

Primjena ultrazvučnih tehnika ispiranja korijenskih kanala

Duić, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:127:367799>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial 3.0 Unported / Imenovanje-Nekomercijalno 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Petra Duić

**PRIMJENA ULTRAZVUČNIH TEHNIKA
ISPIRANJA KORIJENSKOG KANALA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Rad je ostvaren u Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju.

Mentor rada: prof.dr.sc. Ivana Miletić, Zavod za endodonciju i restaturativnu stomatologiju

Lektor hrvatskog jezika: Marija Gazzari, profesor hrvatskog jezika

Lektor engleskog jezika: Renata Keber, profesor engleskog jezika i književnosti

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 33 stranice

7 slika

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 diplomskog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihovog podrijetla.

Zahvala

Zahvaljujem dragoj mentorici, prof. dr. sc. Ivani Miletić, na strpljenju i nesebičnoj podršci prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Hvala mojim prijateljima koji su mi obogatili studentske dane i pretvorili ih u jedno prekrasno sjećanje.

Hvala mojoj Mariji što uvijek ima vremena za mene.

Najveća hvala mojim roditeljima, sestri i bratu na neizmjernej potpori, strpljenju i ljubavi.

PRIMJENA ULTRAZVUČNIH TEHNIKA ISPIRANJA KORIJENSKOG KANALA

Sažetak

Primarni je cilj endodontske terapije redukcija mikroorganizama i njihovih produkata iz korijenskog kanala. Endodontsko liječenje zuba postupak je koji se sastoji od mehaničke instrumentacije, kemijske obrade tekućinama za ispiranje i punjenja korijenskog kanala. Neovisno o tehnici instrumentiranja, ručnoj ili strojnoj, velik dio korijenskog kanala ostane neinstrumentiran zbog svojih anatomskih specifičnosti poput akcesornih i lateralnih kanala, istmusa, proširenja. Stoga je potrebno koristiti tekućine za ispiranje s antimikrobnim djelovanjem i sposobnošću otapanja zaostalog tkiva. Ne postoji irigans koji objedinjuje sve idealne karakteristike te se najčešće koristi kombinacija natrijeva hipoklorita i etilen diaminotene kiseline. Irigans učinkovito djeluje kada je u direktnom kontaktu sa zidom korijenskog kanala što je posebno bitno u apikalnom dijelu korijena. Konvencionalnim načinom ispiranja, štrcaljkom i iglom, ne uklanja se učinkovito zaostatni sloj apikalne trećine kanala naspram ultrazvučno aktivirane tekućine za ispiranje. Tijekom ultrazvučnog ispiranja energija se prenosi s oscilirajućeg instrumenta na irigans povećavajući stupanj čistoće kanala stvaranjem fenomena zvučnog mikrostrujanja i kavitacije. Na temelju pregledane literature usporedila se učinkovitost konvencionalnog i ultrazvučnog načina ispiranja korijenskog kanala.

Ključne riječi: endodontska terapija; tekućine za ispiranje; natrij hipoklorit; EDTA; ultrazvučno ispiranje

APPLICATION OF ULTRASONIC IRRIGATION TECHNIQUES IN A ROOT CANAL

Summary

The primary goal of endodontic therapy is the reduction of microorganisms and their products from the root canal. Endodontic dental treatment is a procedure consisting of mechanical instrumentation, chemical treatment with flushing irrigation fluids, and root canal filling. Regardless of the instrumentation technique, manual or machine, a large part of the root canal remains uninstrumented due to its anatomical specificities such as accessory and lateral canals, isthmus, enlargements. Therefore, flushing irrigation fluids with antimicrobial activity and ability to dissolve residual tissue should be used. There is no irrigant that combines all the ideal characteristics, and the combination of sodium hypochlorite and ethylene diaminoacetic acid is most commonly used. Irrigants work effectively when in direct contact with the root canal wall, which is especially important in the apical part of the root. The conventional rinsing method, syringe and needle, does not effectively remove the residual layer of the apical third of the root canal versus the ultrasonic activated rinsing fluid. During ultrasonic irrigation, energy is transferred from the oscillating instrument to the irrigant, increasing the degree of purity of the root canal by creating the phenomena of acoustic microstreaming and cavitation. The literature reference compared the effectiveness of conventional and ultrasonic root canal rinsing.

Keywords: endodontic therapy; irrigating solutions; sodium hypochlorite; EDTA; ultrasonic irrigation

SADRŽAJ

1. Uvod	1.
2. Sredstva za ispiranje korijenskog kanala	3.
2.1. Tekućine za ispiranje korijenskog kanala	3.
2.1.1. Natrijev hipoklorit	3.
2.1.2. Klorheksidin	5.
2.1.3. Kelatori	6.
2.1.3.1. Etilen diamintetraoctena kiselina	6.
2.1.3.2. Limunska kiselina	6.
2.1.4. QMix®	7.
2.2. Tehnika ultrazvučnog ispiranja korijenskog kanala	9.
2.2.1. Ultrazvuk	9.
2.2.2. Ultrazvučno ispiranje	10.
2.2.2.1. Zvučno strujanje	12.
2.2.2.2. Kavitacija	13.
2.2.3. Uklanjanje zaostatnog sloja	14.
2.2.4. Kontinuirano ili intermitentno ispiranje	14.
3. Rasprava	16.
4. Zaključak	21.
5. Literatura	23.
6. Životopis	32.

Popis skraćenica

CHX - klorheksidin

EDTA - etilendiamintetraoctena kiselina

E.faecalis - Enterococcus faecalis

MTAD - mineral trioksid agregat

MAF – (*eng*) master apical file, (*hrv*) glavni apikalni instrument

NaOCl - natrijev hipoklorit

PUI – (*eng*) passive ultrasonic irrigation, (*hrv*) pasivno ultrazvučno ispiranje

1. UVOD

Endodoncija je grana dentalne medicine koja se provodi kada dođe do otvaranja pulpne komore tijekom uklanjanja karijesa ili traume, do infekcije pulpnog tkiva te posljedično nekroze ili gangrene pulpe i periapikalnih promijena. Endodontsko liječenje zuba postupak je koji se sastoji od mehaničke instrumentacije korijenskog kanala ručnim ili strojnim instrumentima, kemijske obrade korijenskog kanala različitim tekućinama za ispiranje te njegovog brtvljenja materijalima za punjenje. Uspješnost endodontskog liječenja ovisi o uklanjanju ostataka vitalnog ili nekrotičnog pulpnog tkiva, mikroorganizama i njihovih toksina (1). Mehaničkom instrumentacijom uklanja se inficirano dentinsko tkivo i oblikuje korijenski kanal. Zbog složene anatomije i morfologije endodontskog prostora (lateralni i akcesorni kanali, istmusi, proširenja, apikalne delte, zavijenost korijenskog kanala) velika područja korijenskog kanala ostanu neinstrumentirana, bez obzira na tehniku instrumentacije, ručnu ili strojnu (2). Zaostatni sloj, koji zaostaje na stijenkama korijenskog kanala nakon instrumentacije, sastoji se od bakterija, nekrotičnog pulpnog tkiva, krvnih stanica, slina. Smatra se da može onemogućiti adekvatno djelovanje antimikrobnog sredstva i penetraciju sredstava za punjenje korijenskog kanala u dentinske tubule (3). Zbog toga je kemijska obrada korijenskog kanala neophodna pri uklanjanju zaostatnog sloja, bakterijskog biofilma i ostataka pulpe te infektivnog debrisa. Kao najčešće sredstvo za ispiranje korijenskog kanala koristi se natrijev hipoklorit u kombinaciji s etilendiamintetraoctenom kiselinom (EDTA) i klorheksidinom (4). Djelotvornost i uspješnost ispiranja ovisi o mehanizmu djelovanja irigansa i kontaktnoj površini sa svim strukturama korijenskog kanala koje se trebaju ukloniti (5). Igla i štrcaljka najčešće se koriste pri unosu sredstava za ispiranje u korijenski kanal (6). Nedostatak ove tehnike ispiranja nedovoljna je izmjena tekućine u korijenskom kanalu koja djeluje do 1-2 mm od vrha igle (7). Bakterije najviše zaostaju u apikalnim trećinama, istmusima, akcesornim i lateralnim kanalima, deltama ponajviše zbog velike površinske napetosti natrijeva hipoklorita. Stoga se u posljednje vrijeme istražuju novi oblici aktivnog ispiranja korijenskog kanala koji bi maksimalno dekontaminirali korijenski kanal. U takve tehnike spada ultrazvučno ispiranje korijenskog kanala, kojem je dokazana veća učinkovitost uklanjanja dentinskog debrisa u odnosu na klasično ispiranje iglom i štrcaljkom.

Svrha ovog rada je opisati primjenu ultrazvučnih tehnika ispiranja korijenskog kanala na temelju pregledane literature.

2. SREDSTVA ZA ISPIRANJE KORIJENSKOG KANALA

Uspjeh endodontske terapije ovisi o eradikaciji mikroorganizama iz korijenskog kanala i prevenciji reinfekcije (6). Svojstva idealnog kemijskog sredstva za ispiranje korijenskog kanala su antimikrobno djelovanje, sposobnost otapanja organskog i anorganskog materijala, mala površinska napetost, netoksičnost, lubrikacijsko djelovanje (8). No ni u današnjoj suvremenoj endodonciji ne postoji irigans sa svim tim karakteristikama. Tijekom ispiranja korijenskog kanala preporuča se koristiti dva ili više irigansa u različitim sekvencama kako bi se objedinile potrebne karakteristike za adekvatnu irigaciju (6).

2.1. Tekućine za ispiranje korijenskog kanala

Najčešće primjenjivana sredstva za ispiranje korijenskog kanala su natrijev hipoklorit, etilendiamintetraoctena kiselina, klorheksidin te u novije vrijeme kombinirana sredstva kao QMix[®] (EDTA, klorheksidin i deterdžent).

2.1.1 Natrijev hipoklorit

Natrijev hipoklorit (NaOCl) najčešće je upotrebljavana tekućina za ispiranje korijenskih kanala. Koristi se u koncentracijama između 0,5-6%, djeluje antimikrobno i otapa organsko, vitalno i nekrotično tkivo.

Koch i Pasteur proveli su kontrolirana laboratorijska istraživanja u 19. stoljeću na temelju kojih je hipoklorit ušao u široku primjenu kao dezificijens (9). Tijekom Prvog svjetskog rata kemičar Henry Drysdale Dakin i kirurg Alexis Carrel, na temelju vlastitih istraživanja djelovanja različitih otopina na nekrotična tkiva, upotrebljavali su puferiranu otopinu 0.5% natrijeva hipoklorita za ispiranje inficiranih rana (10). Godine 1919. Coolidge je preporučio upotrebu natrijeva hipoklorita kao glavnog irigansa u endodonciji zbog njegovog nespecifičnog eliminirajućeg djelovanja na sve mikrobe, sporocidnog i virucidnog djelovanja te jačeg otapajućeg djelovanja na nekrotična tkiva, nego na vitalna (11,12,13).

U navedenoj kemijskoj jednadžbi natrijev hipoklorit pokazuje dinamičku ravnotežu (14):



NaOCl se u vodi ionizira na natrijeve (Na^+) i hipoklorne ione (OCl^-) koji su u ravnoteži s hipoklornom kiselinom (HOCl). Ako prevladava hipoklorna kiselina, pH je niske ili neutralne vrijednosti, no ako dominiraju hipoklorni ioni, pH vrijednost je devet ili viša (11).

Mehanizam djelovanja sastoji se od nekoliko reakcija. NaOCl djeluje kao otapalo za organske tvari i masti razgrađujući ih na sapun i glicerol u reakciji saponifikacije čime se smanjuje površinska napetost preostale NaOCl otopine (14). Reakcijom neutralizacije NaOCl neutralizira aminokiseline stvarajući vodu i sol. Pri toj se reakciji troše hidroksilni ioni te dolazi do smanjenja pH (14). Hipoklorna kiselina u kontaktu s organskim tkivom djeluje kao otapalo i oslobađa klor koji s aminokiselinama stvara kloramine, a oni utječu na metabolizam stanica djelovanjem na bakterijske enzime (14). Klor, kao snažni oksidans, ima antimikrobno djelovanje tako da inhibira bakterijske enzime ireverzibilnom oksidacijom sulfhidrilnih (SH) skupina (14). Hipoklorna kiselina i hipoklorni ioni uzrokuju razgradnju aminokiselina i hidrolizu. NaOCl ima pH vrijednost između 11 i 12, a visoka pH vrijednost djeluje antimikrobno (14). Dodirom NaOCl-a i vitalnog tkiva nastaje kisik koji ima oksidacijsko djelovanje te onda i antimikrobno.

Zbog visoke površinske napetosti NaOCl-a potrebno je proširiti korijenski kanal barem do veličine #25 kako bi mogao djelovati u apikalnoj trećini korijenskog kanala koja je zahtjevna za dezinfekciju s obzirom na prisutnost akcesornih i lateralnih kanala te apikalnih delti (15).

NaOCl ima i svoje nedostatke kao što su toksičnost, neugodan okus i nemogućnost uklanjanja anorganskog dijela zaostatnog sloja.

NaOCl je posebno toksičan u visokim koncentracijama gdje već pri samom dodiru uzrokuje iritaciju tkiva (16).

Tijekom instrumentacije ispire se natrijevim hipokloritom, ali se preporuča koristiti i sredstvo koje uklanja anorganski dio zaostatnog sloja. Završno ispiranje ne preporuča se NaOCl-om zbog mogućnosti stvaranja erozija na dentinu (17).

2.1.2 Klorheksidin

Klorheksidin (CHX) pripada skupini bigvanida. Klorheksidin je snažna baza najviše stabilna u formi svojih soli. Originalne su soli bile klorheksidin acetat i hidroklorid koje su relativno slabo topive u vodi (18) i zamjenjene su klorheksidin glukonatom (9). Klorheksidin glukonat je kombinacija klorheksidina i glukonske kiseline (15).

Najznačajnije karakteristike klorheksidina su antimikrobni učinak i niska toksičnost. Također su opisana njegova fungicidna i virucidna djelovanja (15). Bakteriostatskim djelovanjem pri nižim temperaturama utječe na gram pozitivne i negativne bakterije, lipofilne viruse, gljive i dermatofite, dok pri višim temperaturama djeluje baktericidno (19, 20).

Klorheksidin je potentan antiseptik koji se koristi u koncentracijama od 0,1-0,2% za kemijsku kontrolu plaka, dok se u endodonciji koristi koncentracija od 2% (9, 21). Koncentracija od 2% djeluje iritirajuće na koži (18). Zagrijavanjem klorheksidina malih koncentracija povećava se njegova učinkovitost kao i kod natrijeva hipoklorita (22).

Ne može se koristiti kao glavni irigans u endodontskom tretmanu jer nema sposobnost otapanja vitalnog i nekrotičnog tkiva te mu je manji učinak na gram⁺ i gram⁻ bakterije u odnosu na hipoklorit (9).

Na bakterije djeluje kao pozitivno nabijena molekula s afinitetom prema negativno nabijenom staničnom zidu mikroorganizma. Interakcijom s negativno nabijenim fosfatnim grupama staničnog zida omogućava permeabilnost i ulazak sredstva u bakteriju. Sredstvo interferira s osmozom, dolazi do gubitka unutarstaničnih elemenata ili koagulacije plazme te stanične smrti (11). Kao pozitivno nabijena molekula veže se za tvrda tkiva te održava kroz određeno razdoblje antimikrobnu aktivnost (svojstvo substantivnosti). Aktivnost klorheksidina ovisi o pH i jako se smanjuje u prisutnosti organske tvari (23).

Pri upotrebi natrijeva hipoklorita i klorheksidina treba biti opazan jer može nastati obojenje dentina u obliku smeđih precipitata. Preporuča se koristiti fiziološku otopinu između ta dva irigansa. Također se ne preporuča kombiniranje klorheksidina i etilen diamintetraoctene kiseline (EDTA) zbog stvaranja precipitata bijele boje i smanjenja učinkovitosti EDTA (15).

2.1.3 KELATORI

Kelatori su organski spojevi s demineralizacijskim djelovanjem (9). Njihova je uloga uklanjanje zaostatnog sloja koji onemogućava djelovanje dezinfekcijskih sredstava i fizički "štiti" bakterijski biofilm u korijenskom kanalu ili okludira dentinske tubule (20). Različita sredstva rabe se kao kelatori: etilendiamintetraoctena kiselina (EDTA), limunska kiselina, fosforna kiselina. Mogu se naći u obliku tekućine ili gela.

2.1.3.1. Etilendiamintetraoctena kiselina

Etilendiamintetraoctena kiselina (EDTA) (slika) kelirajući je agens kemijske formule $(\text{HO}_2\text{CCH}_2)\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2$. Etilendiamintetraoctena kiselina molekula je koja veže dvovalentne i trovalentne metalne ione kao što su kalcij i aluminij kako bi stvorila stabilnu prstenastu strukturu (24). Jedna molekula EDTA-e na sebe veže maksimalno četiri iona kalcija iz dentina pri čemu nastane u vodi relativno stabilni kelatni kompleks (20).

EDTA otapa anorganski dio zaostatnog sloja, omekšava dentin te uklanja kalcifikacije kod obliteriranih korijenskih kanala (25). Najčešća koncentracija EDTA-e koja se upotrebljava je 17%. Uklanjanje zaostatnog sloja događa se već nakon jedne minute od aplikacije EDTA-e u korijenskom kanalu. Za dobivanje optimalnih rezultata u kliničkim uvjetima preporuča se ostaviti EDTA-u u korijenskom kanalu 15 minuta. EDTA ima sposobnost omekšavanja korijenskog dentina u debljini od 50 mikrometara (25).

2.1.3.2. Limunska kiselina

Limunska kiselina koristi se u koncentracijama od 1-50%, najčešće kao 10%-tna otopina (26). Koristi se kao adjuvantni irigans pri ispiranju korijenskog kanala koji ima slična svojstva kao i EDTA. Biokompatibilan je irigans sa svojstvom otapanja anorganskog dijela zaostatnog sloja, iako malo potentniji u odnosu na EDTA-u iste koncentracije (9, 27).

2.1.4. QMix®

QMix® je noviji endodontski irigans za uklanjanje zaostatnog sloja s poboljšanim antimikrobijalnim svojstvima. Sastoji se od EDTA-e, CHX-a i deterdženta (površinski aktivne tvari koja smanjuje površinsku napetost tekućine). Prozirna je tekućina čiji je pH malo viši od neutralnog (28). Miješanjem EDTA-e i CHX-a nastaju bijeli precipitati (29), a što se u navedenoj tekućini ne događa zbog njezinog kemijskog dizajna. Miješanjem QMix® tekućine s NaOCl-om ne nastaju nikakvi precipitati niti se mijenja boja tekućine u smeđu ili narančastu (28).

Stojčić i sur. (28) u svojem istraživanju prikazali su da QMix® i 1% NaOCl imaju gotovo jednak učinak u uklanjanju bakterije *Enterococcus faecalis*, ali i superiornu aktivnost protiv planktonskih i biofilmskih bakterija u odnosu na 2%-tni klorheksidin i MTAD. QMix® jednako učinkovito uklanja zaostatni sloj kao i 17% EDTA što se uočilo u broju djelomično otvorenih dentinskih tubulusa. Slične rezultate potvrdili su i Dai i sur. (30) u svome istraživanju.

QMix® tekućinu preporuča se koristiti tijekom završnog ispiranja, nakon NaOCl-a. MTAD i QMix® počinju se sve više koristiti kao finalni irigansi umjesto EDTA-e i NaOCl-a jer je dokazano da upotreba NaOCl-a nakon demineralizirajućeg irigansa uzrokuje dentalnu eroziju (28, 31).



Slika 1. Tekućine za ispiranje korijenskih kanala



Slika 2. Štrcaljke za ispiranje korijenskog kanala



Slika 3. Posebno konstruirane igle za ispiranje korijenskog kanala, Ultradent™, SAD

2.2 TEHNIKA ULTRAZVUČNOG ISPIRANJA KORIJENSKOG KANALA

Ultrazvučna instrumentacija korijenskog kanala u dentalnu medicinu uvedena je s ciljem preparacije kaviteta (32,33,34), ali nije zaživjela zbog upotrebe mnogo bržih i učinkovitijih uređaja (35). Drugačija ideja primjene prikazana je 1955. godine kada je Zinner predložio upotrebu ultrazvučnog instrumenta za uklanjanje naslaga s površine zuba (36). Johnson i Wilson potvrdili su takvu upotrebu te se od tada ultrazvučnim nastavcima uklanja zubni kamenac i plak s tvrdih zubnih površina (37). Richman je 1957. uveo ultrazvučnu instrumentaciju u endodonciju za irigaciju u terapiji korijenskog kanala Cavitron©-om (38). Martin i sur. (39) demonstrirali su sposobnost ultrazvučno aktiviranog K-tipa instrumenta da reže dentin što je našlo primjenu u preparaciji korijenskog kanala prije brtvljenja i punjenja kanala (40). No dokazano je da je teško kontrolirati rezanje dentina tijekom ultrazvučne preparacije pri čemu se, kao rezultat, javlja neadekvatna kontrola izrade oblika korijenskog kanala, apikalne perforacije i nepoželjni oblici korijenskog kanala (41, 42). Stoga se ultrazvučno aktivirani instrumenti učinkovitije primjenjuju u ispiranju korijenskog kanala.

2.2.1. Ultrazvuk

Ultrazvuk je zvučni val čija je frekvencija iznad područja ljudske čujnosti (iznad 20 000 Hz) (43). Dvije su osnovne metode proizvodnje ultrazvuka: magnetrostrikcija i piezoelektričnost.

Prvi je princip magnetrostrikcija koja pretvara elektromagnetsku u mehaničku energiju. Razne trake magnetrostiktivnog metala u ručnom su dijelu spojene sa stabilnim, izmjeničnim magnetskim poljem stvarajući vibracije. Druga metoda, temeljena na piezoelektričnom principu, koristi kristal koji mijenja veličinu kada je primijenjen električni naboj. Kad se kristal deformira, nastupaju mehaničke oscilacije bez proizvodnje topline. Nedostatak magnetrostrikcijske metode je da oscilacijom tvori pomak koji opisuje osmicu, a to nije idealno za endodontsku upotrebu. Uz to, navedene jedinice generiraju toplinu što zahtijeva odgovarajuće hlađenje. Nasuprot navedenoj metodi, piezoelektrične jedinice postižu višu radnu frekvenciju, tj. 40 kHz, znatno više od 24 kHz ostvarivih magnetrostrikcijom. Štoviše, vrh piezoelektrične jedinice proizvodi linearni pokret koji je prihvatljiviji za endodontski tretman (40).

Najbitnija prednost je ta da ultrazvučni nastavak ne rotira te stoga osigurava sigurnost i kontrolu zadržavajući visoku učinkovitost rezanja. Čvorovi i antičvorovi nastaju duž cijele duljine endodontskog instrumenta, aktivirani uz pomoć 30 kHz piezoelektričnog motora, što je u stomatološkoj praksi fiksna vrijednost frekvencije oscilirajućeg instrumenta. Tako se amplituda pomaka instrumenta ne povećava linearno s povećanjem snage motora (44). Nastajanje čvorova i antičvorova posebno je važno za nepristupačne kanale ili zaostale prelomljene instrumente u korijenskom kanalu. Ovaj pokret je idealan i za endodontsku kirurgiju kada se zub priprema za retrogradno punjenje (43).

2.2.2. Ultrazvučno ispiranje

U literaturi su opisana dva načina ultrazvučnog ispiranja: ultrazvučno ispiranje s instrumentacijom i ultrazvučno ispiranje bez instrumentacije. Ultrazvučno ispiranje korijenskog kanala bez simultane instrumentacije naziva se pasivno ultrazvučno ispiranje (PUI) (43). Tijekom ultrazvučne instrumentacije, instrument je namjerno u kontaktu sa zidom korijenskog kanala (5). Dokazano je da je ultrazvučna instrumentacija s ispiranjem manje učinkovita u uklanjanju pulpnog tkiva i zaostatnog sloja u odnosu na PUI (5,45,46). Takav je način pripreme korijenskog kanala u suvremenoj kliničkoj praksi napušten zbog veće mogućnosti nastanka „stepenica“, apikalnih zipova, radikularnih perforacija, posebice u zavijenim kanalima (47).

Pojam *pasivno ultrazvučno ispiranje* prvi je opisao Weller i sur. (45) 1980. godine, a riječ „pasivno“ odnosi se na aktivirani ultrazvučni instrument koji ne reže dentin korijenskog kanala svojim pomicanjem. PUI funkcionira na prijenosu energije od oscilirajućeg instrumenta ili glatke žice na sredstvo za ispiranje u korijenskom kanalu. Energija je prenesena u obliku ultrazvučnih valova koji induciraju pojave zvučnog mikrostrujanja i kavitacija u sredstvu za ispiranje (5).

Postupak je sljedeći: nakon oblikovanja korijenskog kanala MAF-om, neovisno o vrsti tehnike oblikovanja korijenskog kanala, mali instrument ili glatka žica (veličine npr. #15) postavi se u centar korijenskog kanala, sve do apikalne regije. Kanal se ispuni tekućinom za ispiranje te aktivira ultrazvučno oscilirajućim instrumentom/žicom (5). Zbog unaprijed oblikovanog kanala, instrument ili žica slobodno se kreću što omogućava irigansu lakši pristup u apikalni dio kanala te pojačava njegov učinak. Mogućnost nastanka neadekvatnog

oblika kanala dovedena je na minimum. Instrumenti veći od #20 ne preporučaju se za upotrebu, osim u jako širokim kanalima, zbog smanjene mogućnosti proizvodnje mikrostrujanja i zapinjanja instrumenta u kanalu (46).



Slika 4. Piezo ultrazvučni uređaj za irigaciju, W&H™, Austrija



Slika 5. EndoUltra® je bežični ultrazvučni kolječnik za ispiranje kanala

2.2.2.1. Zvučno strujanje

Zvučno je strujanje brzo kretanje tekućine u kružnom ili vrtložnom gibanju oko vibrirajućeg instrumenta (48). Zvučno strujanje koje se javlja u korijenskom kanalu tijekom ultrazvučnog ispiranja naziva se *zvučno mikrostrujanje*. Zvučno mikrostrujanje pojavljuje se uz male prepreke unutar pobuđenog zvučnog polja u blizini malih izvora zvuka te vibrirajućih membrana ili žica. Fenomen zvučnog mikrostrujanja nastaje uslijed sila trenja između granice i medija prenoseći vibracije kružne frekvencije (49). Uzorak strujanja odgovara karakterističnom obrascu čvorova i anti-čvorova duž duljine oscilirajućeg instrumenta. Amplituda je pomaka maksimalna na vrhu instrumenta, uzrokujući usmjereni tok prema koronarnom dijelu korijenskog kanala (46). Kada instrument dotakne zid korijenskog kanala pri anti-čvoru, pojavit će se veća redukcija amplitude pomaka nego kada dotakne zid sa čvorom. Kada se instrument ne može slobodno kretati u korijenskom kanalu, zvučno će mikrostrujanje biti manjeg intenziteta, ali neće u potpunosti prestati (5). U zavijenim će kanalima preoblikovani instrumenti izazvati jači učinak mikrostrujanja (5, 41).

Intenzitet zvučnog mikrostrujanja izravno je povezan s brzinom strujanja prema izrazu:

$$v = \frac{\omega \varepsilon_0^2}{a},$$

gdje v označava brzinu strujanja tekućine, ω je 2π puta frekvencija upravljanja, ε_0 je amplituda pomaka, a je radijus žice. Prema jednadžbi može se zaključiti da tanji instrument uzrokuje:

- Višu frekvenciju
- Veće vlastite amplitude pomaka
- Veću brzinu strujanja
- Jači učinak mikrostrujanja (5).

Smični protok uzrokovan zvučnim mikrostrujanjem izaziva smično naprezanje duž zida korijenskog kanala i uklanja debris i bakterije sa zida (50).

2.2.2.2. Kavitacija

Kavitacija u kontekstu mehanike fluida može se opisati kao impulzivna formacija šupljina u tekućini pomoću vlačne sile inducirane ubrzanim protokom ili protokom gradijenata. Nastali mjehurići se šire i brzo se raspadaju producirajući energiju koja dovodi do jakog zvuka i oštećenja. Akustična kavitacija se može definirati kao stvaranje novih mjehurića ili širenje, stezanje i/ili distorzija postojećih mjehurića u tekućini (49).

Prema prijašnjim istraživanjima (51) mogu nastupiti dvije vrste kavitacija tijekom PUI: stabilna i tranzijentna kavitacija. Stabilna kavitacija se definira kao linearna pulsacija tijela ispunjenih plinom u ultrazvučnom polju niske amplitude. Tranzijentna kavitacija javlja se kada mjehurići ispare zbog visoke energetske pulsacije. Kada su zvučni tlakovi dovoljno visoki, može nastupiti implozija mjehurića, koja otpušta snažne valove proizvodeći visoke tlakove plina i temperature. Energija kavitacije je tolika da su prilikom implozije mjehurića plina temperature i tlak vrlo visoki, a stvara se i svjetlost (sonoluminescencija) (52, 53).

Tranzijentna kavitacija javlja se samo kad instrument može slobodno titrati u korijenskom kanalu ili kad nenamjerno dotakne zid korijenskog kanala (51). Ona je uočena na apikalnom vrhu i cijelom duljinom instrumenta. Kontakt instrumenta i zida korijenskog kanala više je utjecao na tranzijentnu nego li na stabilnu kavitaciju što je bilo vidljivo na sredini instrumenta. U zavijenim kanalima preoblikovani instrumenti izazvali su veću tranzijentnu kavitaciju u odnosu na ravne žice (51).

Stajalište nekih istraživača je da kavitacija ima minoran učinak u ultrazvučnom ispiranju ili da se uopće ne pojavljuje (48, 50).

2.2.3. Uklanjanje zaostatnog sloja

Nakon kemijsko-mehaničke instrumentacije korijenskog kanala na zidovima se nalazi zaostatni sloj. Zaostatni je sloj debljine 1-2 μm . Sastoji se od nakupina čestica anorganskog tkiva, organskih sastojaka, krvnih stanica, vode, sline i mjehurića zraka (54). Može sadržavati i bakterije i njihove produkte. Potrebno ga je ukloniti kako bi se omogućilo adekvatno svezivanje punila i zida korijenskog kanala (55).

Smatra se da PUI uklanja zaostatni sloj, ali još nije usuglašen protokol kojim se određuje vrsta i količina aktiviranog irigansa te njegovo radno vrijeme (56,57,58).

1% NaOCl u kombinaciji sa EDTA-om učinkovito uklanja zaostatni sloj (57, 59, 60). Štoviše, u nekim istraživanjima 1% NaOCl pokazao je jednaku antibakterijsku aktivnost kao i više koncentracije istog irigansa. Njegovom upotrebom mogu se umanjiti štetni učinci slučajnog istiskivanja i erozivne promjene na dentinu (61,62,63). No u apikalnom dijelu kanala nije pokazao veću učinkovitost u odnosu na klasično ispiranje štrcaljkom (56).

Dokazan je sinergijski učinak ultrazvučnog ispiranja i 2,5% NaOCl-a što rezultira poboljšanim svojstvom uklanjanja zaostatnog sloja, otapanjem tkiva i eliminaciji bakterija (55, 64). Smatra se da je vremenski dovoljno 30 sekundi ili 1 minuta za uklanjanje zaostatnog sloja (65). Aplikacija NaOCl štrcaljkom svake minute bila je jednako učinkovita kao i kontinuirani protok NaOCl tijekom 3 minute pasivnog ultrazvučnog ispiranja u uklanjanju ostataka dentina (66).

2.2.4. Kontinuirano ili intermitetno ispiranje

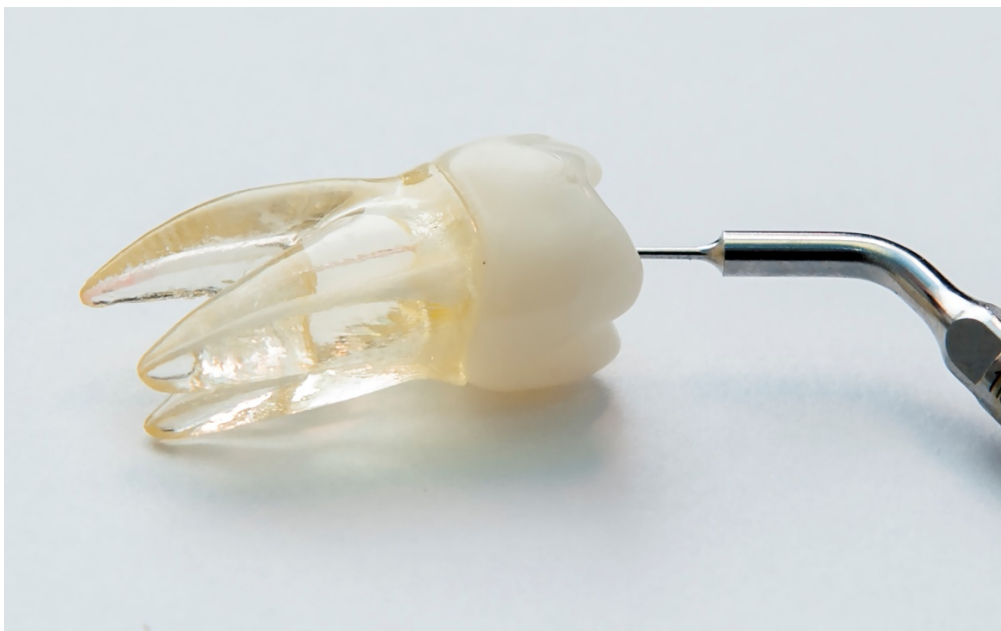
Tijekom pasivnog ultrazvučnog ispiranja mogu se primijeniti dvije metode ispiranja: kontinuirano i intermitentno ispiranje (67). Kontinuirano ispiranje osigurava neprekidan dotok svježeg irigansa u korijenski kanal. Prilikom primjene NaOCl-a to je izuzetno bitno jer klor, koji osigurava antibakterijsko svojstvo i otapa organska tkiva (9), je nestabilan i brzo se troši, već u roku od 2 minute (68). Prema nekim autorima (69) ova tehnika omogućuje uspješnije rezultate i reducira vrijeme potrebno za ultrazvučnu irigaciju.

Štrcaljkom unesen irigans u korijenski kanal je tehnika intermitentnog protoka. Irigans je aktiviran oscilirajućim ultrazvučnim instrumentom i potrebno je ponovo napuniti kanal nakon svakog ciklusa. Volumen irigansa koji se unosi može se kontrolirati za razliku od

kontinuirane tehnike. Obje metode pokazale su se kao učinkovite u uklanjanju debrisa iz kanala na ex vivo modelima kroz 3 min (46, 70).



Slika 6. Igla štrcaljke u plastičnom zubu



Slika 7. Nastavak ultrazvučnog uređaja u plastičnom zubu

3.RASPRAVA

Najčešći razlog neuspjeha endodontskog liječenja povezan je sa zaostalim bakterijama i njihovim produktima u korijenskom kanalu. Apikalna trećina korijenskog kanala relativno je nedostupno područje za potpunu dezinfekciju. Iako ima manju gustoću dentinskih tubula, velika je vjerojatnost pronalaska akcesornog kanala (71). Produkt gram negativnih bakterija, lipopolisaharid, je endotoksin koji zaostaje u zidu korijenskog kanala kod perzistentnih infekcija te se povezuje s pojavom simptoma u pacijenata i gubitkom kosti. Neučinkovito uklanjanje mikroorganizama i faktora virulencije održava postojanje apikalnog periodontitisa (72). Stoga je potrebna adekvatna eliminacija ili redukcija bakterija i endotoksina tijekom endodontskog liječenja kako bi se osigurao proces cijeljenja (73).

Mehanička instrumentacija korijenskog kanala endodontskim instrumentima limitirana je kompleksnom anatomijom kanala. Stoga je potrebna kemijska obrada korijenskog kanala za eliminiranje bakterija i otapanje organskog tkiva. Ne postoji jednoglasan konsenzus oko toga koja bi se tekućina i koje bi se koncentracije za ispiranje trebale koristiti.

Natrijev hipoklorit se najčešće upotrebljava zbog dobrog antimikrobnog djelovanja, sposobnosti otapanja organskih i nekrotičnih tkiva, niske cijene i široke dostupnosti. Koristi se u različitim koncentracijama (1%, 2,5%, 5% NaOCl), ali studije pokazuju da nema razlike u antibakterijskom učinku (74). Sve navedene koncentracije NaOCl sposobne su eliminirati sojeve bakterija kao što su *E. faecalis*, *Porphyromonas endodontalis*, *Porphyromonas gingivalis*, and *Prevotella intermedia* samo u različitom vremenu djelovanja (75). Niskim koncentracijama NaOCl-a može se povećati djelotvornost uklanjanja organskog tkiva zagrijavanjem otopine čime se postiže jednaka djelotvornost poput visoke koncentracije NaOCl-a (9). Prilikom ispiranja kanala preporuča se ipak koristiti NaOCl niže koncentracije jer viša koncentracija NaOCl-a (5,25%) uzrokuje smanjenje modula elastičnosti i čvrstoću na savijanje zbog proteolitičkog djelovanja koncentriranog hipoklorita na kolageni matriks dentina (9). NaOCl vrlo je uspješan kao hemostatski agens u direktnom prekrivanju pulpe jer je biološki kompatibilan s eksponiranim pulpnim tkivom (76).

EDTA je irigans koji ima ograničeno ili nikakvo svojstvo antimikrobnog djelovanja (77). Kotula i Bordácová (78) naznačili su u svome istraživanju da je antimikrobni učinak EDTA-e bio održan sve dok kelatori nisu formirali veze s metalnim ionima (24). Yoshida i sur. (79) dokazali su vjerojatnost antibakterijskog svojstva EDTA uz ultrazvučnu tehniku ispiranja. Korijenski kanali su nakon 7 dana bez ikakvog intrakanalnog medikamenta bili u većini

slučajeva bez bakterija (24). Bystrom and Sundqvist (80) prikazali su da je uspješnija kombinacija EDTA i 5% NaOCl u antibakterijskoj aktivnosti nego NaOCl kao jedini irigans (24). Nygaard-Ostby (81) procijenili su učinak 15% EDTA na pulpu i periapikalna tkiva nakon forsiranog prolaska irigansa kroz apikalni foramen u periapeks pri čemu se nije zamjetilo nikakvo oštećenje periapikalnog tkiva ni nakon 14 mjeseci od postupka. Također je opisana primjena EDTA nakon pulpotomije gdje se ni nakon 28 dana nije pojavila nekroza pulpnog tkiva (24). Segura i sur. (82) prikazali su da i niska koncentracija EDTA koja prođe kroz apikalni foramen uzrokuje ireverzibilnu dekalifikaciju periapikalne kosti i djeluje na neuroimunološki regulatorni mehanizam (24).

EDTA se koristi kao komplementarni irigans uz NaOCl koji osigurava uklanjanje detritusa te proteolitičko djelovanje na organski dio zaostatnog sloja (25). Preporuka je da se ne koristi naizmjenično NaOCl i EDTA prilikom ispiranja instrumentiranog korijenskog kanala zbog suprotnog međudjelovanja (26). Kemijske reakcije između kelatora i NaOCl smanjuju količinu slobodnog klora čime se smanjuje antimikrobni učinak i sposobnost otapanja organskog dijela zaostatnog sloja NaOCl-a (26).

Za završno ispiranje obrađenog korijenskog kanala etilendiaminocetna kiselina koristi se za uklanjanje zaostatnog sloja, a natrijev hipoklorit kao posljedni irigans. To je najčešće upotrebljavan protokol u endodontici (83). No dokazano je da NaOCl kao posljednji irigans uzrokuje značajnu eroziju dentina korijenskog kanala (17). Stoga se javila potreba za pronalaskom nove tekućine za ispiranje s manje štetnim djelovanjem. QMix[®] je tekućina koja se predlaže kao irigans u završnom ispiranju zbog sposobnosti uklanjanja zaostatnog sloja, dezorganizacije bakterijskog filma i antimikrobne aktivnosti (83). Također, njezino djelovanje nije povezano sa nastankom erozije dentina (84, 85).

Nakon oblikovanja korijenskog kanala, završno ispiranje može se upotpuniti ultrazvučnom instrumentacijom ili klasičnim ispiranjem štrcaljkom i iglom. PUI ostvaruje veću učinkovitost u uklanjanju zaostalog pulpnog tkiva, dentalnog debrisa i planktonskih bakterija (55, 86- 89). Ispiranje korijenskog kanala štrcaljkom i iglom slabije je učinkovitosti jer ovisi o anatomiji kanala, dubini postavljanja igle i promjeru igle. Dokazano je da irigansi mogu istjecati samo 1 mm od vrha igle (90, 91, 92, 93). Stoga dezinfekcija apikalnog dijela korijena ostaje i dalje otežani postupak iako se vidi poboljšanje uklanjanja detritusa u širim apeksima. Povećanje volumena tekućine nema značajno veću učinkovitost pri ispiranju te uklanjanju infektivnog

debrisa. Olakšan, direktan pristup apikalnom dijelu kanala čine tanje igle (promjer 30). Tanke igle za ispiranje sa sigurnosim vrhom postavljene na radnu dužinu ili 1 mm kraće, omogućavaju bolju učinkovitost ispiranja korijenskog kanala štrcaljkom i iglom (40).

Jačina protoka irigansa iz štrcaljke je mnogo slabija u usporedbi sa ultrazvučnom tehnikom ispiranja. Snažnijim protokom tekućine PUI ostvaruje fenomene zvučnog mikrostrujanja i kavitacije koji pridonose boljem uklanjanju dentinskog debrisa i biofilma (55). Maksimalni će učinak strujanja biti kada vrh tankog instrumenta bude slobodno vibrirao u tekućini (46). Kavitacija može oslabjeti membranu bakterije što će je učiniti propusnom za kemoaktivni irigans (94). Histološkom analizom prikazano je manje organskih ostataka u kanalu ispranim ultrazvučno aktiviranom tekućinom nego u onom s konvencionalnim ispiranjem (55, 95). Nadalje, veća brzina irigansa nastala zbog oscilirajućeg instrumenta i veći volumen tekućine drugi razlog su veće učinkovitosti PUI-e (40).

Prema literaturi aktivacijsko vrijeme pasivne ultrazvučne irigacije varira od 20 sekundi do 5 minuta (65, 87, 96), iako je zabilježeno da je u jednoj minuti uklonjen zaostatni sloj iz apikalne trećine (57, 60, 97). Nema dokaza da PUI s vodom kao irigansom uklanja zaostatni sloj (5). Stoga se kemijski aktivna tekućina za ispiranje mora kombinirati s tehnikom koja olakšava pristup teško dostupnim područjima kanala. Najznačajniji su učinak ostvarili NaOCl i EDTA zajedničkim djelovanjem potaknuti PUI-om (57).

Ultrazvučnom aktivacijom povećava se antibakterijska aktivnost natrijeva hipoklorita tako da se potakne brža izmjena tvari u kanalu, omogućava zagrijavanje irigansa i eliminiraju dentinski ostatci (98).

Prema literaturi preporuča se ispiranje natrijevim hipokloritom u vremenskom roku od 30 sekundi do 3 minute iako još nije usuglašen točan protokol ispiranja. Kraća ultrazvučna irigacija omogućava lakše centriranje instrumenta u kanalu (99).

Cameron (95) je dokazao da uklanjanje zaostatnog sloja sa 3% NaOCl-om tijekom 3-5 minuta je učinkovitije od 1 minutnog ispiranja jednakom koncentracijom irigansa. 5% otopina NaOCl-a učinkovitija je u uklanjanju zaostatnog sloja u apikalnoj i srednjoj trećini korijenskog kanala tijekom 3 minute PUI nego 0,5% koncentracija NaOCl-a (100).

Pasivnim ultrazvučnim ispiranjem aktivirana 17% EDTA s intermitentnim protokom u trajanju od 30 sekundi i dopunom od 2 puta učinkovito je uklonila zaostatni sloj u kanalu i reducirala količinu endotoksina (101).

EDTA se za uklanjanje zaostatnog sloja i otvaranje dentinskih tubula pokazala kao bolji irigans u odnosu na NaOCl, a ultrazvučna irigacija nije značajno pridonijela uklanjanju zaostatnog sloja (102). Nasuprot tome prema drugim istraživanjima ultrazvučna aktivacija EDTA-e tijekom 1 minute značajno je uklonila zaostatni sloj i debris iz apikalnog dijela korijenskog kanala (103).

Finalnom irigacijom, neovisno o manualnoj ili ultrazvučnoj aktivaciji, QMix[®] je sa 100% učinkovitošću eradicao *E.faecalis* i *E.coli* bakterije iz korijenskog kanala. Kombinacija QMix[®]-a sa PUI-om bila je superiornija u redukciji endotoksina u odnosu na EDTA-u (83).

Međutim, neka istraživanja pokazuju da, iako se smanjuje broj preživjelih kolonija bakterija kada se koristi ultrazvučna aktivacija, niti jedna tehnika ne može osigurati potpunu dezinfekciju korijenskog kanala (104).

Završno ispiranje korijenskog kanala bitan je korak za eliminaciju mikroorganizama i njihovih produkata koji zaostanu nakon kemijsko mehaničke preparacije. U inicijalnoj je fazi preparacije prikladna tehnika za kliničku uporabu klasično ispiranje štrcaljkom i iglom. Značajno je povećan stupanj dezinfekcije korijenskog kanala postignut je tehnikom ultrazvučnog ispiranja. Tehnika ultrazvučnog ispiranja osigurava kontinuirani pokret irigansa i stvara fenomene zvučnog mikrostrujanja i kavitacije koji uspješnije čiste korijenski kanal. No još uvijek nije moguće postići potpunu dezinfekciju kanala zbog anatomske kompleksnosti korijenskog kanala. Daljnim istraživanjima potrebno je usavršiti protokol ultrazvučne tehnike korijenskog kanala kako bi se napravilo što uspješnije endodontsko liječenje.

5. LITERATURA

1. Miladinović M, Radić T, Bago Jurič I, Suvremene tehnike ispiranja korijenskih kanala u endodonciji. *Sonda*. 2013;14(26):12–4.
2. Paque´ F, Balmer M, Attin T, Peters OA, Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instrumentation: a micro-computed tomography study. *J Endod*. 2010;36:703–7.
3. Shahravan, A., Haghdoost, A. A., Adl, A., Rahimi, H., & Shadifar, F. Effect of Smear Layer on Sealing Ability of Canal Obturation: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Endod*. 2007;33(2), 96–105.
4. Briseno BM, Wirth R, Hamm G, Standhartinger W. Efficacy of different irrigation methods and concentrations of root canal irrigation solutions on bacteria in the root canal. *Endod Dent Traumatol*. 1992;8:6–11.
5. Van Der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature. *Int Endod J*. 2007;40(6):415–26.
6. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*. 2010;54:291–312
7. Boutsoukis L, Lambrianidis T, Kastrinakis E, i sur. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int Endod J*. 2007;40:504–13.
8. Torabinejad M., Walton R., editors. *Endodoncija: načela i praksa*. 4th ed. ; Anić I. translator et al. Jastrebarsko: Naklada Slap;2009.,475p.
9. Zehnder M. Root Canal Irrigants. *J Endod*. 2006;32(5):389–98.
10. Dakin HD. On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds. *BMJ*. 1915 Aug; 2(2852): 318-320.
11. McDonnell G, Russell D. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clin Microbio Rev*. 1999; 12:147-179.
12. Austin JH, Taylor HD. Behavior of Hypochlorite and of Chloramine-T Solutions in Contact With Necrotic and Normal Tissues in Vivo. *J Exp Med*. 1918; 27(5):627–33.
13. Coolidge ED. The diagnosis and treatment of conditions resulting from diseased dental pulps. *J Nat Dent Assoc*. 1919;6:337-349.
14. Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J*. 2002;13(2):113–7.
15. Jukić Krmek S., Baraba A., Klarić E., Marović D., Matijević J. *Pretklinička endodoncija*. Zagreb: Medicinska Naklada; 2017. 161p.

16. Hauman CH, Love RM. Biocompatibility of dental materials used in contemporary endodontic therapy: a review. Part 1. Intracanal drugs and substances. *Int Endod J.* 2003;36:75-85.
17. Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, et al. A scanning electron microscopic study of dental erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *Int Endod J.* 2002;35:934-9.
18. Foulkes DM. Some toxicological observations on chlorhexidine. *J Periodontal Res Suppl.* 1973;12:55–60.
19. Glockmann E, Oehring H, Glockmann i, Lange G. Sensitivity of microorganisms of infected root canals to disinfectants. *Z Gesamte Hyg.* 1989;35;567-9.
20. Opačak I, Medvedec I, Prpić-Mehičić G prof. dr. sc. Sredstva za ispiranje korijenskih kanala. *Sonda.* 2009;10(19): 58–62.
21. Zamany A, Safavi K, Spångberg LS. The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:578–81.
22. Evanov C, Liewehr F, Buxton TB, Joyce AP. Antibacterial efficacy of calcium hydroxide and chlorhexidine gluconate irrigants at 37 degrees C and 46 degrees C. *J Endod.* 2004;30:653–7.
23. Russell AD, Day MJ. Antibacterial activity of chlorhexidine. *J Hosp Infect* 1993;25:229–38.
24. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *Eur J Dent.* 2013 Sep;7(5 Suppl 1): S135-S142.
25. Kovac J, Kovac D. Effect of irrigating solutions in endodontic therapy. *Bratislava Med J.* 2011;112(7):410–5.
26. Rossi-Fedele G, Dođramaci EJ, Guastalli AR, Steier L, de Figueiredo JA. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid. *J Endod.* 2012;38:426-31.
27. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod.* 2005;31:817–20.
28. Stojicic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMix®. *Int Endod J.* 2012;45(4):363–71.
29. Rasimick BJ, Nekich M, Hladek MM, Musikant BL, Deutsch AS. Interaction between chlorhexidine digluconate and EDTA. *J of Endod.* 2008;34, 1521–3.

30. Dai L, Khechen K, Khan S, Gillen B, Loushine BA, Wimmer CE, et al. The effect of QMix[®], an experimental antibacterial root canal irrigant, on removal of canal wall smear layer and debris. *J Endod.* 2011;37(1):80–4.
31. Qian W, Shen Y, Haapasalo M. Quantitative analysis of the effect of irrigant solution sequences on dentin erosion. *J Endod.* 2011;37, 1437–41.
32. Catuna MC. Ultrasonic energy: a possible dental application. Preliminary report of an ultrasonic cutting method. *Ann Dent* 1953;12:256–60.
33. Postle HH. Ultrasonic cavity preparation. *J Prosthet Dent.* 1958;8:153– 60.
34. Balamuth L. The application of ultrasonic energy in the dental field. In: Brown B, Gordon D, eds. *Ultrasonic techniques in biology and medicine.* London: Ilife; 1967: 194–205.
35. Street EV. Critical evaluation of ultrasonics in dentistry. *J Prosthet Dent* 1959;9:32–41.
36. Zinner DD. Recent ultrasonic dental studies including periodontia, without the use of an abrasive. *J Dent Res* 1955;34:748 –9.
37. Johnson WN, Wilson JR. Application of the ultrasonic dental unit to scaling procedures. *J Periodontol* 1957;28:264–71.
38. Richman RJ. The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *Med Dent J* 1957;12:12– 8.
39. Martin H. Ultrasonic disinfection of the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1976; 42:92–9.
40. Plotino G, Pameijer CH, Maria Grande N, Somma F. Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *J Endod.* 2007;33(2):81–95.
41. Stock CJR. Current status of the use of ultrasound in endodontics. *International Dental Journal.* 1991;41, 175–82.
42. Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW. Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *J Endod.* 1992;18, 616–9.
43. Mozo S, Llana C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: Increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2012 May;17(3):e512-6.
44. Lea SC, Walmsley AD, Lumley PJ. Analyzing Endosonic Root Canal File Oscillations : An In Vitro Evaluation. *J Endod.* 2010;36(5):880–3.
45. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod.* 1980; 6, 740–3.

46. Ahmad M, Ford TRP, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endod.* 1987;13(10):490-9.
47. Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. in vitro comparison of debris removed of the Endoactivator System, the F File, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod.* 2010; 36:1367–71.
48. Walmsley AD. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J.* 1987;20, 105–11.
49. Leighton TG (1994) *The Acoustic Bubble*, Chapter 1 and 2. New York: Academic Press.
50. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *J Endod.* 1988;14, 486–93.
51. Roy RA, Ahmad M, Crum LA. Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *Int Endod J.* 1994;27, 197–207.
52. Crum LA. Sonoluminescence. *Phys Today.* 1994;9, 22–9.
53. Brenner MP, Hilgenfeldt S, Lohse D. Single bubble sonoluminescence. *Rev Mod Phys.* 2002; 74, 425– 84.
54. Tarle Z, Knežević A. Podjela caklinsko dentinskih adhezijskih sustava. *Sonda.* 2004; 6(11):31–4.
55. Chen S, Liu J, Dong G, Peng B, Yang P, Chen Z, et al. Comparison between ultrasonic irrigation and syringe irrigation in clinical and laboratory studies. *J Oral Sci.* 2016; 58(3):373–8.
56. Schmidt TF, Teixeira CS, Felipe MCS, Felipe WT, Pashley DH, Bortoluzzi EA. Effect of Ultrasonic Activation of Irrigants on Smear Layer Removal. *J Endod.* 2015;41(8).
57. Kuah HG, Lui JN, Tseng PS, Chen NN. The effect of EDTA with and without ultrasonics on removal of the smear layer. *J Endod.* 2009;35:393–6.
58. Jiang LM, Lak B, Eijsvogels LM, et al. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *J Endod.* 2012;38:838–41.
59. Teixeira CS, Felipe MC, Felipe WT. The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis. *Int Endod J.* 2005;38: 285–90.
60. Lui JN, Kuah HG, Chen NN. Effect of EDTA with and without surfactants or ultrasonics on removal of smear layer. *J Endod.* 2007;33:472–5.

61. Siqueira JF Jr, Rocas IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod.* 2000;26:331–4.
62. Arias-Moliz MT, Ferrer-Luque CM, Espigares-Garcia M, Baca P. Enterococcus faecalis biofilms eradication by root canal irrigants. *J Endod.* 2009;35:711–4.
63. Pashley EL, Birdsong NL, Bowman K, Pashley DH. Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. *J Endod.* 1985;11:525–8.
64. Cameron JA. The choice of irrigant during hand instrumentation and ultrasonic irrigation of the root canal: a scanning electron microscope study. *Aust Dent J.* 1995;40, 85-90.
65. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod.* 2003;29:674–8.
66. Van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J.* 2006;39:472–6.
67. Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. *Int Endod J.* 2009;42:59–65.
68. Moorer WR, Wesselink PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1982;15:187–96.
69. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35:791–804.
70. Lottanti S, Gautschi H, Sener B, Zehnder M. Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer. *Int Endod J.* 2009;42:335–43.
71. Moreira RN, Pinto EB, Galo R, Falci SGM, Mesquita AT. Passive ultrasonic irrigation in root canal: systematic review and meta-analysis. *Acta Odontol Scand.* 2019;77(1):55–60.
72. Cardoso FG, Ferreira NS, Martinho FC, Nascimento GG, Manhães LR, Rocco MA, et al. Correlation between volume of apical periodontitis determined by cone-beam

- computed tomography analysis and endotoxin levels found in primary root canal infection. *J Endod.* 2015;41:1015-1019.
73. Gomes BPFA, Martinho FC, Vianna ME. Comparison of 2.5% sodium hypochlorite and 2% chlorhexidine gel on oral bacterial lipopolysaccharide reduction from primarily infected root canals. *J Endod.* 2009;35:1350-1353.
74. Siqueira JF Jr, Rocas IN, Favieri A et al. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after in-instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod.* 2000;26:331-334.
75. Vianna ME, Gomes BP, Berber VB et al. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004;97:79- 84.
76. Tsuneda Y, Hayakawa T, Yamamoto H et al. A histopathological study of direct pulp capping with adhesive resins. *Oper Dent.* 1995;20:223-229
77. Torabinejad M, Shabahang S, Kettering J, Aprecio R. The antimicrobial effect of MTAD on *E. Faecalis*: an in vitro investigation. *J Endod.* 2003 Jun;29(6):400-3.
78. Kotula R, Bordáčová J. The effect of ethylenediaminetetraacetic acid on the oral microflora. *Dtsch Stomatol.* 1969;19:575-81.
79. Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod.* 1995;21:592-3.
80. Bystrom A, Sundqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J.* 1985;18:35-40.
81. Nygaard-Ostby B. Chelation in root canal therapy: ethylenediaminetetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odontol Tidskr.* 1957;65:3-11.
82. Segura JJ, Calvo JR, Guerrero JM, Sampedro C, Jimenez A, Llamas R. The disodium salt of EDTA inhibits the binding of vasoactive intestinal peptide to macrophage membranes: Endodontic implications. *J Endod.* 1996;22:337-40.
83. Matos FDS, Houry RD, Talge CA, Valera C. Effect of EDTA and QMix[®] Ultrasonic Activation on the Reduction of Microorganisms and Endotoxins in Ex Vivo Human Root Canals. 2019;30:220–6.
84. Ma J, Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. A new noninvasive model to study the effectiveness of dentin disinfection by using confocal laser scanning microscopy. *J Endod.* 2011;37:1380-1385.

85. Morgental RD, Singh A, Sappal H, Kopper PMP, Vier-Pelisser FV, Peters OA. Dentin inhibits the antibacterial effect of new and conventional endodontic irrigants. *J Endod.* 2013;39:406-410.
86. Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following handrotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod.* 2005;31, 166–70.
87. Passarinho-Neto JG, Marchesan MA, Ferreira RB, Silva RG, Silva-Sousa YTC, Sousa-Neto MD. In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation. *Aust Endod J.* 2006; 32, 123–8.
88. Lee S-J, Wu M-K, Wesselink PR. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J.* 2004b; 37, 672–8.
89. Cheung GSP, Stock CJR. In vitro cleaning ability of root canal irrigant with and without endosonics. *Int Endod J.* 1993;26, 334–43.
90. Abou-Rass M, Piccinino MV. The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982;54:323– 8.
91. Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod.* 1983;9:475–9.
92. Teplitsky PE, Chenail BL, Mack B, Machnee CH. Endodontic irrigation: a comparison of endosonic and syringe delivery systems. *Int Endod J.* 1987;20:233– 41.
93. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1977; 44:306–12.
94. Carver K, Nusstein J, Al Reader, Beck M, Al Reader, Beck M. In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotatory instrumentation in human mandibular molars. *J Endod.* 2007;33:1038–43.
95. Cameron J. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod.* 1983;9(7):289-92.
96. Huque J, Kota K, Yamaga M, Iwaku M, Hoshino E. Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1998;31, 242–50.
97. Chopra S, Murray PE, Namerow KN. A scanning electron microscopic evaluation of the effectiveness of the F-file versus ultrasonic activation of a K-file to remove smear layer. *J Endod.* 2008;34:1243–5.

98. Briseño M, Wirth R, Hamm G, Standhartfnger W. Efficacy of different irrigation methods and concentrations of root canal irrigation solutions on bacteria in the root canal. *Dent Traumatol.* 1992;8(1):6-11.
99. Munley PJ, Goodell GG. Comparison of passive ultrasonic debridement between fluted and nonfluted instruments in root canals. *J Endod.* 2007;33(5):578-80.
100. Türkün M, Cengiz T. The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. *International Dental Journal.* 1997;30, 335–42.
101. Herrera DR, Martinho FC, De-Jesus-Soares A, Zaia AA, Ferraz CCR, Almeida JFA, et al. Clinical efficacy of EDTA ultrasonic activation in the reduction of endotoxins and cultivable bacteria. *Int Endod J.* 2017;50(10):933–40.
102. Gu XH, Mao CY, Kern M. Effect of different irrigation on smear layer removal after post space preparation. *J Endod* 2009;35:583-6.
103. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod* 2010;36:1361-6.
104. Jensen S.A., Walker T.L., Hutter J.W., Nicoll B.K., Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals, *J Endod.* 1999;25:735–8.

6. ŽIVOTOPIS

Petra Duić rođena je 13. prosinca 1994. u Zagrebu gdje završila osnovnu školu i opću gimnaziju. Akademske godine 2013./2014. Upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom studija bila je članica Studentskog zbora te je asistirala u dvije privatne ordinacije.