. Measurement of the Root Canal Length by Endometers ES-02 and ES-03. *Acta Stomatol Croat.* 2006;40(1):19–27.
40. Arora S, Tewari S. The morphology of the apical foramen in posterior teeth in a North Indian population. *Int Endod J.* 2009;42(10):930–9.
41. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J.* 1998;31(6):394–09.
42. Dalton BC, Ørstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod.* 1998;24(11):763-67.
43. Tang L, Sun T-q, X-j G, Zhou W-d, Huang D-m. Tooth anatomy risk factors influencing root canal working length accessibility. *Int J Oral Sci.* 2011;3(3):135–40.
44. Gutmann JL. Apical termination of root canal procedures—ambiguity or disambiguation? *Evidence-Based Endod.* 2016;1(1):1–22.
45. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000;89(1):99–03.
46. Gesi A, Mareschi P, Doldo T, Ferrari M. Apical dimension of root canal clinically assessed with and without periapical lesions. *Int J Dent.* 2014;2014: 374971.
47. Weine FS (1996) *Endodontic Therapy*, 5th edn. St. Louis, MO,USA: Mosby.
48. Wu MK, Barkis D, Roris A, Wesselink PR. Does the first file to bind correspond to the diameter of the canal in the apical region? *Int Endod J.* 2002;35(3):264–7.
49. Orstavik D. Kerekes K, Molven O. Effects of extensive apical reaming and calcium hydroxide dressing on bacterial infection during treatment of apical periodontitis: a pilot study. *Int Endod J.* 1991;24(1):1 –7.
50. Wu M, Wesselink PR. Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of the curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Path.* 1995;79(4):492– 6.

51. Siqueira J, Araujo M, Garcia P, Fraga R, Saboia Dantas C. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *J Endod.* 1997;23(8):499–02.
52. Tan B, Messer H. The quality of apical canal preparation using hand and rotary instruments with specific criteria for enlargement based on initial apical file size. *J Endod.* 2002;28(9):658–64.
53. Schäfer E, Schlingemann R. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2003;36:208-217.
54. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg.* 1977;44(2):306 –12.
55. Shuping G, Orstavik D, Sigurdsson A, Trope M. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod.* 2000;26(12):751–5.
56. Siqueira J, Lima K, Magalhaes F, Lopes H, de Uzeda M. Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *J Endod.* 1999;25(5):332–5.
57. Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the Minimum Instrumentation Size for Penetration of Irrigants to the Apical Third of Root Canal Systems. *J Endod.* 2006;32(5):417–20
58. Shuping GB, Ørstavik D, Sigurdsson A, Trope M. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod* 2000;26(12):751-5.
59. Kfir A, Moza-Levi R, Herteanu M, Weissman A, Wigler R. Apical extrusion of debris during the preparation of oval root canals: a comparative study between a full-sequence SAF system and a rotary file system supplemented by XP-endo finisher file. *Clin Oral Investig.* 2018;22(2):707–13.
60. Caviedes-Bucheli J, Castellanos F, Vasquez N, Ulate E, Munoz HR. The influence of two reciprocating single-file and two rotary-file systems on the apical extrusion of debris and its biological relationship with symptomatic apical periodontitis. A systematic review and

- meta-analysis. *Int Endod J.* 2016;49(3):255–70.
61. Jamleh A, Komabayashi T, Ebihara A, Nassar M, Watanabe S, Yoshioka T, et al. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: A preliminary investigation. *Int Endod J.* 2015;48(12):1103–11.
62. Tavanafar S, Karimpour A, Karimpour H, Mohammed Saleh A, Hamed Saeed M. Effect of Different Instrumentation Techniques on Vertical Root Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth. *J Dent (Shiraz, Iran)* 2015;16(1 Suppl):50–5.
63. De-Deus G, Belladonna FG, Marins JR, Silva EJNL, Neves A de A, Souza EM, et al. On the causality between dentinal defects and root canal preparation: A Micro-CT assessment. *Braz Dent J.* 2016;27(6):664–9.
64. Singh V, Nikhil V, Bansal P. Induction of dentinal microcracks during postspace preparation: A comparative microcomputed tomography study. *J Conserv Dent.* 2018;21(6):646-50.
65. De-Deus G, César de Azevedo Carvalhal J, Belladonna FG, Silva EJNL, Lopes RT, Moreira Filho RE, et al. Dentinal Microcrack Development after Canal Preparation: A Longitudinal in Situ Micro-computed Tomography Study Using a Cadaver Model. *J Endod.* 2017;43(9):1553–8.
66. Arias A, Lee YH, Peters CI, Gluskin AH, Peters OA. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: A pilot study with cadaver mandibles. *J Endod.* 2014;40(7):982-5.
67. Adorno CG, Yoshioka T, Jindan P, Kobayashi C, Suda H. The effect of endodontic procedures on apical crack initiation and propagation *ex vivo*. *Int Endod J.* 2013;46(8):763-8.
68. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 1981;89(4):321-8.
69. Dalton BC, Ørstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod.* 1998;24(11):763-7.
70. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J.* 2001;34(3):221-30.

6. ŽIVOTOPIS

Martina Jukić rođena je 21. 7. 1995. godine u Sinju. U svom rodnom gradu završava osnovnu školu „Marko Marulić“ nakon koje upisuje opću gimnaziju Dinka Šimunovića. Godine 2014. upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu koji završava 2020. godine. Tijekom studija volontirala je na Zavodu za dječju i preventivnu stomatologiju. Također, praktično znanje i iskustvo stječe asistiranjem u privatnoj stomatološkoj ordinaciji.