

Laserski aktivirano ispiranje korijenskih kanala

Lulić, Marta

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:127:769242>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
STOMATOLOŠKI FAKULTET

Marta Lulić

**LASERSKI AKTIVIRANO ISPIRANJE
KORIJENSKIH KANALA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2016.

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

Voditeljica rada: doc. dr. sc. Anja Baraba, dr. med. dent.

Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju

Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektorica hrvatskog: Isidora Vujošević, mag. educ. philol. croat.

Vidovski trg 9/1, Varaždin

Telefon: 097 609 1929

Lektorica engleskog: Iva Gugo, mag. educ. philol. angl. et mag. educ. philol. germ.

Vladimira Varićaka 3, Zagreb

Telefon: 091 761 9082

Rad sadrži: 50 stranica

2 tablice

30 slika

1 CD

ZAHVALA

Zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Anji Barabi na strpljenju, pomoći i vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada.

Veliko hvala mojoj obitelji na vječnoj potpori.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. SREDSTVA ZA ISPIRANJE KORIJENSKIH KANALA	2
1.1.1 Tekućine za ispiranje korijenskih kanala.....	2
1.1.2 Kombinirani preparati.....	4
1.2 AKTIVACIJA TEKUĆINA ZA ISPIRANJE KORIJENSKIH KANALA	5
1.2.1 Ručne tehnike ispiranja korijenskih kanala.....	5
<i>1.2.1.1 Ispiranje špricom i iglom/kanulom</i>	<i>5</i>
<i>1.2.1.2 Ručne četkice</i>	<i>6</i>
<i>1.2.1.3 Ručno ispiranje gutaperkom</i>	<i>7</i>
1.2.2 Tehnike ispiranja potpomognute uređajima.....	7
1.2.2.1 Rotirajuće četkice.....	7
1.2.2.2 Kontinuirano ispiranje tijekom instrumentacije.....	8
1.2.2.3 Zvučno aktivno ispiranje.....	9
1.2.2.4 Ultrazvučno ispiranje.....	10
1.2.2.5 Uređaji koji se temelje na izmjeničnom tlaku.....	11
1.2.2.6 ECA – Electrochemically activated water.....	13
1.2.2.7 OPW – Oxidative potential water.....	13
1.2.2.8 Ozon.....	13
1.2.2.9 Endox endodontski sistem.....	14
1.2.3 Laseri u dezinfekciji korijenskih kanala.....	15

1.2.3.1	<i>Osobine i učinak lasera</i>	15
1.2.3.2	<i>Laseri u endodonciji</i>	17
1.2.3.2.1	<i>Direktna iradijacija laserom</i>	18
1.2.3.2.2	<i>Fotoaktivirana dezinfekcija</i>	18
1.2.3.2.3	<i>Laserski aktivirano ispiranje</i>	19
1.2.3.2.3.1	Konvencionalno laserski aktivirano ispiranje.....	19
1.2.3.2.3.2	Specifična LAI tehnika (PIPS).....	24
2.	SVRHA RADA	26
3.	PRIKAZ SLUČAJA	27
4.	RASPRAVA	33
5.	ZAKLJUČAK	39
6.	SAŽETAK	40
7.	SUMMARY	41
8.	LITERATURA	42
9.	ŽIVOTOPIS	50

POPIS OZNAKA I KRATICA

NaOCl – natrijev hipoklorit

EDTA – etilendiaminotetraoctena kiselina

CHX – klorheksidin

PCA – parakloranilin

rpm – engl. *rotations per minute*, hrv. okretaji u minuti

PUI – engl. *passive ultrasound irrigation*, hrv. pasivno ultrazvučno ispiranje

AUI – engl. *active ultrasonic irrigation*, hrv. aktivno ultrazvučno ispiranje

ECA – engl. *electrochemically activated water*, hrv. elektrokemijski aktivirana voda

OPW – engl. *oxidative potential water*, hrv. oksidativno potencijalna voda

PAD – engl. *photoactive disinfection*, hrv. fotoaktivirana dezinfekcija

aPDT – engl. *antimicrobial photodynamic therapy*, hrv. antimikrobna fotodinamska terapija

C-LAI – engl. *conventional laser activated irrigation*, hrv. konvencionalno laserski aktivirano ispiranje

H-LAI – engl. *hovering over the entrance of the canal – laser activated irrigation*, hrv. lebdeći iznad ulaza u kanal – laserski aktivirano ispiranje

PIPS – engl. *photon-induced photoacoustic streaming*, hrv. fotonima inducirano fotoakustično strujanje

Nd: YAG – engl. *Neodymium-doped Yttrium Aluminium Garnet*, hrv. neodimij: itrij-aluminij-garnet

Er: YAG – engl. *Erbium Yttrium Aluminium Garnet*, hrv. erbij: itrij-aluminij garnet

Er, Cr: YSGG – engl. *Erbium Chromium Yttrium Scandium Gallium Garnet*, hrv. erbij-krom: itrij-skandij-galij garnet

1. UVOD

Svrha endodontskog liječenja zuba je ukloniti nekrotični sadržaj, smanjiti broj mikroorganizama i trodimenzionalno napuniti korijenski kanal. Čišćenjem i širenjem korijenskoga kanala uklanjaju se patološki promijenjeno pulpno tkivo i nekrotični sadržaj, omogućava se bolja dezinfekcija korijenskoga kanala te se stvara preduvjet za cijeljenje periapikalnog tkiva uklanjanjem uzročnika infekcije, tj. mikroorganizama. Peters i sur. (1) dokazali su da različite tehnike mehaničke instrumentacije korijenskih kanala ostavljaju čak 35 % površine korijenskih kanala netaknutima. Upravo zbog toga je važno ispiranje korijenskih kanala kojim se nakon instrumentacije uklanjaju mikroorganizmi, ostaci tkiva te se sprečava nakupljanje ostataka tkiva. Za kemijsku dezinfekciju, rabe se različita dezinfekcijska sredstva od kojih se kao najučinkovitija pokazala vodena otopina natrijeva hipoklorita. Korijenski kanal treba dovoljno proširiti u svrhu odstranjenja debrisa i pravilne irigacije apikalne trećine kanala (2), pritom pazeći na količinu preostalog zdravog dentina zbog mogućnosti prekomjernog stanjivanja stijenki korijena koje može rezultirati frakturom (3). Kemomehanička preparacija kanala također bi trebala omogućiti čiste i glatke dentinske zidove na koje punilo može adherirati i dobro zapečatiti tubuluse i apikalni foramen (4) te tako omogućiti uspješnu endodontsku terapiju.

1.1. SREDSTVA ZA ISPIRANJE KORIJENSKIH KANALA

Svojstva idealnog sredstva za ispiranje korijenskog kanala su (3):

- otapanje organskog sadržaja (kolagena dentina, pulpnog tkiva, biofilma)
- otapanje anorganskog sadržaja
- antimikrobno djelovanje
- netoksičnost
- mala površinska napetost
- sposobnost podmazivanja (3)
- ispirajući učinak (uklanjanje debrisa)
- mogućnost dosezanja perifernih dijelova korijenskoga kanala
- da ne oslabljuje strukturu zuba
- da ne iritira i ne oštećuje vitalna periapikalna tkiva i da nema kaustični ili citotoksični učinak.

Nažalost, niti jedno sredstvo za ispiranje ne posjeduje sva željena svojstva te se u endodontskoj terapiji uvijek rabi kombinacija dvaju ili više različitih sredstava za ispiranje kako bi se provela odgovarajuća kemijska obrada endodontskog prostora (5).

1.1.1. Tekućine za ispiranje korijenskih kanala

Natrijev hipoklorit (NaOCl) je najčešće korišteno sredstvo za ispiranje korijenskih kanala. Koristi se u koncentracijama od 0,5 do 6 % (3). Uz dezinfekcijski učinak, on rastvara organsko tkivo te ispire korijenski kanal, čime pomaže u uklanjanju debrisa te sprečava nakupljanje strugotina tijekom instrumentacije u korijenskom kanalu. Jedan od temeljnih nedostataka hipoklorita je njegova visoka

površinska napetost zbog koje nedovoljno vlaži kanale, tako da uski i akcesorni kanali ostaju slabo ili nedovoljno kemijski obrađeni (6). Ne preporučuje se završno ispiranje korijenskih kanala NaOCl-om nakon uklanjanja zaostatnog sloja zbog mogućnosti stvaranja erozija na dentinu korijenskoga kanala (3).

U kelatore ili dekalificirajuće agense ubrajaju se etilen-diamin-tetraoctena kiselina (EDTA) i limunska kiselina. Kelatori uklanjaju anorganske komponente, uključujući i kristale hidroksiapatita, a pritom ne utječu na organske komponente tkiva. Demineralizacija rezultira uklanjanjem zaostatnog sloja i otvaranjem dentinskih tubula. Učinkovitost ovih sredstava smanjuje se prema apeksu zbog manje širine kanala (3). Koriste se tijekom instrumentacije za uklanjanje kalkifikata iz kanala i za završno ispiranje, za uklanjanje zaostatnog sloja.

EDTA se koristi u koncentraciji od 17 %. Ima djelomično antibakterijsko (7) i antifungicidno djelovanje (8). Preporučuje se ispiranje jednu minutu nakon završene instrumentacije, kako bi se uklonio zaostatni sloj, nakon čega slijedi završno ispiranje fiziološkom otopinom. Ne preporučuje se naizmjenično rabiti NaOCl i EDTA-u tijekom instrumentacije korijenskih kanala zbog antagonističkih interakcija. Naime, EDTA kao kelator smanjuje količinu slobodnoga klora i time smanjuje djelovanje NaOCl (9). Također se preporučuje ispiranje fiziološkom otopinom prije primjene klorheksidina zbog stvaranja percipitata bijele boje i smanjenja učinkovitosti EDTA-e u uklanjanju zaostatnog sloja (10).

Limunska kiselina se rabi u koncentracijama od 1 do 50 %, ali najčešće kao 10-postotna otopina, za ispiranje korijenskoga kanala. Iako je limunska kiselina kelator, ispoljava i antibakterijsko djelovanje (11). 10-postotna limunska kiselina je

bolji kelator od 1-postotne, a obje imaju bolje djelovanje od 17 % EDTA-e (12). Preporučuje se kao sredstvo za ispiranje ako se primjenjuje fotoaktivna dezinfekcija gdje EDTA može imati štetan učinak na aktivnost boje koja se rabi kod spomenute tehnike (13).

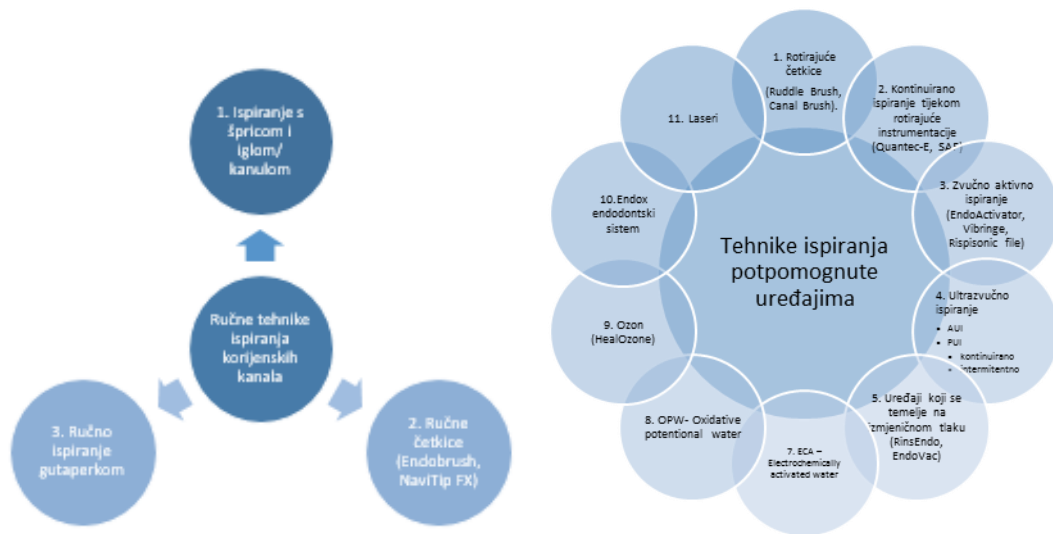
Klorheksidin pripada skupini bisgvanida, a kao tekućina za ispiranje ili gel se obično rabi sol, kombinacija klorheksidina i glukonske kiseline čime nastaje klorheksidin-glukonat. Dolazi u koncentracijama od 0,2 %, 1 % i 2 %, od kojih se posljednja najčešće rabi u endodontskom liječenju (14). Koristi se za dezinfekciju korijenskih kanala zbog dobrog i produljenog antimikrobnog učinka te kao intrakanalni uložak. Klorheksidin je vrlo učinkovit protiv bakterija, bakterijskih spora, lipofilnih virusa, gljivica i dermatofita (14), ne djeluje toksično na okolna tkiva, međutim ne otapa vitalna ili nekrotična tkiva. U kombinaciji s NaOCl stvara percipitat parakloranilin (PCA) i narančasto-smeđe obojenje (15).

1.1.2. Kombinirani preparati

Kombinirani preparati sadrže više djelatnih tvari, njihova svrha je pojednostaviti postupak ispiranja i povećati učinkovitost sredstva. Neka od njih su: SmearClear (EDTA i deterdžent), ChlorXtra (kombinacija NaOCl i deterdženta), CHX-Plus (klorheksidin i deterdžent), EDTAC (EDTA i Cetavlon), REDTA (EDTA, vodikov hidroksid, cetil trimetilamonijak bromid i voda), RC prep (EDTA i urea peroksid), EGTA (etilen glikol bis-tetraoctena kiselina), QMIX (EDTA, klorheksidin i deterdžent), MTAD (citrična kiselina, doksiciklin i deterdžent), Tetraclean (limunska kiselina, doksiciklin, deterdžent).

1.2. AKTIVACIJA TEKUĆINA ZA ISPIRANJE KORIJENSKIH KANALA

Tijekom vremena razvijale su se različite tehnike i sredstva za ispiranje korijenskih kanala. Razlikujemo različite tehnike ispiranja te one potpomognute uređajima (Slika 1.).



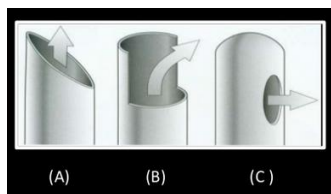
Slika 1. Podjela ručnih i mehaničkih tehnika ispiranja

1.2.1. Ručne tehnike ispiranja korijenskih kanala

1.2.1.1. Ispiranje špricom i iglom/kanulom

Konvencionalni je način ispiranja jednokratnim špricama (veličine 1 – 20 ml) i iglama/kanulama (preporuka 27 – 31 G). Sredstvo za ispiranje se aplicira u korijenski kanal pasivnim ili aktivnim kretanjama gore-dolje, igla mora biti postavljena labavo u korijenskom kanalu kako bi se omogućilo bolje ispiranje, izbacivanje sadržaja te spriječila ekstruzija tekućine u periapikalno tkivo. Igle imaju različite završetke vrha (koso rezan, „monoject“, sigurni kraj s lateralnim otvorom), (Slika 2.). Ovim načinom ispiranja, sredstvo za ispiranje doseže samo 1 mm dublje od kraja igle/kanule, što predstavlja problem jer je vrh igle često lokaliziran u

koronarnoj trećini kod zavijenih kanala, u najboljem slučaju u srednjoj trećini širokih kanala. Manje igle/kanule mogu se aplicirati dublje u kanal za učinkovitije čišćenje korijenskoga kanala, no time se povećava i mogućnost ekstruzije sredstva za ispiranje preko apeksa zuba. Danas se na tržištu mogu naći poboljšane vrste igala za učinkovitije ispiranje (**NaviTip, Monoject, MaxiProbe, Stropko Ni-Ti Flex**) (16).

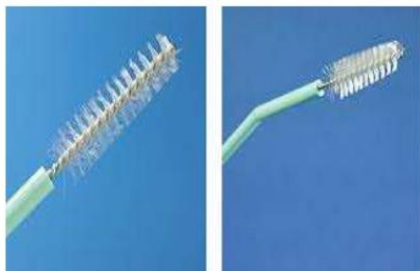


Slika 2. Završeci igala: a) koso rezan, b) monoject, c) sigurnog kraja. Preuzeto: (17)

1.2.1.2. Ručne četkice (*Endobrush, NaviTip FX*)

Endobrush četkice (C&S Microinstruments Ltd, Markham, Ontario, Canada) (Slika 3.) ne dovode sredstvo za ispiranje u korijenski kanal, već služe boljem čišćenju kanala i pomicanju tekućine. Riječ je o spiralnoj četkici koja se koristi rotirajućim pokretima od 90 stupnjeva kombiniranim s pokretima od 2 do 3 mm u smjeru gore-dolje. Vlakna četkice mogu doprijeti to neinstrumentiranih dijelova kanala poput istmusa, no zbog svoje veličine apikalni dijelovi kanala su im nedostupni i tu mogu dovesti do nakupljanja debrisa (16).

NaviTip FX (Ultradent Products Inc, South Jordan, UT) (Slika 4.) je četkica građena od vlakana postranično postavljenih na igli 30 G. Bolje čisti koronarnu trećinu od verzije bez vlakana NaviTip igle, međutim nije dokazana razlika u učinkovitosti čišćenja srednje i apikalne trećine korijenskoga kanala (16).



Slika 3. Endobrush četkice. Preuzeto: (18)



Slika 4. NaviTip FX. Preuzeto: (19)

1.2.1.3. Ručno ispiranje gutaperkom

Kako bi se poboljšalo ispiranje apikalnog dijela korijenskoga kanala, može se rabiti master (glavna) gutaperka laganim pokretima gore-dolje 2 – 3 mm sve do radne dužine (Slika 5.) (16).



Slika 5. Ručno ispiranje gutaperkom. Preuzeto: (20)

1.2.2. Tehnike ispiranja potpomognute uređajima

1.2.2.1. Rotirajuće četkice (*Ruddle Brush, Canal Brush*)

Rotirajuće četkice su patent odobren 2001. godine. **Canal Brush** (Coltene Whaledent, Langeau, Njemačka) (Slika 6.) je endodontska mikročetkica koja je nedavno postala dostupna na tržištu. Fleksibilna mikročetkica od polipropilena rabi se u mikromotoru na 600 rmp (16).

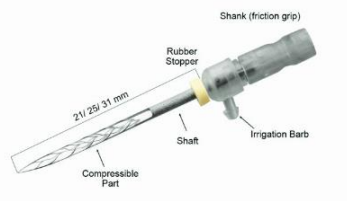


Slika 6. Canal brush. Preuzeto: (21)

1.2.2.2. Kontinuirano ispiranje tijekom instrumentacije

Quantec-E (SybronEndo, Orange CA, SAD) je samosadržajna izlazna jedinica sredstva za ispiranje koja je priključena na sustav endo Quantec-E. Ona koristi konzolu pumpe, dva rezervoara sredstva za ispiranje i cjevčice za osiguravanje kontinuiranog ispiranja za vrijeme instrumentacije. U srednjoj i apikalnoj trećini ne pokazuje bolju učinkovitost čišćenja u usporedbi s ispiranjem samo iglom i špricom (22).

Self Adjust-ing File- SAF (Re-Dent-Nova, Ra'anana, Izrael) (Slika 7.) je „samoprilagođavajući“ instrument koji u isto vrijeme i oblikuje i čisti korijenski kanal. Princip rada SAF-a vertikalne su vibracije po 0,4 milimetra, frekvencijom od 3000 do 5000 oscilacija u minuti. Rezultat toga je sila koja vrši pritisak na zidove korijenskoga kanala, a oštri bridovi NiTi rešetke prilikom vrtnje režu dentinski sloj debljine od 60 do 75 μm , podjednako sa svih zidova korijenskoga kanala. Nedostatak takvog načina obrade kanala je nakupljanje dentinskih strugotina i zaostatnog sloja na teško dostupnim mjestima koja se, u nastojanju da se zidovi što bolje obrade, utisnu u uvučene dijelove te se tako komprimirana teško uklanjaju ispiranjem (23). Na taj se način stvara potencijalno žarište infekcije (23).



Slika 7. Dijelovi SAF-a, aparat za ispiranje (VATEA, Re-Dent-Nova) priključen na SAF. Preuzeto: (23)

1.2.2.3. Zvučno aktivirano ispiranje

Ova tehnika kombinira vibracije (frekvencije 1 – 6 kHz) na baterijski pogon (10.000 cpm-ciklusa u minuti) s ručnom irigacijom korijenskoga kanala.

EndoActivator (Advanced Endodontics, Santa Barbara, CA, SAD) (Slika 8.), sastoji se od uređaja koji prenosi zvučne vibracije na polimerne nastavke različite veličine: žuti – small 15/02, crveni – medium 25/04 i plavi – large 35/04. Aktivira sredstva za ispiranje i proizvodi hidrodinamički učinak, koji služi za poboljšanje penetracije, cirkulaciju i protok sredstva za ispiranje u nepristupačnim područjima korijenskoga kanala (24). Osim za ispiranje, može se rabiti i za postavljanje intrakanalnih medikamenata.

Vibringe (Vibringe BV, Amsterdam, Nizozemska) (Slika 9.) je sistem koji čine tradicionalna šprica i igla, ali se sredstvo za ispiranje aktivira donjim dijelom šprice koji proizvodi zvučne vibracije (9000 ciklusa u minuti).

Rispionic file (Micro-Mega, Francuska) (Slika 10.) je instrument spojen s MM 1500 Sonic uređajem i služi za dezinfekciju nakon mehaničke obrade kanala. Instrument ima neujednačen kut konusa, bodljikave je površine, pa može promijeniti

konačni izgled preparacije korijenskoga kanala (22). Može se koristiti i za širenje ulaza u korijenske kanale (27).



Slika 8. EndoActivator.
Preuzeto: (25)

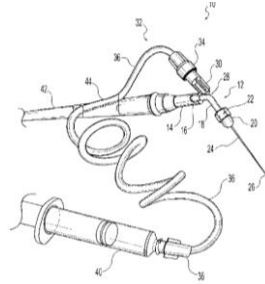
Slika 9. Vibringer.
Preuzeto: (26)

Slika 10. Rispisonic
file. Preuzeto: (28)

1.2.2.4. *Ultrazvučno ispiranje*

Kod ultrazvučnog ispiranja, rabe se frekvencije od 25 do 30 kHz, koje su izvan ljudske zvučne percepcije (> 20 kHz). Ultrazvučno ispiranje korijenskoga kanala bez istovremenog oblikovanja korijenskoga kanala zove se pasivno ultrazvučno ispiranje (engl. *passive ultrasound irrigation* – PUI). Rabe se instrumenti (veliĉine ISO 10-20) koji osciliraju slobodno u kanalu i izazivaju snažno mikrostrujanje (29). Kavitacijom (formiranjem puno malih mjehurića) i zvuĉnim strujanjem pomaže uklanjanju biofilma i izbacivanju debrisa iz kanala (30). U usporedbi s tradicionalnim ispiranjem špricom, uklanja više organskog tkiva, planktonskih bakterija i djelića dentina u korijenskom kanalu (29). PUI je učinkovitiji od ultrazvuĉnog ispiranja s istovremenom ultrazvuĉnom instrumentacijom (*Active ultrasonic irrigation* – AUI) (29). PUI može biti kontinuirano (Nusstein's needle holding device) (Slika 11.) i intermitentno (**Ultrasonic File**; IrriSafe) (Slika 12), (**Smooth Wire**; Endo Soft Tips). Kod intermitentne tehnike, sredstvo za ispiranje dodaje se u korijenski kanal s iglom

nekoliko puta tijekom ultrazvučnog aktiviranoga kruga. Tako je kontrolirana količina sredstva za ispiranje, što nije moguće kod kontinuirane tehnike (16).



Slika 11. Nusstein's needle holding device, kontinuirani PUI. Preuzeto: (31)



Slika 12. Ultrasonic File, intermitentni PUI. Preuzeto: (32)

1.2.2.5. Uređaji koji se temelje na izmjeničnom tlaku

Uređaji koji se temelje na izmjeničnom tlaku rade na principu dovođenja i odvođenja sredstva za ispiranje na temelju pozitivnog i negativnog tlaka. Time se žele riješiti dva fenomena: kontakt sredstva za ispiranje s apikalnom trećinom kanala, koja je otežana zbog tzv. „vapor lock“ učinka i ekstruzije preko apeksa zuba te posljedične iritacije periapikalnog tkiva ako se igla postavi preblizu apikalnog foramena. „Vapor lock“ učinak odnosi se na „zarobljeni“ zrak u kanalima. Sposobnost tekućine za ispiranje da dosegne sve dijelove kanala ovisi o kutu vlaženja tekućine, dubini i veličini kanala. S vremenom, kanali (zavorenoga kraja – engl. *closed end*) bit će poplavljeni (dani do sati), međutim, tim vremenom u kliničkom radu ne raspolažemo. Prema Senu i sur. (33), NaOCl ne doseže apikalna 3 mm korijenskoga kanala. Razlog može biti i reakcija NaOCl s organskim materijalom i formiranje mikromjehurića koje potpomaže „vapor lock“ učinak (16).

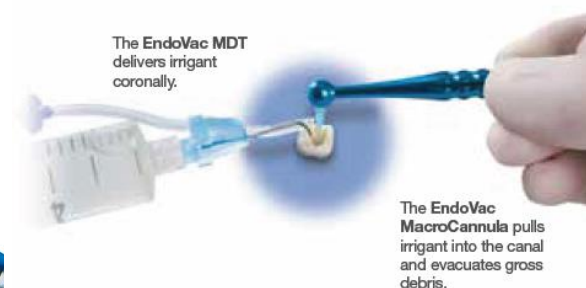
RinsEndo sistem (Durr Dental Co, Bittigheim-Bissingen, Njemačka) (Slika 13.) temelji se na hidrodinamskoj aktivaciji, tj. mehanizmu potiskivanja i povlačenja

tekućine za ispiranje frekvencijom od oko 100 ciklusa u minuti. Uređaj se postavlja na turbinski nastavak na stomatološkom stolcu i može se rabiti sa svim tekućinama za ispiranje korijenskih kanala. U fazi potiskivanja, 65 mikrolitara tekućine koja oscilira frekvencijom od 1,6 Hz potiskuje se iz šprice koja se postavi na uređaj u korijenski kanal, dok se u fazi povlačenja, tekućina i zrak iz korijenskoga kanala aspiriraju natrag u špricu i miješaju se sa svježom tekućinom za ispiranje. Tlak koji stvara RinsEndo sistem je manji nego onaj koji se stvara tijekom konvencionalnog ispiranja, dok je brzina ispiranja 6,2 ml/min.

EndoVac sistem (Discus Dental, Culver City, CA, SAD) (Slika 14.) radi na principu negativnog tlaka. Ima makro ili mikrokanulu koje su spojene preko turbine sa špricom, kojom se tekućina uvuče do apikalnog dijela, i sukciom visoke brzine dentalne jedinice, kojom se ta tekućina izlači van (16). Svježa tekućina uvijek dolazi do apikalnog dijela. Prednost ovog uređaja je u dobrom čišćenju apikalnog dijela i jakog antimikrobnog učinka ako se rabi u kombinaciji s NaOCl (16).



Slika 13. RinsEndo sistem.
Preuzeto: (34)



Slika 14. EndoVac. Preuzeto: (35)

1.2.2.6. Elektrokemijski aktivirana voda (ECA)

Elektrolizom fiziološke otopine u EAW (engl. *electrochemically activated water*) jedinici (Slika 15.) dobije se visoko aktivna solucija aniona i kationa (13). Smjesa je biokompatibilna (36), ima antimikrobno djelovanje, visoki oksidacijski potencijal i pH između 2 i 9. Novije otopine proizvode se s pH blizu 7 i zovu se elektrolizirana neutralna voda (13).



Slika 15. Sterilox jedinica (Optident Ltd, Yorkshire, UK) za proizvodnju EAW.
Preuzeto: (13)

1.2.2.7. OPW – Oxidative potential water

Ova tehnika ima visoko antimikrobno djelovanje zbog svoje kiselosti i visokog oksidoreduktivnog potencijala. Uklanja zaostatni sloj i debris iz korijenskih kanala (13).

1.2.2.8. Ozon

Ozon (*HealOzone*; KaVo, Biberach, Njemačka) (Slika 16.) je moćan oksidirajući reagens. U stomatologiji se prvotno koristio kao antimikrobno sredstvo u liječenju karijesa korijena. Pokušaji sterilizacije korijenskoga kanala su složeni, jer perfuzija zraka nije pouzdana. *In vitro* istraživanja su pokazala uspjeh u eradikaciji planktonskih nakupina *E. faecalis*, a ne i na *E. faecalis* u biofilmu (13).



Slika 16. HealOzone. Preuzeto: (37)

1.2.2.9. Endox endodontski sistem

Endox endodontski sistem (Lysis srl, Nova Milanese, Italija) (Slika 17.) sterilizira korijenske kanale električnim impulsima visoke frekvencije. Proizvođač tvrdi da se tim strujnim udarima uklanjaju ostaci pulpe i bakterije te preporučuje tehniku kao dodatnu metodu čišćenja uz tradicionalno mehaničko i kemijsko čišćenje i oblikovanje korijenskih kanala (13).

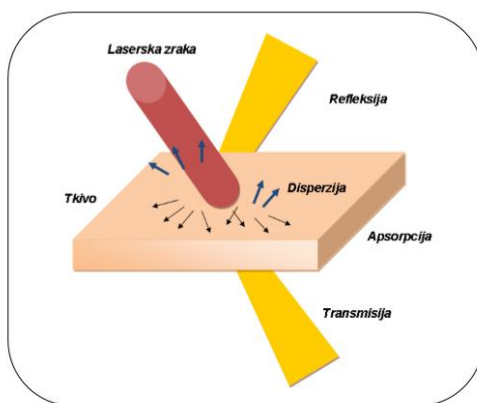


Slika 17. Endox endodontski sistem. Preuzeto: (38)

1.2.3. Laseri u dezinfekciji korijenskih kanala

1.2.3.1. Osobine i učinak lasera

Laser (engl. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) je uređaj koji emitira svjetlo kroz proces optičkog pojačavanja na temelju stimulirane emisije elektromagnetskog zračenja. Laserska zraka je monokromatska (samo jedne valne duljine), kolimirana (ograničena u prostoru) i koherentna (valovi su u istoj fazi). Svojstva koherentnosti i kolimiranosti laserskog svjetla omogućavaju postizanje visokih gustoća energije pri radu, a određena valna duljina apsorpciju u točno određenom tkivu. Laserska zraka u kontaktu s ciljanim tkivom može se odbiti od površine (refleksija), raspršiti se (difuzija), upiti u tkivo (apsorpcija) ili proći kroz tkivo nepromijenjena (transmisija) (Slika 18.) (39).



Slika 18. Učinak laserske zrake na tkivo. Preuzeto: (39)

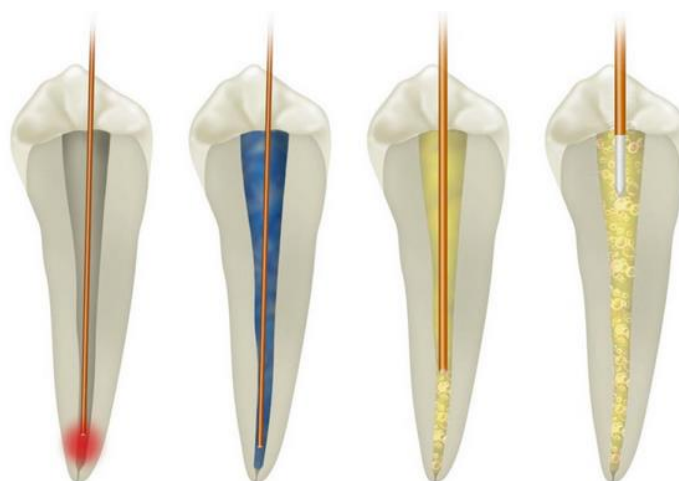
Refleksija je optički fenomen zbog manjka afiniteta i apsorpcije svjetla. Reflektira se oko 5 % emitiranog svjetla, zbog toga su potrebne sigurnosne mjere (zaštitne naočale specifične za svaku valnu duljinu) zbog potencijalnog oštećenja oka laserskim zračenjem. Difuzija opisuje sposobnost svjetla da se proširi dublje u ciljno mjesto. Ona je odgovorna za terapijske učinke nekih valnih duljina (vidljivo crveno svjetlo i

infracrveno) na mjestu udaljenom od točke iradijacije. Transmisija je prolaz svjetla kroz tkivo bez interakcije i djelovanja (40). Apsorpcija je pretvaranje energije laserskog zračenja u drugi oblik energije (39). Apsorbirana ili difundirana laserska zraka izazivaju učinak lasera na ciljano tkivo (39), a to tijekom endodontskog liječenja mogu biti bakterije, dentin, debris, zaostatni sloj, organska tvar i sredstvo za ispiranje (41). Učinak laserske zrake može biti fototermalni, fotokemijski, fotomehanički (koji uključuje fotoakustični učinak) i fotoelektrični. Učinak lasera ovisi o njegovoj valnoj duljini, energiji, obliku valova te optičkim svojstvima ciljanog tkiva. Valna duljina lasera određuje „kvalitetu“ ili vrstu interakcije lasera i ciljanog tkiva, dok energija laserske zrake i optička svojstva tkiva „kvantitativno“ određuju utjecaj lasera na tkivo (39).

Prema valnoj duljini lasere dijelimo na ultraljubičasti, vidljivi, nevidljivi – infracrveni (bliži 803 – 1,340 nm, srednji 2,780 – 2,940 nm i daleki 10,600 nm) spektar (40). Oni djeluju na ciljane kromofore, kemijske skupine koje apsorbiraju svjetlo pri određenoj valnoj duljini.

1.2.3.2. Laseri u endodonciji, za dezinfekciju korijenskih kanala

Lasери se mogu koristiti za dezinfekciju korijenskih kanala direktnom iradijacijom, kao fotodinamska terapija (PAD), laserski aktivirano ispiranje (C-LAI) i PIPS tehnika (H-LAI) (Slika 19. i Tablica 1.).



Slika 19. Različite laserske tehnike u endodonciji; slijeva na desno: direktna iradijacija laserom, PAD, LAI i PIPS. Preuzeto: (40)

Tablica 1. Klasifikacija laserskih tehnika korištenih u endodonciji (40)

Valna duljina	Laserske tehnike	Ciljne kromofore	Interakcija lasera i tkiva	Laserski učinak
Vidljiva Bliža infracrvena	Direktna iradijacija laserom	Bakterijski pigment	Difuzija	Fototermalni
Srednja infracrvena	Direktna iradijacija laserom	Vodena komponenta dentina	Apsorpcija	Fototermalni
Vidljiva Bliža infracrvena	PAD	Fotosenzitiv	Apsorpcija	Fotokemijski
Srednja infracrvena	LAI	Vodena komponenta sredstva za ispiranje	Apsorpcija	Fototermalna kavitacija
Srednja infracrvena	PIPS	Vodena komponenta sredstva za ispiranje	Apsorpcija	Fototermalna fotoakustična kavitacija

1.2.3.2.1. *Direktna iradijacija laserom*

Kod direktne iradijacije laserom, rabe se nastavci ili fleksibilna optička vlakna, postavljena u korijenski kanal 1 mm kraće od radne duljine, koji provode lasersku zraku dok ih se izvlači van kanala kružnim ili vertikalnim pokretima. Postupak se provodi nakon završenog čišćenja i širenja korijenskoga kanala (proširenog barem do veličine ISO 30) kao konačni postupak kojim se smanjuje broj bakterija u korijenskom kanalu prije punjenja. Za direktnu iradijaciju, rabe se laseri srednjeg i bližeg infracrvenog spektra. Laseri bližeg infracrvenog spektra su Nd: YAG (neodimij: itrij-aluminij-garnet), valne duljine 1064 nm, i diodni, valne duljine 810 i 980 nm. Fototermalnim učinkom smanjuje se broj bakterija, ali on može biti i uzrok nepoželjnih termičkih oštećenja zbog kontakta vlakna s dentinskim zidovima. Laseri srednjeg infracrvenog spektra koji se rabe su erbijski laseri, valne duljine 2780 i 2940 nm (40). Spomenuti laseri rabe se u suhom kanalu, laserska zraka se apsorbira u vodenoj komponenti dentina te izaziva fototermalni učinak, uklanjajući zaostatni sloj i debris te, ovisno o energiji, i ablaciju dentina (40).

1.2.3.2.2. *Fotoaktivirana dezinfekcija*

Kod fotoaktivirane dezinfekcije (PAD – engl. *photoactivated disinfection*) također zvane antimikrobna fotodinamska terapija (aPDT – engl. *antimicrobial photodynamic therapy*), rabe se diodni laseri, niske energije vidljivog (635 nm i 675 nm) te nevidljivog spektra (810 nm) (40). Zraka koju selektivno apsorbira fotosenzitivna tvar osjetljiva na svjetlo (indocijanin zelena boja, metilensko modriilo, toluidinsko modriilo, tolonijev klorid) uzrokuje fotokemijski učinak (41) u prisustvu

kisika za proizvodnju reaktivnih spojeva kisika, kao što su hidroksilni radikali i superoksidi.

Reaktivni spojevi kisika djeluju na više mjesta u bakterijskoj stanici što dovodi do trenutnog baktericidnog učinka (42). Iako se na ovaj način može djelovati na više bakterijskih vrsta, neki patogeni koji rastu kao jedina vrsta u biofilmu su zahtjevni za eradikaciju (41). Budući da nema direktnoga kontakta lasera s dentinskom površinom, izbjegava se neželjeni kolateralni termički učinak (40).

1.2.3.2.3. Laserski aktivirano ispiranje

1.2.3.2.3.1. Konvencionalno laserski aktivirano ispiranje

Kod laserski aktiviranog ispiranja (LAI, engl. *Laser activated irrigation*), laserska zraka se rabi kako bi aktivirala sredstvo za ispiranje korijenskoga kanala (41). Pod aktivacijom se podrazumijeva prvotno stvaranje prolaznih kavitacija u tekućini putem apsorpcije laserske energije (43). Aktivacija ne znači da se prethodno neaktivno sredstvo za ispiranje aktiviralo kemijski laserom iako laser povećava kemijsku učinkovitost određenih sredstava za ispiranje (5).

Jedan od učinaka laserski aktiviranog ispiranja je kavitacija. Kavitacija je formiranje mjehurića u tekućini (44). Mehanizam su opisali Blanken i Vedaasdonk (2007) (Tablica 2.), Blanken i sur. (2009.), de Groot i sur. (2009), Matsumoto i sur. (2011) i Gregorčić i sur. na temelju slikovnih metoda velike brzine (45). Na početku laserskog pulsa, foton se apsorbira u 2 – 10 um debelom sloju koji je odmah pregrijan i postaje mjehurić pare visokog tlaka, u 1 mikrosekundi kod erbijskih lasera, odnosno nekoliko sekunda kod diodnih lasera. Budući da laserska zraka i

dalje emitira energiju, ona širi balon i stvara otvor ispred laserske zrake čime se omogućuje bolji prodor laserskog svjetla kroz mjehurić i isparavanje površine vode na prednjem dijelu mjehurića. Proces se nastavlja do kraja laserskog pulsa. Ovaj mehanizam se navodi u literaturi kao „Mojsijev utjecaj u mikrosekundi regije“ (engl. *the Moses affect in a microsecond region*) (44).

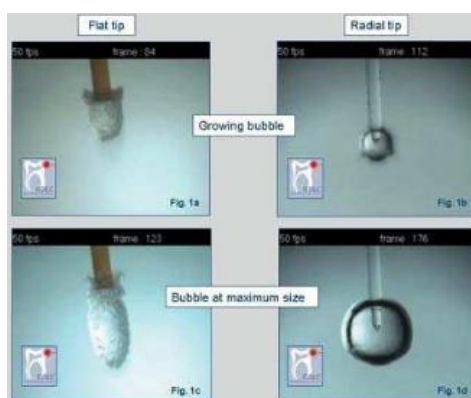
Kad laserski puls završi, mjehurić pare se počinje hladiti i kondenzirati te se urušava blizu vrha laserske zrake i time počinje implozija mjehurića. Okolne tekućine uđu u taj prostor kao tlačni šok-valovi, koji u početku putuju ultrazvučnom brzinom, a kasnije brzinom zvuka kod erbijskih lasera, odnosno manjim brzinama kod diodnih lasera. Tlak valova i brzo kretanje tekućine uzrokuju visoka smična naprezanja duž kanala. Te sile mogu ukloniti debris i zaostatni sloj te pomoći u čišćenju korijenskih kanala. Turbulencija tekućine stvara se ispred i iza vrha nastavka tijekom laserske kavitacije te se ona može povećati povećanjem izlazne snage lasera (44).

Nakon urušavanja pare mjehurića, slijedi sekundarni kavitacijski učinak, tj. novi kavitacijski mjehurići zbog naglih i opsežnih promjena tlaka. Laserski inducirana kavitacija i implozija najvidljivije su u velikom volumenu tekućine (Slika 19.) koja se nalazi između zidova korijenskoga kanala, pare se ne mogu slobodno širiti u bočnom smjeru, pa se tekućina potiskuje naprijed i natrag u kanalu (44, 46). U staklenom cilindru simulacijom korijenskoga kanala, Matsumoto i sur. su pokazali da se kavitacija koju slijedi implozija dogodi i do 10 puta po laserskom pulsu iako mjehurići postaju progresivno manji sa svakim ciklusom (44). Također je dokazano da su broj kavitacijskih mjehurića i frekvencija kavitacije veći u simuliranom korijenskom kanalu nego u slobodnoj vodi (45).

Parametri koji utječu na kavitacijski fenomen:

1. Energija pulsa će utjecati na životni vijek i veličinu mjehurića.
2. Veličina mjehurića se povećava s povećanjem promjera vlakana.
3. Dužina pulsa određuje veličinu te, u manjoj mjeri, oblik mjehurića. Dužina pulsa može biti od 140 μs za Er, Cr: YSGG (*Waterlase*, Biolase, Irvine, CA, SAD) do 250 μs za Er: YAG (*Erwin AdvErl*, Morita, Osaka, Japan; *Versawave*, Hoya ConBio, Fremont, CA, SAD) (39). Kraći impulsi stvaraju mjehuriće većeg promjera, a duži impulsi mjehuriće manjeg promjera. Kraći pulsevi manje energije stvaraju mjehuriće veličine slične onima koje stvaraju duži pulsevi uz veću energiju. Tu je važno napomenuti da korištenje energije iznad praga ablacije dentina može napraviti ablativni i termički učinak na dentinskim zidovima. Impuls duljine 50 μs je jedinstveno svojstvo PIPS tehnike (40).

Oblik vrha vlakana u velikoj mjeri određuje oblik kavitacije. Ravni nastavci stvaraju sferoidne (45), a konični kuglaste mjehuriće (47) (Slika 20. i 21.).



Slika 20. Rast mjehurića (gore) i njegova najveća veličina (dolje), s ravnim nastavkom lijevo i koničnim nastavkom desno. Preuzeto: (47)



Slika 21. Ravni nastavak lijevo i konični nastavak desno. Preuzeto: (40)

Za laserski aktivirano ispiranje rabe se laseri srednjeg infracrvenog spektra – Er: YAG (itrij aluminij-garnet s dodatkom erbija) i Er, Cr: YSGG (itrij skandij-galij-garnet s dodatkom erbija i kromija) i bližeg infracrvenog spektra – diodni i Nd: YAG (neodimij: itrij-aluminij-garnet) laseri (41).

Erbijski laseri emitiraju valne duljine **Er, Cr: YSGG 2780 nm** i **Er: YAG 2940 nm**, koje usko odgovaraju apsorpcijskom maksimumu vode i hidroksilnih skupina kristala hidroksiapatita. Kako se voda nalazi u mekim i tvrdim tkivima – sluznici, gingivi, tvrdim zubnim tkivima, karijesnoj leziji, imaju širok raspon upotrebe u dentalnoj medicini. Većina energije emitirane pomoću erbijskih lasera uzrokuje isparavanje i djeluje na tkiva termičkim učinkom (48). To također vrijedi i za sredstva za ispiranje (npr. NaOCl) s apsorpcijskim koeficijentom sličnim vodi. Kao što je već spomenuto, da bi došlo do kavitacije, laserska energija mora biti apsorbirana i uzrokovati isparavanje tankog sloja tekućine u blizini lasera (46). Iz tog razloga, ovi su laseri pogodni za LAI. Istraživanja o učinkovitosti Er: YAG lasera u čišćenju zidova korijenskih kanala pokazala su da je ova vrsta učinkovitija u uklanjanju zaostatnog sloja u usporedbi s ostalim laserima i sredstvima za ispiranje (49, 50). Dentinski zidovi su uglavnom s otvorenim tubulima bez debrisa ili zaostatnog sloja (45). Ako se rabi bez sredstva za ispiranje, dovodi do ablacije i

termičkih oštećenja, pukotina, površinskog rastapanja i isparavanja zaostatnog sloja (51). Erbijski laseri imaju sposobnost proizvodnje i visoke i niske razine energije. Visoke razine energije su potrebne za ablaciju tvrdih tkiva poput dentina (52); voda sadržana u tvrdim zubnim tkivima ispari i trenutačno uzrokuje ablaciju okolnog tkiva s minimalnim termičkim nuspojavama (45). Kavitacija se može postići u simuliranim korijenskim kanalima uz nisku, tj. subablativnu energiju. Blanken i Verdaasdonk (46) su dokazali da kavitacija nastaje uz 12,5 mJ i 20 Hz (0,25 W) s Er, Cr: YSSG laserom. Brzina kretanja tekućine u kanalu može doseći 30 mm/s (46). Pritom moramo imati na umu ekstruziju sredstva za ispiranje preko apeksa, koju su George i Walsh dokazali u *in vitro* istraživanju. Treba biti oprezan kod širih apikalnih foramena, laserskog vlakna postavljenog blizu apeksnog otvora i kod odabira sredstava za ispiranje koja iritiraju periapikalno tkivo, kao npr. NaOCl (45).

Energija diodnih lasera valnih duljina **940 i 980 nm** manje se apsorbira u vodi u usporedbi s erbijskim laserima, ali i ovi laseri potiču stvaranje kavitacija i agitaciju tekućina povećavajući tako učinkovitost određenih sredstava za ispiranje korijenskih kanala. Kako valna duljina nije jako apsorbirana u sredstvu za ispiranje, potrebne su veće snage laserske zrake. Hmud i sur. su pokazali da se u destiliranoj vodi kavitacija može postići u roku od 5 sekundi s postavkama snage od 2,5 W/25 Hz (stvarne snage na vrhu vlakana 1,35 W) za laser valne duljine 980 nm, odnosno snage 4 W/10 Hz (stvarne snage na vrhu vlakana 1,68 W) diodnog lasera valne duljine 940 nm. U kanalima manjeg promjera, potrebno je više vremena za aktivaciju, jer se mjehurić pare ne može proširiti tako lako kao u većem volumenu

tekućine (46). Diodni laseri pomiču tekućinu u kanalu brzinom 4 – 5 mm/s, čime je manja vjerojatnost ekstruzije sredstva za ispiranje (45).

Nd: YAG je laser s krutom jezgrom koji se sastoji od itrij-aluminij-garnet (YAG) kristala s atomima neodimija, a emitira infracrveno zračenje valne duljine 1064 nm. Za LAI se rabe Nd: YAG laseri valne duljine **1320 nm**, koje se bolje apsorbiraju u vodi i uzrokuju stvaranje kavitacijskih mjehurića (45).

Laseri bližeg infracrvenog spektra koji se rabe u suhom korijenskom kanalu uklanjaju samo djelomično zaostatni sloj i ostavljaju dentinske tubuluse zatvorene zbog topljenja anorganskih dijelova. Kada se spomenuti laseri rabe u kombinaciji s određenim otopinama za ispiranje korijenskih kanala, ostavljaju čistu površinu korijenskog dentina bez zaostatnog sloja i s otvorenim dentinskim tubulusima, bez znakova termičkih oštećenja (51).

1.2.3.2.3.2. Specifična LAI tehnika, fotonima inducirano fotoakustično strujanje (PIPS)

Kod fotonima induciranog fotoakustičnog strujanja (PIPS) ili engl. *hovering over the entrance of the canal* (H-LAI) rabe se Er: YAG laser i sredstva za ispiranje koja ga aktiviraju (natrijev hipoklorit, EDTA, destilirana voda). Ova tehnika koristi više fotoakustični i fotomehanički učinak od fototermalnog (41). Vrh laserskog nastavka se postavi u koronarni dio prepariranoga kanala (39) te se rabi subablativna energija od 20 do 50 mJ uz frekvenciju od 10 do 15 Hz, uz duljinu pulsa 50

mikrosekundi. S prosječnom snagom od samo 0,2 do 0,5 W, svaki impuls u interakciji s molekulama vode stvara fenomen nalik na udarni val što dovodi do formiranja snažnog strujanja tekućina unutar kanala, bez stvaranja nepoželjnih termičkih oštećenja. Prema Olivijevu istraživanju (41), zabilježen je porast temperature od 1,2 ° C nakon 20 sekundi i 1,5 ° C nakon 40 sekundi neprekinute iradijacije.

2. SVRHA RADA

Svrha ovog rada je prikazati laserski aktivirano ispiranje erbijskim laserom tijekom endodontskog liječenja zuba.

3. PRIKAZ SLUČAJA

Pacijentica u dobi od 22 godine dolazi na Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu zbog traume gornjeg lijevog lateralnog sjekutića (zub 22). Kliničkim pregledom uočena je diskoloracija vestibularne plohe zuba 22 (Slika 22.). Uvidom u RTG snimku, uočena je translucencija u području vrška korijena (Slika 23.). Pacijentica nije imala nikakve simptome.

Nakon lokalne anestezije, zub 22 je trepaniran dijamantnim kruškolikim svrdlom uz vodeno hlađenje i potom izoliran gumenom plahticom (Slika 24. a). Korijenski kanal je instrumentiran Reciproc instrumentom veličine R50 (VDW, Munich, Njemačka) uz ispiranje 2,5-postotnom otopinom NaOCl (Slika 24. b, c, d, e). Nakon instrumentacije, zub je dezinficiran i uklonjen je zaostatni sloj Er, Cr: YSGG laserom (Waterlase MD, Biolase Technology, Inc., Irvine, CA, SAD), valne duljine 2780 nm (Slika 25. a). Postavke lasera su bile sljedeće: snage 1,25 W, frekvencije 50 Hz, zrak na 24 i voda na 30 (Slika 25. b). Korišten je konični nastavak RFT2 uz fiziološku otopinu kao sredstvo za ispiranje (Slika 25. c, d). Nastavak lasera postavljen je na udaljenosti kraćoj 1 mm od radne dužine u korijenski kanal koji je prethodno ispran fiziološkom otopinom, te je lagano, brzinom od 1 mm/s, kružnim pokretima pomican prema koronarno. Isti postupak je ponovljen tri puta (Slika 25. e, f). Nakon završene obrade laserom, kanal je osušen Reciproc papirnatim štapićima odgovarajuće veličine te je isprobana glavna gutaperka Reciproc R50 na radnoj dužini od 22 mm (Slika 26. a). Za punjenje je korištena biokeramička pasta BC Sealer (EndoSequence, Brasseler, USA) (Slika 26. b, c), koja je s gutaperka-štapićem

postavljena u korijenski kanal (Slika 26. d). Višak gutaperke je uklonjen zagrijanim potiskivačem te je višak punjenja dodatno uklonjen čeličnim svrdlom (Slika 27. a). Nakon kondicioniranja kaviteta 10-postotnom poliakrilnom kiselinom (Dentin conditioner, GC, Tokio, Japan) 20 sekundi (Slika 27. b), kavitet je zatvoren kapusliranim staklenoionomernim cementom (Equia Fil, GC, Tokio, Japan) (Slika 27. c). Nakon stvrdnjavanja materijala, na površinu je nanesen premaz (Equia Coat, GC, Tokio, Japan) koji je osvijetljen polimerizacijskom lampom (D-light, GC, Tokio, Japan) tijekom 20 sekundi (Slika 27. d). Kontrolnom RTG snimkom potvrđena je potpuna obturacija korijenskoga kanala (Slika 28.). Kompozitni ispun na zubu 22 zamijenjen je novim kompozitnim ispunom (Slika 30. a, b). Nakon šest mjeseci napravljena je nova kontrolna RTG snimka na kojoj se vidi cijeljenje procesa (Slika 29.). Zub će se nastaviti pratiti kontrolnim RTG snimkama i klinički i tijekom narednih nekoliko godina (4 – 5 godina) kako bi se potvrdio uspjeh endodontskog liječenja.



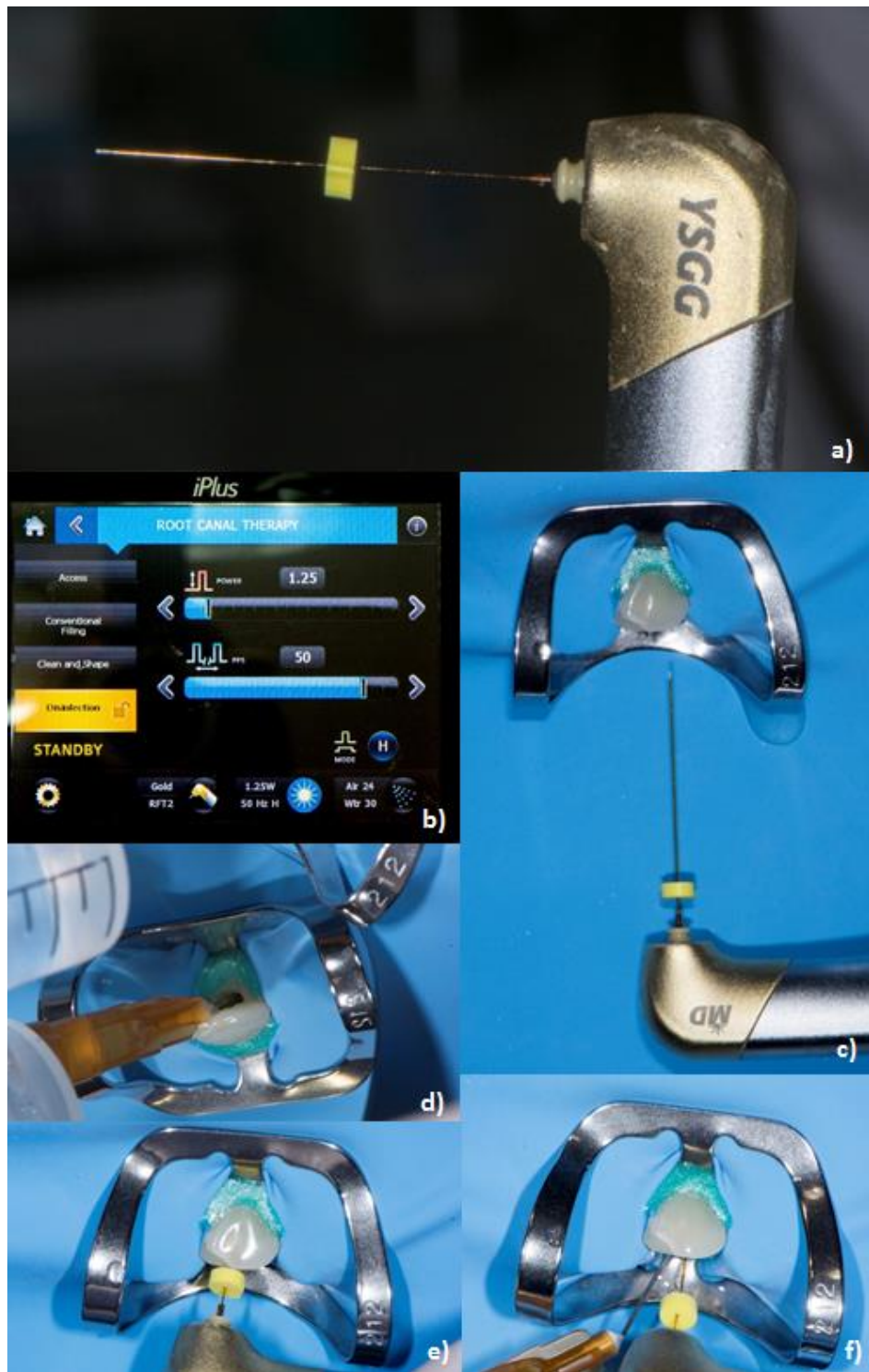
Slika 22. Diskoloracija zuba 22



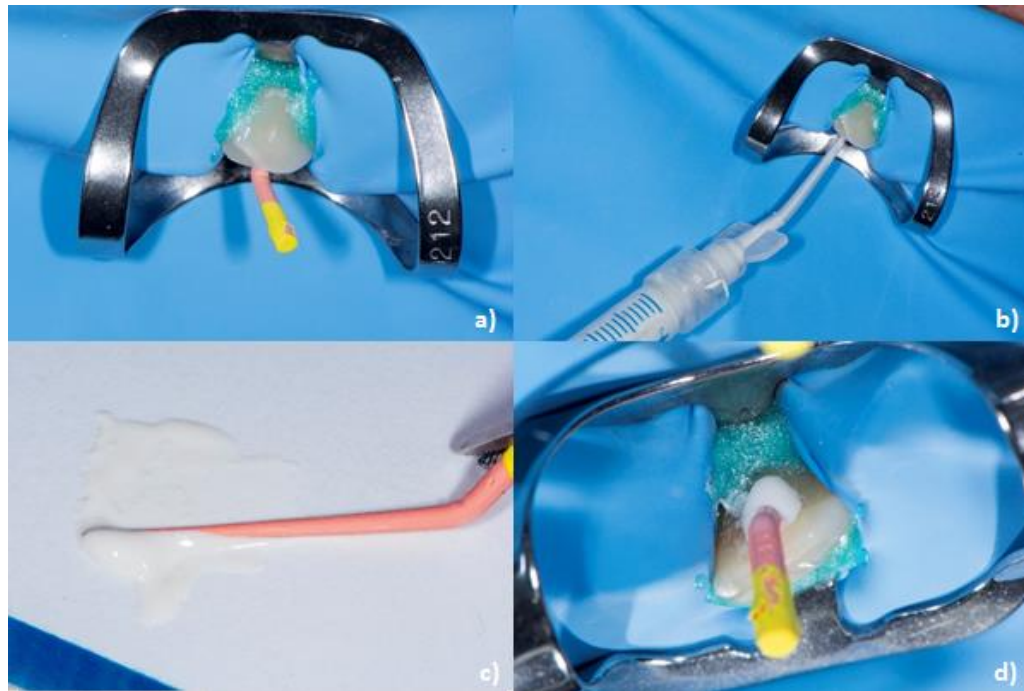
Slika 23. RTG snimka



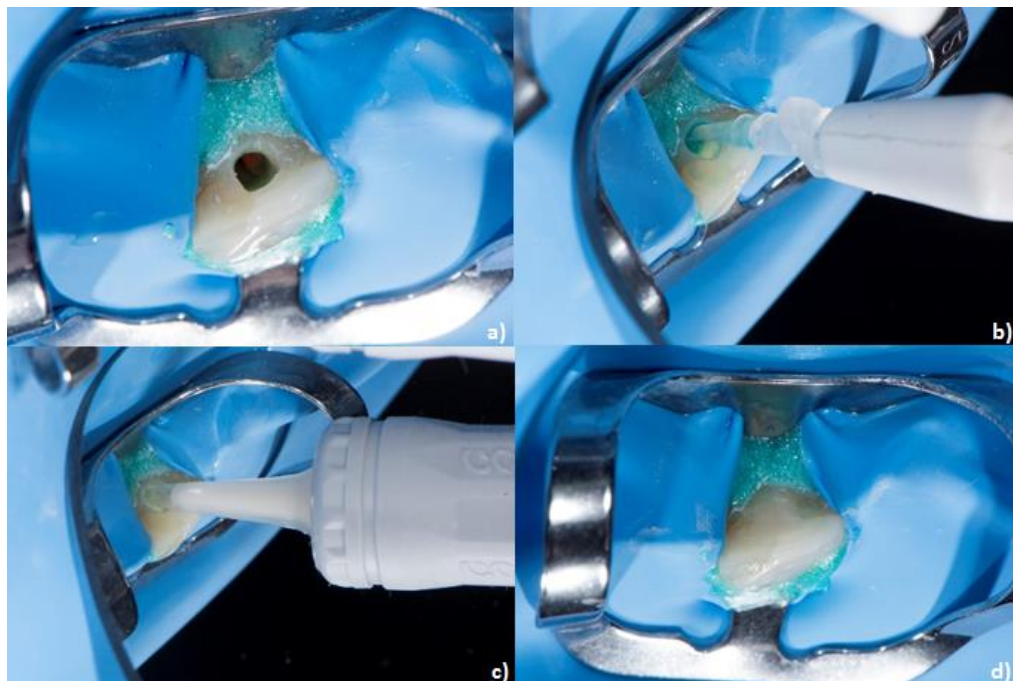
Slika 24. a) Trepanacija zuba 22, b) instrumentacija zuba 22 Reciproc instrumentom, c) Reciproc #50 instrument, d) *single-file* recipročna tehnika mehaničkog čišćenja korijenskih kanala, e) VDW Gold Reciproc s integriranim endometrom



Slika 25. a) Er, Cr: YSGG 2780 nm laser i RFT2 konični nastavak, b) postavke lasera, c) uklanjanje zaostatnog sloja i dezinfekcija korijenskoga kanala, d) ispiranje fiziološkom otopinom, e) laser postavljen na 1 mm od radne dužine, f) kontinuirano ispiranje fiziološkom otopinom uz izvlačenje lasera



Slika 26. a) Proba Reciproc R50 gutaperke, b) aplikacija biokeramičke paste (Endosequence) direktno u korijenski kanal, c) Reciproc gutaperka u biokeramičkom punilu, d) punjenje korijenskoga kanala tehnikom jedne gutaperke



Slika 27. a) Izgled kaviteta nakon uklanjanja viška gutaperke i punila čeličnim svrdlima, b) kondicioniranje 10-postotnom poliakrilnom kiselinom (Dentin conditioner) tijekom 20 s, c) zatvaranje kaviteta kapsuliranim staklenoionomernim cementom (Equia Fil, GC, Tokio, Japan) i d) izgled ispuna nakon stvrdnjavanja materijala



Slika 28. Kontrolna RTG snimka nakon punjenja korijenskoga kanala



Slika 29. Kontrolna RTG snimka 6 mjeseci nakon punjenja korijenskoga kanala



Slika 30. a) Ispun na zubu 22, vestibularna strana, b) ispun zuba 22, palatinalna strana

4. RASPRAVA

Kemijska obrada kanala ključni je i neizostavni dio endodontskog liječenja budući da određeni dijelovi korijenskih kanala nisu dostupni mehaničkoj instrumentaciji. Uz antimikrobno djelovanje sredstava za ispiranje korijenskih kanala, važno je ukloniti i zaostatni sloj. Zaostatni sloj nastaje kao posljedica mehaničke obrade korijenskih kanala, a sadrži organske i anorganske čestice, koje uključuju ostatke dentinskog i pulpnog tkiva, mikroorganizme, endotoksine i nekrotični materijal. Ranije se smatralo da zaostatni sloj nije potrebno ukloniti sa stijenki korijenskoga kanala jer on može blokirati ulazak bakterija i bakterijskih toksina u dentinske tubuluse. Međutim, danas se smatra da zaostatni sloj, kao slabo prijanjajuću strukturu, treba potpuno ukloniti s površine zida korijenskoga kanala jer može sadržavati bakterije i omogućiti mikropropuštanje te time dovesti do neuspjeha endodontskog liječenja (53). Određene bakterije mogu prodrijeti duboko u dentinske tubuluse korijenskih kanala te na taj način postati nedostupne mehaničkoj instrumentaciji, a zaostatni sloj može ograničiti djelotvornu dezinfekciju sprečavanjem sredstvima za ispiranje korijenskih kanala, poput natrijeva hipoklorita, i intrakanalnim lijekovima, poput kalcijeva hidroksida, da prodru u dentinske tubuluse (54). Jedan od najvećih problema u endodonciji je dinamika sredstava za ispiranje u kanalima zatvorenoga kraja u koje teško prodiru (40). Natrijev hipoklorit je najčešće korišteno sredstvo, no zbog visoke površinske napetosti prodire samo 130 μm u dentinske tubuluse (55), koje bakterije mogu kolonizirati sve do parodontne površine (56). Visoka temperatura i posebice aktiviranje sredstva za ispiranje poboljšavaju učinkovitost natrijeva hipoklorita (57). Sredstva za ispiranje možemo

aktivirati različitim tehnikama: ručno, zvučnim, ultrazvučnim uređajima te laserima (41).

Za LAI se rabe erbijski (Er: YAG i Er, Cr: YSGG), diodni i Nd: YAG laseri. Kavitacijski učinak lasera dokazan je u različitim otopinama: destiliranoj vodi, NaOCl, EDTA-i, vodikovu peroksidu i drugima. Erbijski laseri imaju mogućnost apsorpcije laserskih zraka u velikom broju sredstava za ispiranje i u vodi (koja im je ciljna kromofora). Sredstvo za ispiranje u kombinaciji s laserom ograničava termalni učinak laserske zrake na dentinske zidove i u isto vrijeme djeluje u sinergiji s kavitacijskim učinkom (41).

Tablica 2. Istraživanja erbijskih lasera i optičkih nastavaka, PIPS tehnika i diodnih lasera. Preuzeto i modificirano iz : (40)

	VALNA DULJINA	DULJINA PULSA	ENERGIJA PULSA FREKVENCIJA SNAGA	VELIČINA I OBLIK NASTAVKA	SMJEŠTAJ U KANALU/ PULPNOJ KOMORICI I VRIJEME	APIKAL -NA PREPARA -CIJA ISO	VARIJACIJE U TEMPERATURI	SRED -STVO ZA ISPIRANJE	CILJ ISTRAŽIVANJA	ZAKLJUČAK
Blanken i Verdaas doek (2007) (48)	2780 nm	130-140 μs	12,5 mJ do 250 mJ 20 Hz	200 μm 320 μm 400 μm Ravni nastavak (Z2, Z3, Z4, Waterlase, Biolase)	5 s	Stakleni cilindar 400 μm Taper 0,06 Dužina 15 mm	5-10 C	Voda	Vizualizacija kavitacijskih mjehurića	
Georg i sur. (2008)	2780 nm	130-140 μs	62,5 mJ 20 Hz	400 μm Konični i Ravni MZ4 (Waterlase, Biolase)	Apikalna trećina 1 mm kraće od radne duljine i onda aktivirati na 5 s 10 x 5 s	ProTaper F5 Maksimalni prednji zubi	Porast temperature od samo 2,5 °C (kasnije istraživanje)	Destilirana voda, 3 % vodikov peroksid i 15 % EDTAC	Uklanjanje zaostalog sloja	LAI je poboljšalo učinkovitost EDTA-e u uklanjanju zaostalog sloja uspoređujući s tradicionalnim ispiranjem sa špricom i iglom
	2940 nm	250 μs	200 mJ 20 Hz	400 μm Ravni i konični nastavak (Kavo Key 3)	Izvlačeći natrag 1mm/s					
Blanken i sur. (2009)	2780 nm	130-140 μs	12,5 mJ do 125 mJ Povećanje po 12,5 mJ 20 Hz	200 μm Ravni nastavak (Z2 Waterlas, Biolase)	Nastavak se vadi van iz kanala u vremenu od 5 s	Stakleni cilindar 400 μm Taper 0,06 Dužina 15 mm		Voda	Vizualizacija kavitacijskih mjehurića	
			75, 125, 250 mJ 20 Hz		Fiksna pozicija u kanalu 5 mm od apeksa 5 s (ponavljano dok kanal nije očišćen)			Crvena boja	Uklanjanje crveno obojene vode	
De Groot i sur. (2009)	2940 nm	250 μs	100 mJ 15 Hz 1,5 W Redukcijski faktor 0,36 F=146 mJ mm ³	280 μm Duljine 30mm (Gr 30x28 Kavo Key 2)	1 mm kraće od radne duljine Polako pomicati gore dolje 4 mm u apikalnoj sredini 20 s	ISO35 Taper0,06 Duljina 15 mm Dekoronirani maksimalni kanini		2 % NaOCl	Uklanjanje debrisa Istraživanje mehanizma rada	Bolje uklanjanje zaostalog sloja s LAI usporedno s tradicionalnim ispiranjem špricom i iglom i PUI

De Moor i sur. (2009)	2780 nm	130-140 μs	75 mJ 20 Hz 1,5 W	200 μm Ravni nastavak (Z2 Waterlas, Biolase)	Stacionarno 5 mm kraće od apeksa 4x5 s	ISO 40 Taper 0,06 Dužina 18 mm Dekoronirani maksimalni sjekutići		2,5 % NaOCl	Uklanjanje debrisa	Bolje uklanjanje zaostanog sloja s LAI usporedno s tradicionalnim ispiranjem špricom i iglom i PUI
De Moor i sur. (2010)	2780 nm	130-140 μs	75 mJ 20 Hz 1,5 W	200 μm Ravni nastavak (Z2 Waterlas, Biolase)	Stacionarno 5 mm kraće od apeksa 4x5 s	ISO 40 Taper 0,06 Dužina 18 mm Dekoronirani maksimalni sjekutići		2,5 % NaOCl	Uklanjanje debrisa	PUI je jednako učinkovito kao LAI ako se količina sredstva za ispiranje i vrijeme ispiranja utrostruči
	2940 nm	250 μs		200 μm Ravni nastavak (Hoya)						
Macedo i sur. (2010)	2940 nm	250 μs	100 mJ 15 Hz 1,5 W	280 μm Duljine 30mm (Gr 30x28 Kavo Key 2)	1 mm kraće od radne duljine Polako pomicati gore dolje 4 mm u apikalnoj sredini 1 min aktivacije i 3 min mirovanja	Dekoronirani maksimalni centralni incizivi		10 % NaOCl	Reakcija NaOCl	Potrošnja slobodnih iona klorida je znatno više porasla kod LAI u odnosu na ispiranje špricom i PUI
Matsumoto i sur. (2011) (44)	2940 nm	250 μs	30, 50 70 mJ 1 do 20 Zh 44, 72, 104 Watts OVO PROVJERI	200 μm 300 μm	2 i 5 mm manje od radne duljine, stacionarno	Stakleni model 1 mm		voda	Mehanizam LAI	
Peeters i Suardita (2011) (49)	2780 nm	130-140 μs		Ravni nastavak	30 i 60 s	ISO 20-30 Taper 0,02		3% NaOCl i 17% EDTA	Uklanjanje zaostanog sloja	Nisu dobili prevelike razlike između uzoraka, no uzorak sa ISO 30 koji je bio tretiran LAI 60 s je jedini bio potpuno čist
Peeters i Mooduto (2012) (58)	2780 nm	130-140 μs	2 W 35 Hz (Efektivne snage 1.2 W)	600 μm Ravni nastavak	U pulpnoj komori 120 s	ISO 30 Taper 0,02 Maksimalni kanin	temperatura nije nikad rasla iznad 5 C. 25,2 do 27,1 C je bila	17% EDTA i 3% NaOCl	In vivo i temperatura na promjena	Porast temperature koji su dobili je prihvatljiv
Seet sur. (2012) (59)	2780 nm	130-140 μs	1 i 1,5 W	Nije napisan	U koronarnoj trećini samo 4 mm i polako vukli nazad van.	ISO 40 Taper 0,06		4% NaOCl	Mikrobiološko istraživanje (E. Faecalis)	LAI je pokazao najveću redukciju u broju bakterija i čiste dentinske zidove u odnosu na zvučno i ručno ispiranje
	2940 nm									
Guidotti i sur. (2012) (50)	2940 nm	250 μs	50 mJ 20 Hz 1W	300 μm ravni nastavak Preciso (Fotona, Ljubljana, Slovenija)	Ne zna se pozicija intermitentna aktivacija 5 s novog sredstva za ispiranje za bar tri puta	F3 Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Swiss	3,5 +- 0,4 C sa termocouple dok je tremalna kamera pokazala srednje površinsko povećanje temperature za 1,3 +- 0,2 C	2,5% NaOCl/ 2,5% i 17% EDTA/17 % ETDA	Uklanjanje zaostanog sloja Povećanje temperature	Skupina s dva zračenja 17% EDTA-om i 2,5% NaOCl je uspješno uklonila zaostati sloj i u apikalnoj trećini korijenskih kanala
Meire i sur. (2013)	2780 nm	130-140 μs						U vodi i NaOCl	Optička svojstva sredstva za ispiranje korijenskih kanala.	
Licata i sur. (2013) (60)	2780 nm	130-140 μs	75 i 25 mJ	200 μm radijalni zrakasti nastavak drži se stracionarno na ulazu u kanal	30 i 60 s	ISO 30 Protaper 0,06 Jednokorijenski zubi		5,25% NaOCl i 17% EDTA	Mikrobiološko istraživanje (E. Faecalis)	Najbolje rezultate dobili su Er,Cr:YSGG laserom 60 s iradijacijom na 75 mJ energije uz ispiranje 5,25% NaOCl-om i 17% EDTA-om

Kuhni sur. (2013)	2940 nm	250 μ s	0,2 W						In vitro učinak Er:YAG laserskog zračenja i mogućnost NaOCl da razlaže meka tkiva.	LAI dovodi do rastavljanja mekog tkiva
Bolhari i sur. (2014) (61)	2780 nm	140 μ s	20 Hz 1,5 W	320 μ m zrakasti nastavak (RFT3)	Na radnu duljinu izvlačiti van 2mm/s	ISO 35 Taper 0,04		17% EDTA 5,25% NaOCl	Uklanjanje zaostatnog sloja u tri segmenta korijenskog kanala	Er,Cr:YSGG laser nije uklonio sav zaostatni sloj uspješno
			2,5 w	Endolase, Biolase Technology)	3 x sa 20 s pauzom					
Bago Jurić i sur. (2014) (62)	2780 nm	130-140 μ s	62,5 mJ 1.25 W 20 Hz	275 μ m, 25 mm (Endolase Tip, RFT2, Biolase)	5 mm kraće od radne duljine 4x5 s	Protaper F3		2,5 % NaOCl	Mikrobiološko istraživanje (E. faecalis)	Učinkovitija dezinfekcija s LAI u odnosu na PUI i RinsEndo
Deleu i sur. (2015)	2940 nm	50 μ s	60 mJ 20Hz	300 μ m Ravnih nastavak (Preciso 300/14) AT Fidelis PIPS	5 mm od radne duljine, stacionarno 4x5 s	ISO 30 Taper 0,06 1 mm od apikalnog foramena maksimalnih kanala		2,5 % NaOCl	Istraživanje o uklanjanju debrisa	
			40 mJ 20 Hz	300 μ m Konični (PIPS 300/14) AT Fidelis PIPS	4 mm u kanalu stacionarno 4x5 s					
			7,5 W 25 Hz	200 μ m Ravnih nastavak	2 mm od radne duljine mieući gore dolje 18 s					
DiVito i sur. (2010) (63)	Er:YAG PIPS 2940 nm	50 μ s	20 mJ 0,3 W 15 Hz	PIPS 400 μ m 20/40 s	Koronarno u ulazu u kanal, stacionarno	ISO 20 Taper 0,06	Povećanje za 1.2°C/1.5°C za 20s/40s	Destilirana voda/ 17% EDTA	Učinkovitost uklanjanja zaostatnog sloja	Bolje uklanjanje zaostatnog sloja od ispiranja špricom, najbolje s laserom i ETDA-om 40s
Jaramillo i sur. (2012) (64)	PIPS 2940 nm	50 μ s	20 mJ 0,3 W 15 Hz	PIPS, 400 μ m 14 mm 20 s	Koronarno u ulazu u kanal, stacionarno	ProTaper F1		6 % NaOCl	Mikrobiološko istraživanje E. faecalis	Uspješno inhibira kolonizaciju E. faecalis
Lloyd i sur. (2014) (65)	PIPS 2940 nm	50 μ s	20 mJ 0,3 W 15 Hz	PIPS, 600 μ m 9 mm s poliamidnim vrhom stripped back 3 mm 30 s	Koronarno u ulazu u kanal, stacionarno	ISO 30 Taper 0,06 ProFile		Voda/ 17% EDTA/ 6% NaOCl	Uklanjanje debrisa iz istnusa kanala, mikrofocus computed tomographic imaging	PIPS uklanja 2,6 puta više debrisa od tradicionalnog ispiranja špricom i iglom
Hmudi sur. (2009)	Diodni laseri 940 nm		4 W 10 Hz	200 μ m (Biolase Ezlase)	Kapilarni model cijevi		Porast temperature od 4°C na vanjskoj površini korijena	destilirana voda, degazirana destilirana voda, voda iz pipe, ozonirana voda (OH DENT i Biotek), vodikov peroksid 3% i 6%.	Indukcija kavitacija u različitim sredstvima	Kavitacije se mogu izazvati unutar 5 sekundi u sedam tekućina, najbolje u vodikovom peroksidu
	980 nm		2,5 W 25 Hz	(Sirona Sirolaser)						

Provedena su brojna istraživanja koja su ispitala učinak erbijskih i diodnih lasera u LAI tehnici (Tablica 2.). Istraživanja su pokazala da je LAI erbijskim laserom poboljšao učinkovitost EDTA-e u uklanjanju zaostatnog sloja u usporedbi s tradicionalnim ispiranjem špricom, zvučnim ispiranjem i PUI-jem (49). PUI je jednako učinkovit kao LAI ako se količina sredstva za ispiranje i vrijeme ispiranja

utrostruči. Najbolji rezultati dobiju se laserskim zračenjem erbijskim laserom i kombinacijom NaOCl i EDTA-e (50). Bolhari i sur. (61) su u svom istraživanju ispitali učinkovitost Er, Cr: YSGG lasera u uklanjanju zaostatnog sloja. SEM analiza je pokazala da Er, Cr: YSGG laser nije uklonio u potpunosti zaostatni sloj (61).

Laseri svoje antimikrobno djelovanje mogu pripisati fototermalnom i fotomehaničkom učinku. Fototermalnim učinkom djeluju na osmotski gradijent te dovode do bubrenja i stanične smrti bakterija. Erbijski laseri pružaju mogućnost rada kratkim pulsevima (kraćima od 150 μ s) te u kombinaciji sa sredstvom za ispiranje proizvode fenomen udarnog vala (engl. *shock wave* fenomen) (fotomehanički učinak). Zahvaljujući spomenutom učinku, dokazano je smanjenje broja bakterija za čak 73 % kada je aktivirana samo destilirana voda (41).

LAI u kombinaciji s natrijevim hipokloritom također pokazuje dobro antimikrobno djelovanje. Dokazana je djelotvornost erbijskih lasera protiv *Enterococcus faecalis* i *Candida albicans* (59, 60, 62). Porast temperature u korijenskom kanalu i na vanjskoj površini korijena u istraživanjima je prihvatljiv i ne dovodi do strukturnih i anatomskih oštećenja (50, 58). Pukotine i karbonizacije dentinskih zidova nastaju kao posljedica visoke snage emitiranja lasera (> 4 W), no one mogu nastati i kod manjih snaga (1 W) uslijed nedostatnog hlađenja (61).

LAI se preporučuje kao dodatna metoda za čišćenje korijenskih kanala i pokazao se boljim izborom aktivacije sredstva za ispiranje od dosad poznatih tehnika. Erbijski laseri su prema provedenim istraživanjima učinkovitiji u uklanjanju zaostatnog sloja u usporedbi s ostalim laserima i sredstvima za ispiranje (49, 50). Obradom laserima

postiću se čišći zidovi korijenskih kanala i u kraćem vremenu, što je za klinički rad od velike važnosti. Na čistoj površini može se postići bolje brtvljenje endodontskog punjenja te brže cijeljenje. Zbog spomenutih prednosti, jedan od erbijskih lasera i LAI tehnika su rabljeni i u opisanom prikazu slučaja u ovom radu. Na cijeljenje periapikalnog procesa utječu različiti čimbenici, ne samo dezinfekcija endodontskog prostora, no moguće je da je i dezinfekcija jedan od čimbenika koji su potpomogli cijeljenju u ovom prikazu slučaja.

5. ZAKLJUČAK

Tijekom endodontskog liječenja, ključno je ukloniti zaostatni sloj i debris s bakterijama. LAI metodom aktivirano sredstvo za ispiranje se brže kreće i čisti veću površinu korijenskih kanala od dosad poznatih metoda čišćenja. Erbijski laseri imaju valnu duljinu koja se dobro apsorbira u sredstvima za ispiranje korijenskih kanala, brže izazivaju kavitacijski učinak, djelotvorniji su u uklanjanju zaostatnog sloja i dezinfekciji endodontskog prostora od drugih lasera uz manje zagrijavanje tvrdih zubnih tkiva. Odgovarajuća mehanička obrada i dezinfekcija korijenskih kanala važni su za uspjeh endodontskog liječenja zuba. U opisanom prikazu slučaja, nakon strojne instrumentacije korijenskoga kanala zuba 22, dezinfekcije Er, Cr: YSGG laserom, punjenja te izrade trajnog ispuna, nakon šest mjeseci je vidljivo cijeljenje periapikalnog procesa, a zub je klinički asimptomatski.

6. SAŽETAK

Konvencionalnom kemomehaničkom obradom korijenskih kanala nije moguće u potpunosti očistiti zidove korijenskih kanala od zaostatnog sloja i debrisa s bakterijama. Zato su se razvili različiti sustavi za aktivaciju sredstva za ispiranje, od kojih su najnoviji laseri. LAI je metoda aktivacije sredstva za ispiranje stvaranjem kavitacijskih mjehurića i agitacijom tekućine čime sredstva za ispiranje mogu doseći teško dostupna područja i tamo djelovati antimikrobno ili ukloniti zaostatni sloj.

U ovome radu obrađen je slučaj traume gornjeg lijevog lateralnog sjekutića s velikom periapikalnom radiolucencijom koja je bila vidljiva na RTG snimci. Zub je nakon mehaničke instrumentacije Reciproc instrumentom R50 dezinficiran LAI tehnikom, Er, Cr: YSGG laserom, valne duljine 2780 nm, koničnim RFT2 nastavkom uz fiziološku otopinu kao sredstvo za ispiranje. Nakon toga je zub obturiran biokeramičkim punilom i odgovarajućom Reciproc R50 gutaperkom te je pristupni kavitet zatvoren staklenoionomernim ispunom (Equia Fil). Stari kompozitni ispun zamijenjen je novim ispunom. Na kontrolnoj RTG snimkci nakon 6 mjeseci vidi se cijeljenje periapikalnog procesa.

Odgovarajuća mehanička obrada i dezinfekcija korijenskih kanala važni su za uspjeh endodontskog liječenja zuba. U opisanom prikazu slučaja, nakon strojne instrumentacije korijenskoga kanala zuba 22, dezinfekcije Er, Cr: YSGG laserom, punjenja te izrade trajnog ispuna, nakon šest mjeseci vidljivo je cijeljenje periapikalnog procesa, a zub je klinički asimptomatski.

7. SUMMARY

LASER-ACTIVATED IRRIGATION OF ROOT CANALS

It is not possible to fully clean the walls of the root canal from the smear layer and bacteria-filled debris with a conventional chemo-mechanical root canal treatment. Therefore, various systems for the activation of irrigants are being developed, the most recent of which is lasers. The LAI method activates irrigants by creating cavitation bubbles and agitating the irrigants which reach areas difficult to access, have an antimicrobial effect and remove the smear layer.

This paper describes a case of trauma of the upper left lateral incisor, with a large periapical radiolucency visible on an X-ray image. After a mechanical instrumentation with the R50 reciprocating instrument, the tooth was disinfected with the LAI technique and the Er, Cr: YSGG laser of a 2780 nm wavelength, using conical RFT2 fiber with saline. The tooth was obturated with a bioceramic sealer and the appropriate Reciproc R50 gutta-percha, while the access cavity was sealed with a glass ionomer filling (Equia Fil). The old composite filling was removed and a new one was made. A control X-ray after 6 months showed the healing of the periapical area.

A suitable mechanical treatment and the disinfection of root canals are important for the success of the endodontic treatment of teeth. In the present case report, following mechanical instrumentation of the root canal of tooth #22, disinfection with Er, Cr: YSGG laser, obturation and permanent filling, the healing of the periapical area is visible after six months and the tooth is clinically asymptomatic.

8. LITERATURA

1. Peters OA, Schonenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J.* 2001 Apr; 34(3):221-30.
2. Webber J, Machtou P, Pertot W, Kuttler S, Ruddle CJ, West JD. The WaveOne single-file reciprocating system. *Roots* 2011; 1:28-33.
3. Walton RE, Rivera EM. Cleaning and shaping. U: Walton RE, Torabinejad M. Principles and practice of endodontics. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 2002; p. 206-238.
4. Hata G, Hayami S, Weine FS, Toda T. Effectiveness of oxidative potential water as a root canal irrigant. *Int Endod J.* 2001 Jun; 34(4):308-17.
5. Race JP. Efficacy of laser and ultrasonic activated irrigation on eradicating a mixed species biofilm grown in the mesial roots of human mandibular molars [dissertation]. Adelaide: School of Dentistry University of Adelaide; 2015.
6. Opačak I, Medvedec I, Prpić Mehičić G. Sredstva za ispiranje korijenskih kanala. *Sonda.* 2009; 19:58-62.
7. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *Eur J Dent.* 2013 Sep; 7(1):135–42.
8. Sen BH, Akdeniz BG, Denizci AA. The effect of ethylenediamine-tetraacetic acid on *Candida albicans*. *Endod.* 2000 Nov; 90(5):651-5.

9. Rossi-Fedele G, Dogramaci EJ, Guastalli AR, Steler L, Poli de Figueiredo JA. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA and citric acid. *J Endod.* 2012 Apr; 38(4):426-31.
10. Rasimick BJ, Nekich M, Hladek MM, Musikant BL, Deutsch AS. Interaction between Chlorhexidine Digluconate and EDTA. *J Endod.* 2008 Dec; 34(12):1521-3.
11. Ye-Won I, Jung-Ji K, Hyun-Jung K, Se-Wook O. Antimicrobial activities of acetic acid, citric acid and lactic acid against *Shigella* species. *J Food Saf.* 2013 Feb; 33:79-85.
12. Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez M P. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J.* 2004 Jun; 37(6):365-9.
13. Rhodes JS. *Advanced Endodontics: Clinical Retreatment and Surgery.* 1st ed. London: Taylor & Francis; 2006.
14. Agrawal Vineet S, Rajesh M, Sonali K and Mukesh P. A Contemporary Overview of Endodontic Irrigants – A Review. *J Dent App.* 2014 Oct; 1(6):105-15.
15. Jin-Woo K. Percipitate from a combination of sodium hypochlorite and chlorhexidine. *Restor Dent Endod.* 2012 Aug; 37(3): 185–6.
16. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009 Jun; 35(6):791-804.

17. Slideshare [Internet]. [updated 2016 August 29; cited 2016 August 29].
Avaliable from: <http://www.slideshare.net/Ashu9405/irrigation-in-endodontics>.
18. Slideshare [Internet]. [updated 2016 August 29; cited 2016 August 29].
Avaliable from: <http://www.slideshare.net/anuprabhashrivastav/recent-advances-in-irrigation-devices>.
19. Ultradent [Internet]. [updated 2016 August 7; cited 2016 August 29].
Avaliable from: <http://www.ultradent.gr/en/endodontics/navitip-fx-198/-888.html>.
20. Sdmag [Internet]. [updated 2016 August 29; cited 2016 August 29].
Avaliable from: <http://i2.wp.com/sdmag.co.uk/wp-content/uploads/2015/07/66-CLN-Adrian-Fig.2.jpg?w=1024>.
21. Pinkblue [Internet]. [updated 2015 May 20; cited 2016 August 29]. Avaliable
from:http://pinkblue.in/image/cache/data/Product%20Images/Endodontics/Coltene%20Whaledent/2/Canal_Brush_A_NEW-500x500.jpg.
22. Gurtu A, Singhal A, Bansal R, Mehrotra A. Machine Assisted Irrigation Techniques - A Review. *J Dent Sci Oral Rehab*. 2013 Jan-March:21-3.
23. Pinturić V, Karlović Z. Noviteti u strojnoj instrumentaciji korijenskih kanala. *Sonda*. 2012; 13(23):75.
24. Ruddle CJ. Endodontic disinfection: tsunami irrigation. *Endod Pract*. 2008 Feb; 11:7–15.
25. Jadent [Internet]. [updated 2014 December 1; cited 2016 August 29].
Avaliable from:
<http://www.jadent.de/data/media/images/products/a091100000000-000-g.jpg>.

26. Dentalelite [Internet]. [updated 2012 May 22; cited 2016 August 29].
Available from:
http://www.dentalelite.fr/upload/220512_210242_PEEL_MehPw2.png.
27. Medidenta [Internet]. [updated 2016 August 29; cited 2016 August 29].
Available from: <http://www.medidenta.com/rispisonic-p-119.html>.
28. Medidenta [Internet]. [updated 2015 June 10; cited 2016 August 29].
Available from: <http://www.medidenta.com/images/Sonic-Laying-2a-web.jpg>.
29. 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 Jun; 40(6):415-26.
30. Dalai DR, Bhaskar DJ, Agali CR, Singh N, Singh H. Modern Concepts of Ultrasonic Root Canal Irrigation. *Int J Adv Health Sci*. 2014 Aug; 1(4):1-4.
31. Patentimages [Internet]. [updated 2012 September 2; cited 2016 August 29].
Available from:
<https://patentimages.storage.googleapis.com/thumbnails/US6948935B2/US06948935-20050927-D00000.png>.
32. Leadingdental [Internet]. [updated 2016 August 29; cited 2016 August 29].
Available from: leadingdental.com.au.
33. Sen BH, Safavi KE, Spanberg LSW. Antifungal effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine in root canals. *J Endod*. 1999 Apr; 25(4):235-8.

34. Duerrdental [Internet]. [updated 2012 November 27; cited 2016 August 29].
Avaliable from:
https://www.duerrdental.com/fileadmin/_migrated/pics/rinsendo_ddrw.png.
35. Kerrdental [Internet]. [updated 2016 August 29; cited 2016 August 29].
Avaliable from: <http://www.kerrdental.eu/ImageResize.ashx?f=/catalog-files/3/3012/images/MC.PNG>.
36. Steier L. Novel irrigants for canal disinfection. *Roots*. 2006; 3:44-9.
37. Kavousa [Internet]. [updated 2016 August 29; cited 2016 August 29].
Avaliable from: www.kavousa.com.
38. Thestafforddentalprac [Internet]. [updated 2012 June 19; cited 2016 August 29].
Avaliable from: <http://www.thestafforddentalpractice.co.uk/wp-content/uploads/2011/09/Pendox-picture.jpg>.
39. Baraba A. Usporedba učinkovitost Erbium-itrij-aluminij-garnet laserske zrake i dentalnog svrdla za uklanjanje dentina [dissertation]. Zagreb: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2011.
40. Olivi G, De Moor R, DiVito E, editors. *Lasers in Endodontics: Scientific Background and Clinical Application*. 1st ed. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer International Publishing Switzerland; 2016.
41. Olivi G. Laser use in endodontics: evolution from direct laser irradiation to laser-activated irrigation. *J Laser Dent*. 2013; 21:58–71.
42. Lim Z, Cheng, J, Lim T, Teo E, Wong, J, George S, Kishen, A. Light activated disinfection: an alternative endodontic disinfection strategy. *Aust Dent J*. 2009 Jun; 54:108–14.

43. de Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis LW. Laser-activated irrigation within root canals: Cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J.* 2009 Dec; 42(12):1077-83.
44. Matsumoto H, Yoshimine Y, Akamine A. Visualization of irrigant flow and cavitation induced by Er:YAG laser within a root canal model. *J Endod.* 2011 Jun; 37(6):839-43.
45. De Moor R. High-power lasers in endodontics – fiber placement for laser-enhanced endodontics: in the canal or at the orifice? *JLA&HA.* 2014 Jul; 2014:20–8.
46. Blanken JW, Verdaasdonk RM. Cavitation as a working mechanism of the Er, Cr:YSGG laser in endodontics: A visualization study. *Journal of Oral Laser Applications.* 2007; 7(2):97-106.
47. De Moor RJ, Meire M. Laser activated irrigation Part I: The power of the bubble. *Laser.* 2014; (2):12-7.
48. Olivi G, Crippa R, Iaria G, Kaitsas V, DiVito E, Benedicenti S. Laser in endodontics (Part I). *Roots* 2011; 1;6-9.
49. Peeters HH, Suardita K. Efficacy of smear layer removal at the root tip by using ethylenediaminetetraacetic acid and erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium garnet laser. *J Endod.* 2011 Nov; 37(11):1585-9.
50. Guidotti R, Merigo E, Fornaini C, Rocca J-P, Medioni E, Vescovi P. Er:YAG 2,940-nm laser fiber in endodontic treatment: a help in removing smear layer. *Lasers Med Sci.* 2014 Jan; 29(1):69-75.
51. Olivi G, Crippa R, Iaria G, Kaitsas V, DiVito E, Benedicenti. Laser in endodontics (Part II). *Roots.* 2011; 7(2):6-12.

52. Raucci-Neto W, Raquel dos Santos C, Augusto de Lima F. et al. Thermal effects and morphological aspects of varying Er:YAG laser energy on demineralized dentin removal: an in vitro study. *Lasers Med Sci.* 2015 May; 30(4):1231-6.
53. Shahravan A, Haghdoost AA, 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 Feb; 33(2):96-105.
54. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics – a review. *Int Endod J.* 2010 Jan; 43(1):2-15.
55. Berutti E, Marini R, Angeretti A. Penetration ability of different irrigants into dentinal tubules. *J Endod.* 1997 Dec; 23(12):725-7.
56. Benedicenti S, Cassanelli C, Signore A, Ravera G, Angiero F. Decontamination of root canals with the gallium-aluminumarsenide laser: An in vitro study. *Photomed Laser Surg.* 2008 Aug; 26(4):367-70.
57. Stojičić S, Zivković S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: Effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod.* 2010 Sep; 36(9):1558-62.
58. Peeters H, Mooduto L. Measurement of temperature changes during cavitation generated by an erbium, chromium: Yttrium, scandium, gallium garnet laser. *Open J Stomatol.* 2012 Dec; 2:286-91.
59. Seet AN, Zilm PS, Gully NJ, Cathro PR. Qualitative comparison of sonic or laser energisation of 4% sodium hypochlorite on an *Enterococcus faecalis* biofilm grown in vitro. *Aust Endod J.* 2012 Dec; 38(3):100-6.

60. Licata ME, Albanese A, Campisi G, et al. Effectiveness of a new method of disinfecting the root canal, using Er, Cr:YSGG laser to kill *Enterococcus faecalis* in an infected tooth model. 2015 Feb; 30(2):707-12.
61. Bolhari B, Ehsani S, Etemadi A, Shafaq M, Nosrat A. Efficacy of Er,Cr:YSGG Laser in Removing Smear Layer and Debris with Two Different Output Powers. *Photomed Laser Surg.* 2014 Oct; 32(10):527-32.
62. Bago Jurič, Plečko V, Anić I. Antimicrobial efficacy of Er, Cr;YSGG laser-activated irrigation compared with passive ultrasonic irrigation and Rins endo against intracanal *Enterococcus faecalis*. *Photomed Laser Surg.* 2014 Nov; 32(11):600-5.
63. DiVito E, Peters A, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci.* 2012 Mar; 27(2):273-80.
64. Jaramillo DE, Aprecio AM, Angelov N, DeVito E, McClammy TV. Efficacy of photon induced photoacoustic streaming (PIPS) on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: A pilot study. *Endod Pract US.* 2014 Aug; 145(8):843-8.
65. Lloyd A, Uhles JP, Clement DJ, Garcia-Godoy. Elimination of Intracanal Tissue and Debris through a Novel Laser-activated System Assessed Using High-resolution Micro-computed Tomography: A Pilot Study. *J Endod.* 2014 Apr; 40(4):584-7.

9. ŽIVOTOPIS

Marta Lulić rođena je 23. 4. 1992. u Zagrebu gdje je završila Osnovnu školu Antuna Gustava Matoša, Glazbenu školu Pavla Markovca i Drugu gimnaziju. Studij Dentalne medicine Sveučilišta u Zagrebu upisala je 2010. godine. Tijekom studiranja, bila je demonstratorica na Zavodu za fiziku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Zimski semestar pete godine stipendirao joj je Stomatološki fakultet u sklopu programa Erasmus + studentski boravak te ga odrađuje u Poljskoj na Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu.