

Primjena lasera u dezinfekciji i čišćenju korijenskih kanala

Cofini, Michele

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:127:678135>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
STOMATOLOŠKI FAKULTET

Michele Cofini

**PRIMJENA LASERA U DEZINFEKCIJI I
ČIŠĆENJU KORIJENSKIH KANALA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, srpanj 2015.

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

Voditelj rada: dr.sc. Ivona Bago Jurič
Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju
Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog: Monika Šalec, mag. educ. philol. croat.
Stubička Slatina 1,
49243 Oroslavje
099/236 5800

Lektor engleskog: Maja Čajko, mag. educ. philol. angl.
Doliće 54,
49000 Krapina
091/530 1234

Rad sadrži: 34 stranica

7 slika

1 CD

SADRŽAJ:

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. SVRHA RADA..... | 3 |
| 3. KARAKTERISTIKE LASERSKOG ZRAČENJA | 4 |
| 4. UTJECAJ LASERSKOG ZRAČENJA NA TKIVO..... | 5 |
| 5. PRIMJENA LASERA U ENDODONCIJI..... | 8 |
| 5.1. Nd:YAG LASER..... | 10 |
| 5.2. DIODNI LASER | 12 |
| 5.3. ERBIJ LASER..... | 13 |
| 6. PRIMJENA LASERA U DEZINFEKCIJI I ČIŠĆENJU KORIJENSKIH KANALA..... | 15 |
| 6.1. FOTODINAMSKA TERAPIJA..... | 16 |
| 6.2. TRADICIONALNA TEHNIKA DIREKTOG ZRAČENJA KORIJENSKIH KANALA | 18 |
| 6.3. LASERSKI AKTIVIRANO ISPIRANJE | 19 |
| 7. RASPRAVA | 21 |
| 8. ZAKLJUČAK..... | 23 |
| 9. SAŽETAK | 24 |
| 10. SUMMARY | 25 |
| 11. LITERATURA..... | 26 |
| 12. ŽIVOTOPIS | 34 |

POPIS OZNAKA I KRATICA

NaOCl – Natrij hipoklorit

EDTA – Etilendiaminotetraoctena kiselina

CO₂ – Ugljikov dioksid

CW – kontinuirani mod rada lasera (engl. continuous wave)

Nd:YAG – neodimij: itrij-aluminij-garnet (engl. Neodymium-doped Yttrium
Aluminium Garnet)

Er:YAG – erbij: itrij-aluminij garnet (engl. Erbium Yttrium Aluminium Garnet)

Er,Cr:YSGG – erbij-kromij: itrij-skandij-galij garnet (engl. Erbium Chromium
Yttrium Scandium Gallium Garnet)

LAI – Laserski aktivirano ispiranje (engl. laser activated irrigation)

PIPS – Fotonsko inicirajuće fotoakustično strujanje (engl. photon-induced
photoacoustic streaming)

KTP – kalij titanil fosfat (engl. potassium-titanyl-phosphate)

aPDT – Antimikrobna fotodinamska terapija (engl. antimicrobial photodynamic
therapy)

PAD – Fotoaktivirana dezinfekcija (engl. photoactive disinfection)

1. UVOD

Tradicionalni kemijsko-mehanički postupci čišćenja korijenskih kanala ne mogu osigurati uspješnu dezinfekciju čitavog endodontskog prostora, osobito u područjima intrakanalnih nepravilnosti (istmusi, apikalna delta, lateralni kanali). Postupkom mehaničke instrumentacije, ispiranja različitim antimikrobnim sredstvima i umetanjem medikamentoznih uložaka na bazi kalcijevog hidroksida uklanja se većina nekrotičnog tkiva te značajno smanjuje broj mikroorganizama u korijenskom kanalu, no nije moguće potpuno ukloniti mikroorganizme (1). Nakon same mehaničke instrumentacije oko 35% dentinskog zida ostaje prekriveno bakterijskim biofilmom (1), a naknadna primjena antimikrobnih sredstava zadnji je stup obrane. S obzirom da je za uspjeh endodontskog liječenja zuba ključno pravilno i uspješno dezinficirati korijenski kanal te na taj način omogućiti cijeljenje periapikalnog procesa, prisutni su konstantni napori stručnjaka da pronađu što uspješniji način.

Primjena lasera u dezinfekciji i čišćenju korijenskih kanala relativno je nova tehnika, čiji se puni potencijal još uvijek istražuje, pa stoga nije u široj upotrebi. Prednosti lasera naspram klasičnih endodontskih instrumenata i metoda su vrlo dobra hemostaza, potencijalna mogućnost sterilizacije područja djelovanja, smanjena mogućnost kontaminacije zbog izostanka kontakta tkiva i instrumenata te nema potrebe za korištenjem spreja za hlađenje tkiva, kao kod upotrebe zračne turbine (2). U endodonciji se, ovisno o indikaciji, koriste gotovo sve vrste lasera koje se primjenjuju u stomatologiji (2).

Laser se u dezinfekciji korijenskog kanala može koristiti u tehnici fotoaktivirane dezinfekcije, direktnog zračenja korijenskih kanala i laserski aktiviranog ispiranje, čiji će postupci i djelovanje biti pobliže opisani u nastavku rada.

2. SVRHA RADA

Svrha rada je opisati lasere koji se mogu koristiti u dezinfekciji korijenskog kanala zuba, način njihovog rada u korijenskom kanalu, djelovanje na dentinsko tkivo i bakterijski biofilm.

3. KARAKTERISTIKE LASERSKOG ZRAČENJA

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), tj. pojačanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja, naziv je za izvor svjetlosti kod kojeg se za razliku od konvencionalnih izvora svjetlosti, svjetlost generira mehanizmom stimulirane emisije. Laserski uređaj emitira elektromagnetske valove od ultraljubičastog do infracrvenog te vidljivog dijela spektra, a karakteristike laserskog zračenja su koherentnost, usmjerenost i monokromatičnost. Koherentno zračenje je ono zračenje kod kojega svi svjetlosni valovi od kojih je ono sastavljeno titraju u fazi, sinhronizirano, kako u samom centru laserskog snopa tako i na periferiji. Laserska zraka je usmjerena, dakle zračenje se rasprostire samo u relativno uzak prostorni kut, pa su i udaljenosti rasprostiranja takvog zračenja velike, što znači da se laserska svjetlost može precizno fokusirati na jednu točku tkiva uz veliku koncentraciju energije. Nadalje, lasersko zračenje je monokromatsko, tj. sastoji se od relativno uskog frekventnog spektra ili možemo reći samo od jedne valne duljine (3).

Prema načinu rada lasere možemo podijeliti na kontinuirane (CW) i pulsne. Glavna karakteristika CW lasera jest to da je intenzitet emitiranog vala stalan u vremenu. S druge strane pulsni laseri emitiraju pulseve različitog intenziteta. Što je trajanje pulsa kraće, to je snaga lasera veća.

Ovisno o agregatnom stanju optičkog pojačala, lasere možemo podijeliti na plinske, tekuće i lasere čvrstog stanja.

4. UTJECAJ LASERSKOG ZRAČENJA NA TKIVO

Razvoj i istraživanje na području upotrebe laserske tehnologije u biomedicinske svrhe traju gotovo od samog trenutka otkrića lasera kao novog tehnološkog postignuća. Napretkom tehnologije u posljednjih 50 godina, paralelno je došlo i do većeg stupnja razvoja i učinkovitosti komercijalno dostupnih lasera za upotrebu u medicinske svrhe. Danas dostupni medicinski laseri pokrivaju uzak segment valnih duljina koji se kreće od ultraljubičastog (UV) do srednjeg infracrvenog dijela spektra elektromagnetskog zračenja (200 nm do 10 μ m). Laserska zraka je veoma selektivna i precizna u interakciji s biološkim tkivom zbog svojih svojstava monokromatike, koherentnosti, kolimiranosti i visokog intenziteta (4, 5). U kontaktu s tkivom na koje se primjenjuje, laserska zraka se može odbiti od površine tkiva (refleksija), raspršiti kroz tkivo, proći kroz tkivo u nepromijenjenom obliku (transmisija) ili se u tkivo apsorbirati (6). Do samih promjena u tkivu dolazi djelovanjem apsorbirane svjetlosne energije koja pri kontaktu s tkivom prelazi u termičku energiju. Valna duljina zračenja, te optička i kemijska svojstva ciljanog tkiva su elementi koji utječu na količinu laserske energije koju će tkivo apsorbirati (6).

Pomoću definiranja parametara lasera koji se koristi može se kontrolirati učinak apsorbirane energije na ciljano tkivo.

Parametri lasera koji se mogu kontrolirati su:

1. Energija pulsa
2. Način emitiranja energije (kontinuirano ili pulsno zračenje)
3. Promjer laserske zrake koja se aplicira na tkivo
4. Trajanje pulsa i frekvencija zrake
5. Vodeno hlađenje

Dodatno, kako lasersko zračenje određenih parametara za posljedicu ima promjene fizičkih svojstava tkiva, kontinuirana primjena laserskog zračenja na ciljani segment tkiva, može utjecati i na sam daljni učinak lasera na tkivo (7).

Učinkovitost lasera u stomatologiji i medicini ovisi o karakteristikama pojedine vrste lasera koja se upotrebljava, te o specifičnim atributima tkiva na koje se određena vrsta lasera primjenjuje. Definirani parametri laserskog zračenja i sama fizikalna svojstva tkiva na koje se laser primjenjuje (koeficijent apsorpcije i disperzije, termalna kondukcija, mehanička snaga, toplinski kapacitet), određuju vrstu interakcije lasera i biološkog tkiva (8). Gustoća energije koja se primjenjuje prilikom djelovanja lasera na tkivo dovodi do različitih učinaka na samo tkivo. Ukoliko je gustoća energije manja, učinak lasera na tkivo je fotokemijsko ili fotobiomodulativno. Kod primjene viših stupnjeva energije laserskog zračenja dominira fototermički učinak. Fotomehanički, odnosno drugim nazivom fotoakustični učinak lasera na tkivo nastaje kada se velika energija zračenja prenosi na tkivo tijekom kratkih pulseva energije (vremenski intervali mjereni nano i pikosekundama) (7).

Kao zaključak se nameće činjenica da primjena laserskog zračenja manjeg intenziteta emitirane energije u dužem vremenskom periodu dovodi do manjeg razaranja tkiva na koje se aplicira zračenje od zračenja većeg intenziteta emitiranog u kraćim pulsevima. Također, može se zaključiti da ovisno o specifičnom cilju koji želimo postići laserskim zračenjem, postoji točno određena količina laserske energije koju je potrebno primijeniti prilikom interakcije lasera s biološkim tkivom (8).

5. PRIMJENA LASERA U ENDODONCIJI

Ubrzo nakon što je 60-ih godina prošlog stoljeća Theodore Maiman konstruirao prvi rubinski laser, počela su i istraživanja o djelovanju lasera u biomedicinske svrhe. Prvi pokušaj upotrebe lasera u endodonciji je bio 1971. godine, kada su Weichman i Johnson u *in vitro* uvjetima pokušali zapečatiti apeksni otvor CO₂ laserom (9). U narednim godinama, razvojem opće tehnologije lasera, došlo je i do značajnog napretka u tehnologiji lasera u dentalnoj medicini (10).

Razvoj novih tankih i fleksibilnih fiberoptičkih nastavaka za prijenos laserske zrake u korijenski kanal omogućilo je upotrebu lasera u endodonciji za čišćenje i dezinfekciju korijenskih kanala, punjenje i reviziju, te upotrebu u apikalnoj kirurgiji (11).

Ograničenja primjene lasera u endodonciji je pravocrtno emitiranje zračenja s veoma malim kutom divergencije od 18 do 20 stupnjeva (12) zbog čega je teško postići ravnomjerno zračenje dentinske stijenke korijenskog kanala u cjelini (12, 13). Također, pravocrtna emisija energije može biti opasna kod revizije ili instrumentacije u zavnutim korijenskim kanalima jer može dovesti do nastanka intrakanalne stepenice ili perforacije (14, 15).

Lasere u endodonciji možemo klinički primijeniti na više načina, odnosno postoji više područja primjene:

1. Dentinska preosjetljivost

Prilikom liječenja dentinske preosjetljivosti uporaba lasera temelji se na dva moguća mehanizma djelovanja. Kao prvi možemo navesti otapanje dentina, fuziju i pečačenje dentinskih tubulusa, dok kao drugi navodimo promjenu električne aktivnosti živčanih vlakana u pulpi djelovanjem laserskog zračenja (16, 17). Ponajviše se koriste diodni laseri, Nd: YAG ($\lambda=1064$ nm) i Nd:YAP ($\lambda=1342$ nm).

2. Dijagnoza stanja pulpe

Helij-neonski (He-Ne) laseri i diodni laseri koriste se pri malim snagama od 1-2 mW za procjenu protoka krvi u pulpi pomoću dopler učinka (18).

3. Trepanacija pulpne komore

Zbog dobre apsorpcije u vodi i hidroksiapatitu te učinkovitog uklanjanja tvrdog zubnog tkiva, za oblikovanje pristupnog kaviteta koristimo erbij lasere. Prednost kojom se odlikuje ova tehnika je istovremena dezinfekcija operativnog područja i prevencija prijenosa bakterija, toksina i debrisa u apikalni dio korijenskog kanala.

3. Punjenje korijenskih kanala

Temelj za primjenu lasera za punjenje korijenskih kanala je mogućnost otapanja punila laserima. Kod istraživanja Anić i sur. (19) korišteni su argon, CO₂ i Nd:YAG laseri za omekšanje gutaperke, te su rezultati pokazali da se

Argon laser može koristiti za omekšanje gutaperke uz istovremeno dobro apikativno brtvljenje.

4. Endodontska kirurgija

U endodontskoj kirurgiji, laseri se mogu koristiti za ostvarenje bolje hemostaze i vizualizacije operativnog područja, dezinfekciju kontaminiranog apeksa korijena, smanjenje propusnosti površine dentina apikalnog dijela korijena i smanjenje postoperativne boli. Istraživanja in vitro pokazala su smanjenje prodiranja boje i bakterija kroz ostatak amputiranog korijena nakon zračenja s CO₂ i Nd:YAG laserima (20, 21, 22).

5.1. Nd:YAG LASER

Nd:YAG (neodimij: itrij-aluminij-garnet) je laser s krutom jezgrom koji se sastoji od itrij-aluminijevog garnet (YAG) kristala s atomima neodimija, a emitira infracrveno zračenje valne duljine 1064 nm (Slika 1). Dobro se apsorbira u melaninu i pigmentiranim tkivima, pa se tako 95% zračenja apsorbira u karijesom zahvaćenom tvrdom zubnom tkivu, 60% se apsorbira u mekom tkivu (23), dok se u dentinu apsorbira 30% (23). Kako rezultati termičkih ispitivanja pokazuju relativno slabu apsorpciju u caklini i dentinu te se energija brzo prenosi do pulpne komorice, taj laser nije pogodan za tvrda zubna tkiva (24).



Slika 1. Nd:YAG laser s fiberoptičkim nastavkom.

Preuzeto: Ivona Bago Jurič

Moritz i sur. (25) su dokazali baktericidni učinak pulsnoeg Nd:YAG lasera (1W te 1,5W) na dubini dentina od 1 mm, pri čemu je značajno smanjen broj bakterija u apikalnoj delti i akcesornim kanalima (čak za 99,16%). Kako bi se postiglo ravnomjerno zračenje cijele dentinske stjenke korijenskog kanala te spriječilo pretjerano zagrijavanje apeksa tijekom rada, potrebno je tanki fiberoptički nastavak držati na udaljenosti od 1 do 2 mm od apeksa i pomicati kružnim pokretima (26). Unatoč dokazanom baktericidnom djelovanju, neka istraživanja pokazuju da Nd:YAG laser nije učinkovitiji u dezinfekciji od tradicionalne tehnike ispiranja natrijevim hipokloritom (NaOCl) (27), stoga je preporuka da se ovaj laser koristi kao dodatno sredstvo dezinfekcije, a ne potpuna zamjena za standardne tehnike.

5.2. DIODNI LASER

Diodni laseri emitiraju zračenje različitih valnih dužina, najčešće vidljivi dio spektra od 660 nm te infracrveni od 810 nm te 980 nm. Diodni se laser upotrebljava u kirurgiji mekih tkiva i za dezinfekciju jer se dobro apsorbira u pigmentiranim tkivima, melaninu i hemoglobinu, ali ne može prodrijeti u dentin toliko duboko kao pulsni, npr. Nd:YAG, zbog visokog koeficijenta apsorpcije u vodi ($0,68 \text{ cm}^{-1}$). Zračenje diodnog lasera prodire do $750 \mu\text{m}$ u dentinske tubuluse (28) (Slika 2).



Slika 2. Dezinfekcija korijenskog kanala diodnim laserom.

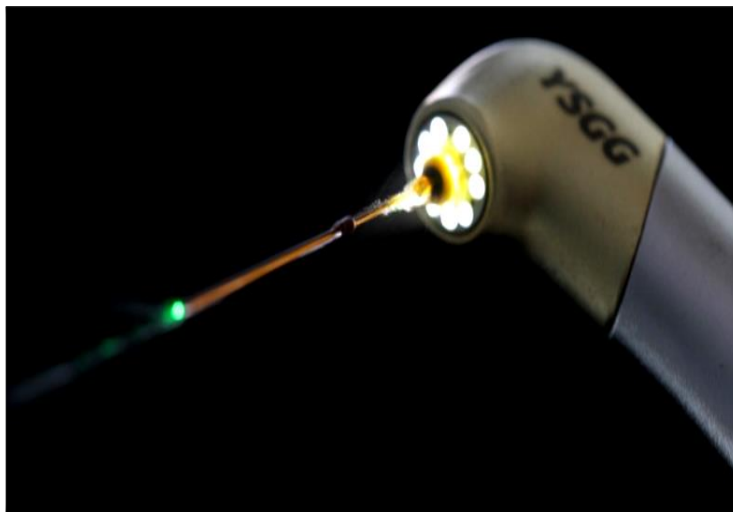
Preuzeto: Ivona Bago Jurič

Istraživanja su dokazala antibakterijsko djelovanje diodnog lasera u korijenskom kanalu, koje se temelji na fototermalnom učinku, čime se uklanja do 99,91% bakterija u korijenskom kanalu (29). Moritz i sur. (30) istražili su antimikrobno djelovanje diodnog lasera valne duljine 810 nm uz djelovanje snage od 3 W tijekom

5 x 5 sekundi, pri čemu su dokazali značajno baktericidni učinak na tipove *Escherichia coli* i *Enterococcus faecalis* u korijenskim kanalima zuba.

5.3. ERBIJ LASER

U stomatologiji se danas koriste dvije vrste erbij lasera različitih valnih duljina mid-infracrvenog spektra elektromagnetskog zračenja. Prvi je Er:YAG laser (itrij-aluminij-garnet s dodatkom erbija) valne duljine 2940 nm, a drugi Er,Cr:YSGG (itrij-skandij-galij-garnet s dodatkom erbija i kromija) valne duljine 2790 nm (Slika 3).



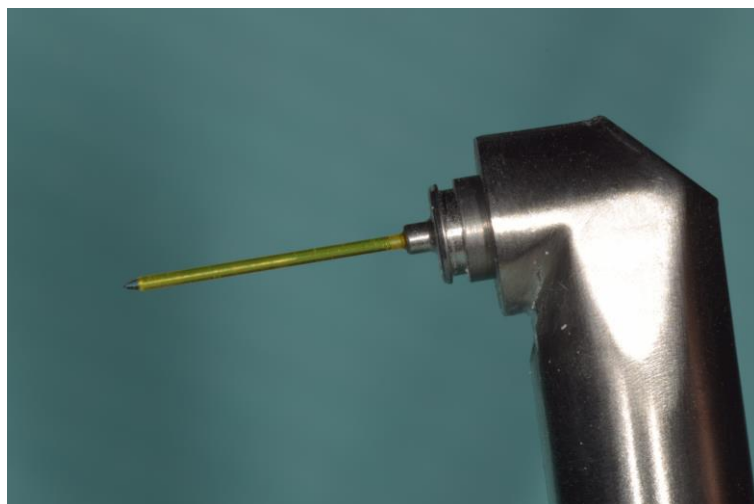
Slika 3. Er,Cr:YSGG laser s fiber nastavkom za dezinfekciju korijenskog kanala.

Preuzeto: Ivona Bago Jurič

Erbij laseri imaju izvrsnu apsorpciju u tkivo zbog visokog afiniteta za vodu i hidroksilne ione kalcij hidroksiapatita, zbog čega se koriste za preciznu ablaciju tkiva tvrdog zubnog tkiva. Imaju površinsko antibakterijsko djelovanje kojeg zadržavaju do 300-400 μm u dentinskim tubulusima (31).

Novi laseri omogućuju rad na tvrdom tkivu i mogu odstraniti sve ispune osim amalgamskih te ukloniti karijese na različitim strukturama zubnog tkiva i na različitim dubinama bez zagrijavanja okolnog tkiva. Erbij laseri pokazali su se uspješnima u uklanjanju zaostatnog sloja i bakterijskog biofilma prilikom endodontskog liječenja zuba (32, 33), stoga se danas koriste kao dodatno sredstvo dezinfekcije nakon standardne kemijsko-mehaničke obrade korijenskih kanala. Razvijene su tehnike:

- Laserski aktivirano ispiranje (LAI) kojim se pomoću lasera postiže fototermalna i fotomehanička aktivaciji sredstava za ispiranje u korijenskom kanalu.
- Foton inicirajuće fotoakustično strujanje (PIPS) pomoću Er:YAG lasera (Slika 4, 5) pri manjim energijama (20 mJ, 15 Hz) i vrlo kratkim pulsevima (50 μ m) (34).



Slika 4. Er:YAG laser s koničnim nastavkom za foton-inicirajuće fotoakustično strujanje.

Preuzeto: Ivona Bago Jurič

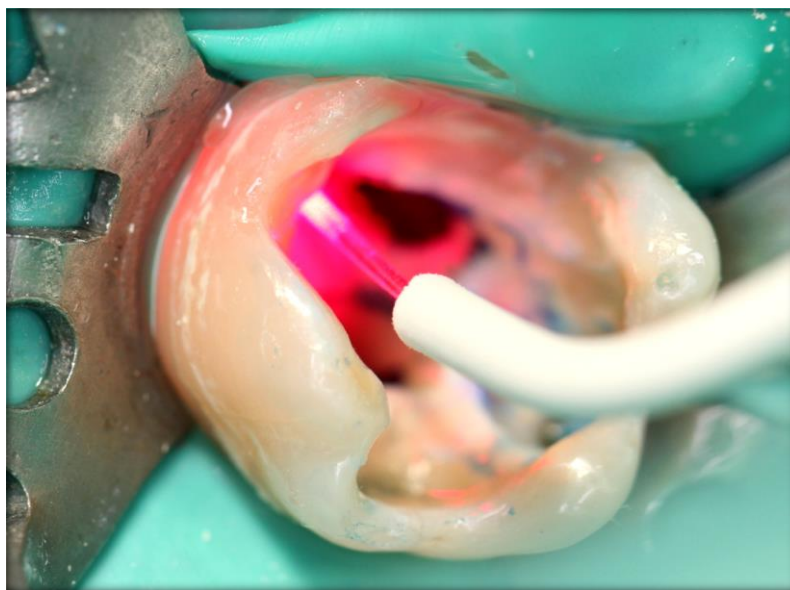
6. PRIMJENA LASERA U DEZINFEKCIJI I ČIŠĆENJU KORIJENSKIH KANALA

Prilikom dekontaminacije endodontskog prostora mogu se koristiti Nd:YAG laser, diodni laser, argon laser, Er:YAG, Er:YSGG laser. Prednost dezinfekcije korijenskih kanala pomoću lasera je prodiranje i djelovanje laserske zrake u dubini dentina i dentinskih tubulusa. Baktericidno djelovanje lasera ovisi o valnoj duljini lasera, energiji i gustoći snage i vremenu ekspozicije. Dublje baktericidno djelovanje zahtijeva upotrebu lasera čije valne duljine zračenja prodiru kroz dentinsko tkivo, odnosno kroz hidroksiapatit i vodu. Npr. valne duljine vidljivog i blizu-infracrvenog elektromagnetskog zračenja (Nd:YAG, diode, laseri KTP) slabo se apsorbiraju u vodi i hidroksiapatitu zbog čega prodiru duboko i postižu baktericidno djelovanje u dentinu. Za razliku od navedenih lasera, zračenje erbij lasera se dobro apsorbira u vodi i hidroksiapatitu, djeluje na površini dentinskog zida korijenskog kanala, te mu je osnovno područje primjene uklanjanje zaostalog sloja i bakterijskog biofilma.

Ograničenja primjene lasere u korijenskom kanalu su: nemogućnost postizanja ravnomjernog zračenja cijele dentinske stijene, i mogućnost termičkog oštećenja dentinske stijene. Zbog toga se preporučuje pomicanje fiberoptičkog nastavka cirkularnim pokretima od apikalne strane prema koronarnoj. Također, konstruirani su i specifični konični endodontski nastavci koji emitiraju 20 posto ukupne energije pravocrtno, a 80 posto lateralno. Prilikom rada erbij laserom u korijenskom kanalu potrebno je paziti i na moguće pregrijavanje periradikularnog tkiva kroz apikalni otvor.

6.1. FOTODINAMSKA TERAPIJA

Antimikrobna fotodinamska terapija (aPDT) ili fotoaktivirana dezinfekcija (PAD) je metoda laserski izazvane fotokemijske dezinfekcije ili sterilizacije tvrdih i mekih tkiva, a temelji se na primjeni fotosenzitivnog sredstva na mjestu tretiranja, koje se zatim zrači laserskim svjetlom određene snage čime se postiže uklanjanje mikroorganizama (35) (Slika 5, 6). Da bi fotosenzitivno sredstvo apsorbiralo energiju i prešlo u pobuđeno energetska stanje, lasersko zračenje treba biti određene valne duljine. Fotosenzitivno sredstvo veže se za površinu bakterija i prodire u njihovu stanicu. Najčešće se koristi kombinacije diodnog lasera od 630 nm, 660 nm i 670 nm ili helij, te neonski laser s metilenskim ili toluidinskim modrilom (Slika 6).



Slika 5. Fotodinamska terapija korijenskog kanala.

Preuzeto: Ivona Bago Jurič



Slika 6. Fotodinamska terapija - unošenje toluidinskog modrila u korijenski kanal.

Preuzeto: Ivona Bago Jurič

Postoje mnogobrojna istraživanja *in vitro* (36, 37) i *ex vivo* (38, 39), koja dokazuju značajno antimikrobno djelovanje aPDT-a u korijenskom kanalu. Primjerice, Fonseca i sur. (40), pri korištenju toluidinskog modrila diodnog lasera od 50mW, ističu značajno smanjenje broja bakterija *Enterococcus faecalis*. Jednako smanjenje broja bakterija *Enterococcus faecalis* postignuto je kombinacijom fenotiazin klorida i diodnog lasera (660 nm) snage 100 mW u istraživanju Bago i sur. (38). In vivo istraživanje Garceza i sur. (41) pokazalo je učinkovitost aPDT-a, uklanjanjem mikroorganizama otpornih na antibiotike. Druga in vivo istraživanja pokazuju kako se aPDT može upotrijebiti kao alternativna metoda ili dodatna trenutačno dostupnim metodama dezinfekcije korijenskog kanala (42, 43).

S druge strane, Souza i sur. (44) nisu utvrdili značajno antimikrobno djelovanje aPDT-a, koristeći metilensko ili toluidno modriilo i 660 nm diodnim laserom (40mW) u kemijsko-mehaničkoj instrumentaciji. Meire i sur. (45) u svojem istraživanju ističu bolje djelovanje 2,5 postotnog NaOCl-a od PAD-a.

6.2. TRADICIONALNA TEHNIKA DIREKTOG ZRAČENJA KORIJENSKIH KANALA

Tradicionalna tehnika direktnog zračenja korijenskih kanala podrazumijeva korištenje Nd:YAG ili diodnog lasera kao sredstva za dekontaminaciju endodontskog prostora (46).

Sredinom 90-ih godina provedena su prva istraživanja o antibakterijskom djelovanju Nd:YAG lasera od strane Hardee i sur. (47), te Rooney i sur. (48), koja su dokazala veliki antibakterijski potencijal Nd:YAG lasera u korijenskom kanalu. Moritz i sur. (49) su pomoću pulsnog Nd:YAG lasera (1 W, 1,5 W) u dubini dentina od 1 mm dokazali baktericidni učinak pulsnog Nd:YAG lasera, uz značajnu reduciju broja bakterija u apikalnoj delti i akcesornim kanalima. Nd:YAG laser ima visok stupanj selektivnosti prema gram negativnim bakterijama s malim postotkom apsorbirane energije u dentinu pa tako i kontroliranim porastom temperature. Usprkos svemu navedenome, u nekim istraživanjima antimikrobni učinak Nd:YAG lasera nije bio toliko superioran u odnosu na ispiranje pomoću NaOCl-a (50, 51).

Sve valne duljine diodnog lasera dobro se apsorbiraju u pigmentiranim tkivima, melaninu i hemoglobinu. Kod dekontaminacije endodontskog prostora prodire do

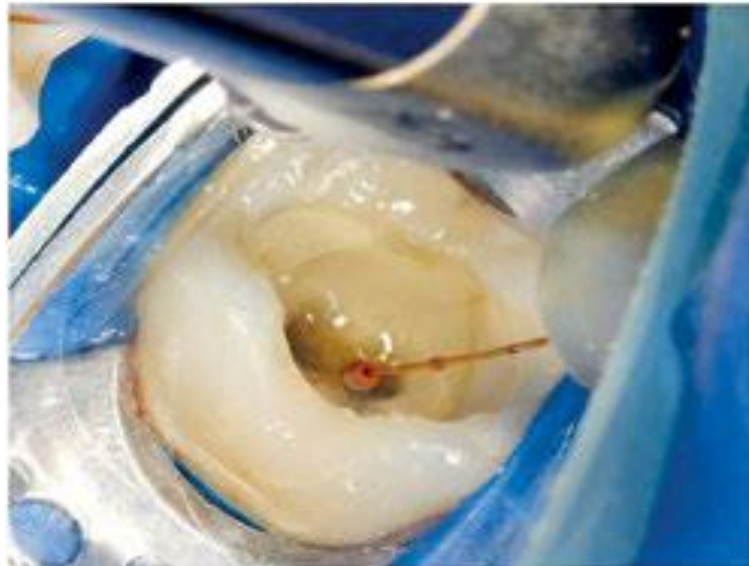
759 μm u dentinske tubuluse (52). Postoje brojna mikrobiološka istraživanja koja su dokazala snažno djelovanje diodnog lasera u korijenskom kanalu (53, 54). Npr. Gutknecht i sur. (55) postigli su 99,91% redukciju bakterija nakon zračenja korijenskog kanala pomoću diodnog lasera.

6.3. LASERSKI AKTIVIRANO ISPIRANJE

Laserski aktivirano ispiranje (LAI) je tehnika fotomehaničke i fototermičke aktivacije sredstva za ispiranje koja se temelji na prijenosu pulsne energije laserskog zračenja u sredstvo za ispiranje u korijenskom kanalu pri čemu nastaju kavitacije i udarni valovi (56).

Za LAI koriste se infracrveni Er,Cr:YSGG (2790 nm) (Slika 7) ili Er:YAG laseri (2940 nm) čije se valne duljine zračenja dobro apsorbiraju u vodi i hidroksilnim ionima hidroksiapatita te pri malim energijama (30 do 80 mJ) uzrokuju termomehanički efekt. Naime, kako se u vodi i NaOCl-u valne duljine i energija erbij lasera snažno apsorbiraju (cca 50-70 mJ), dolazi do isparavanja vode i stvaranja velikih mjehurića zraka eliptičnog oblika, koji mogu uzrokovati povećanje volumena sredstva za ispiranje 1600 puta, što izaziva veliki intrakanalni tlak koji izbacuje tekućinu iz kanala. Nekoliko mikrosekundi nakon implozije mjehurića zraka dolazi do formiranja podtlaka uslijed čega se tekućina vraća u kanal i uzrokuje sekundarni kavitacijski učinak (57, 58). Ovom se tehnikom uspješno uklanja zaostatni sloj i mikrobni biofilm iz korijenskog kanala (59).

Najbolji učinak ove tehnike postiže se ako se aktivno ispiranje primijeni na kraju kemijsko-mehaničke obrade korijenskog kanala u kombinaciji s nekim od sredstava za ispiranje i to na način da se kao prvi korak ukloni zaostatni sloj pomoću EDTA i NaOCl, a zatim se izvrši aktivno ispiranje nekim od antimikrobnih sredstava (NaOCl ili klorheksidin) kako bi se uklonili preostali mikroorganizmi (59).



Slika 7. Laserski aktivirano ispiranje korijenskih kanala s Er,Cr:YSGG laserom.

Preuzeto: Ivona Bago Jurič

7. RASPRAVA

Obzirom da tradicionalni kemijsko-mehanički postupci čišćenja korijenskih kanala ne mogu osigurati uspješnu dezinfekciju čitavog endodontskog prostora, u posljednje vrijeme se sve više istražuje uspješnost primjene lasera prilikom dezinfekcije i čišćenja korijenskih kanala. Prednosti lasera naspram klasičnih endodontskih instrumenata i metoda su vrlo dobra hemostaza, potencijalna mogućnost sterilizacije područja djelovanja, smanjena mogućnost kontaminacije zbog izostanka kontakta tkiva i instrumenata te nema potrebe za korištenjem spreja za hlađenje tkiva (2).

Sredinom 90-ih godina provedena su prva istraživanja o antibakterijskom djelovanju Nd:YAG lasera od strane Hardee i sur. (47), te Rooney i sur. (48), koja su dokazala veliki antibakterijski potencijal Nd:YAG lasera u korijenskom kanalu. Ipak, u nekim istraživanjima antimikrobni učinak Nd:YAG lasera nije bio toliko superioran u odnosu na ispiranje pomoću NaOCl-a (50, 51). Diodni laseri su sustavi koji koriste poluvodiče za stvaranje laserske zrake, te stvaraju valne duljine od 600 do 980 nm. Kod dekontaminacije endodontskog prostora prodire do 759 μm u dentinske tubuluse (52). Postoje brojna mikrobiološka istraživanja koja su dokazala snažno djelovanje diodnog lasera u korijenskom kanalu (53, 54).

Antimikrobna fotodinamska terapija (aPDT) ili fotoaktivirana dezinfekcija (PAD) je metoda laserski izazvane fotokemijske dezinfekcije ili sterilizacije tvrdih i mekih tkiva, a temelji se na primjeni fotosenzitivnog sredstva na mjestu tretiranja, koje se zatim zrači laserskim svjetlom određene snage čime se postiže uklanjanje mikroorganizama (35). Fotosenzitivno sredstvo veže se za površinu bakterija i

prodire u njihovu stanicu. Brojna istraživanja *in vitro* (36, 37) i *ex vivo* (38, 39) dokazuju značajno antimikrobno djelovanje aPDT-a u korijenskom kanalu. Druga *in vivo* istraživanja pokazuju kako se aPDT može upotrijebiti kao alternativna metoda ili dodatna metoda trenutno dostupnim protokolima dezinfekcije korijenskog kanala (42, 43). Suprotno, u istraživanju Souza i sur. (44) nije utvrđeno značajno antimikrobno djelovanje aPDT-a, koristeći metilensko ili toluidno modrilo i 660 nm diodnim laserom (40 mW) u kemijsko-mehaničkoj instrumentaciji. Također, Meire i sur. (45) u svojem istraživanju ističu bolje djelovanje 2,5 % NaOCl-a od PAD-a. Lošije antimikrobno djelovanje aPDT-a u nekim slučajevima vjerojatno je posljedica ograničene difuzije fotosenzitivnog sredstva u nepristupačnim dijelovima korijenskog kanala, dentinskih tubulusa i biofilma, te ograničenog stvaranja kisikovih radikala u uskim kanalima (44).

Laserski aktivirano ispiranje (LAI) je tehnika fotomehaničke i fototermičke aktivacije sredstva za ispiranje koja se temelji na prijenosu pulsne energije laserskog zračenja u sredstvo za ispiranje u korijenskom kanalu pri čemu nastaju kavitacije i udarni valovi (56). Ovom se tehnikom uspješno uklanja zaostatni sloj i mikrobni biofilm iz korijenskog kanala (57). Najbolji učinak ove tehnike postiže se ako se aktivno ispiranje primijeni na kraju kemijsko-mehaničke obrade korijenskog kanala u kombinaciji s nekim od sredstava za ispiranje i to na način da se kao prvi korak ukloni zaostatni sloj pomoću EDTA i NaOCl, a zatim se izvrši aktivno ispiranje nekim od antimikrobnih sredstava (NaOCl ili klorheksidin) kako bi se uklonili preostali mikroorganizmi (59).

8. ZAKLJUČAK

Usprkos značajnom napretku laserske tehnologije, još uvijek nema jasnih dokaza o superiornosti primjene laserskog zračenja u dezinfekciji korijenskih kanala u odnosu na tradicionalne tehnike dezinfekcije. Dokazano je da lasersko zračenje djeluje baktericidno te da u određenim slučajevima uklanja zaostatni sloj i debris iz korijenskog kanala. Erbij laseri se koriste za aktivno ispiranje i foton inicirajuće fotoakustično strujanje u korijenskom kanalu, a Nd:YAG i diodni laseri služi za dezinfekciju dentinskih tubulusa. Laseri se za dezinfekciju korjenskih kanala preporučuju kao dodatna metoda dezinfekcije nakon standarnih protokola kemo-mehaničke obrade korijenskih kanala.

9. SAŽETAK

Tradicionalnim kemijsko-mehaničkim postupcima čišćenja korijenskih kanala ne dolazi do uspješne dezinfekcije kompletnog endodontskog prostora, što se ponajviše očituje u područjima intrakanalnih nepravilnosti. Iako se ovim metodama uklanja glavina mikroorganizama, dio ih u pravilu preživi, te je upotreba dodatnih antimikrobnih sredstava nužna za uspjeh kompletnog endodontskog liječenja i izbjegavanje potencijalnih naknadnih komplikacija. Pri tome se koriste najnovije dostupne tehnologije iz više područja. Jedna od njih je i primjena lasera u dezinfekciji i čišćenju korijenskih kanala. Napretkom laserske tehnologije kao cjeline, 90-ih godina došlo je do razvoja fleksibilnih fiberoptičkih nastavaka pomoću kojih je omogućena šira primjena lasera u endodonciji.

Postoji više područja kliničke primjene lasera u endodonciji (dentinska preosjetljivost, dijagnoza stanja pulpe, trepanacija pulpne komore, punjenje korijenskih kanala, endodontska kirurgija). Laseri koji se ponajviše upotrebljavaju u endodontske svrhe su Nd:YAG laser, diodni laser i erbij laser.

Iako je posljednjih godina razvoj lasera veoma napredovao, još uvijek se ne mogu koristiti kao glavno sredstvo prilikom čišćenja i dezinfekcije korijenskih kanala, već ta uloga još uvijek pripada tradicionalnim kemijsko-mehaničkim metodama. Kako bi upotreba lasera u endodonciji eventualno postigla primat nad tradicionalnim metodama, potrebna su daljnja istraživanja i elaborati iz znanstvenog područja endodoncije, te daljni napredak same laserske tehnologije.

10. SUMMARY

Title: *The Use of Lasers in Disinfection and Cleaning of Root Canals*

The traditional chemical-mechanical procedures for cleaning the root canal are not completely successful in disinfection of endodontic space, which is mainly manifested when canal irregularities are present. Although this method removes the majority of microorganisms, some of them generally survive, and the use of additional antimicrobial agents is necessary for the success of the entire endodontic treatment and avoiding potential subsequent complications. The latest technological solutions available from several areas are being used for this purpose. One of them is the use of lasers in the disinfection and cleaning of the root canal. Advances in laser technology in the 90s have contributed to development of flexible fiber optic extensions, which enable broader use of lasers in endodontics.

There are several areas of clinical application of lasers in endodontics (dentin hypersensitivity, diagnosis of the condition of the pulp, trepanation of pulp chamber, root canal filling, endodontic surgery). Lasers which are mostly used in endodontic purposes are Nd: YAG laser, diode laser and erbium laser.

Although the development of lasers has progressed significantly in recent years, lasers still can not be used as the main tool when cleaning and disinfecting root canals, but that role still belongs to traditional chemical-mechanical methods. To make use of lasers in endodontics superior to the traditional methods, further research and studies in the scientific field of endodontics are necessary, as well as further advancements in laser technology.

11. LITERATURA

1. Peters OA, Laib A, Gohring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod.* 2001;27:1-6.
2. Anić I. Primjena lasera u konzervativnoj stomatologiji: utjecaj laserske zrake na caklinu i dentin. [disertacija]. Zagreb: Stomatološki fakultet;1990.
3. Ban T. Laseri u znanosti i tehnologiji. Državni seminar za učitelje i nastavnike fizike u osnovnim i srednjim školama, Zadar 25.-28. ožujka 2008.
4. Harris DM, Pick RM. Laser physics. U: Miserendino LJ and Pick RM. *Lasers in dentistry.* Chicago: Quintessence; 1995.
5. Coluzzi DJ. An overview of laser wavelenghts used in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2000;44:753-65.
6. Dederich DN. Laser/tissue interaction. *Alpha Omegan.* 1991;84:33-6.
7. Cilesiz I. Lasser tissue interactions. U: Drigers RG (ur.). *Encyclopaedia of Optical Engineering.* London: Marcel Dekker Ltd., Taylor and Francis Books; 2004. str. 215-20.
8. Harris DM, Werkhaven JA. Biophysics and applications of medical lasers. *Adv Otolaryngol Head Neck Surg.* 1989;3:91-123.
9. Weichman JA, Johnson EM. Laser use in endodontics. A preliminary investigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;31:416-20.
10. Kimura Y, Wilder-Smith P, Matsumoto K. Lasers in endodontics: a review. *Int Endod J.* 2000;33:173-85.
11. Stabholz A, Sahar-Helft S, Moshonov J. Lasers in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2004;48:809-32.

12. Anić I, Segović S, Katanec D, Prskalo K, Najzar-Fleger D. Scanning electron microscopic study of dentin lased with argon, CO₂, and Nd:YAG laser. *J Endod.* 1998;24:77-81.
13. Stabholz A, Zeltser R, Sela M, i sur. The use od lasers in dentistry: principles od operation and clinical applications. *Compend Contin Educ Dent.* 2003;2412:935-48.
14. Matsuoka E, Yonaga K, Kinoshita J, Kimura Y, Matsumoto K. Morphological study on the capability od Er:YAG laser irradiation for root canal preparation. *J Clin Laser Med Surg.* 2000;18:215-9.
15. Jahan KM, Hossain M, Nakamura Y, Yoshishige Y, Kinoshita J, Matsumoto K. An assessment following root canal preparation by Er,Cr:YSGG laser irradiation in straight and curved roots, in vitro. *Lasers Med Sci.* 2006;21:229-34.
16. Rochkind S, Nissan M, Razon N, Schwartz M, Bartal A. Electrophysiological effect of HeNe laser on normal an injured sciatic nerve in rat. *Acta Neurochir (Wien).* 1986;83:125-30.
17. Lan W-H, Liu H-C. Treatment od dentin hypersensitivity by Nd:YAG laser. *J Clin Laser Med Surg.* 1996;14:89-92.
18. Kimura Y, Wilder-Smith P, Matsumoto K. Lasers in endodontics. A preliminary investigation. *Oral Surg.* 1971;31:416-20.
19. Anić I, Matsumoto K. Dentinal heat transmissio induced by a laser-softened guttapercha obturation technique. *J Endod.* 1995;25:288-91.

20. Stabholz A, Khayat A, Weeks DA, Neev J, Torabinejad M. Scanning electron microscopic study of the apical dentine surfaces lased with Nd:YAG laser following apicectomy and retrofill. *Int Endod J.* 1992;25:288-91.
21. Wong WS, Rosenberg PA, Boylan RJ, Schulman A. A comparison of the apical seals achieved using retrograde amalgam fillings and the Nd:YAG laser. *J Endod.* 1994;20:595-7.
22. Ebihara A, Wadachi R, Sekine Y, Takeda A, Suda H. Application of Er:YAG laser to retrograde cavity preparation. *J Japan Soc Laser Dent.* 1998;9:23-31.
23. Parker S. Lasers tissue interaction and its application in clinical dentistry. *Int J Lasers Dent.* 2011;1:1-8.
24. Anić I, Tachibana H, Matsumoto K, Qi P. Permeability, morphologic and temperature changes of canal dentine walls induced by Nd:YAG, CO₂ and argon lasers. *Int Endod J.* 1996;29:13-22.
25. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, i sur. The bactericidal effect of Nd:YAG, Ho:YAG, and Er:YAG laser irradiation in the root canal: an in vitro comparison. *J Clin Laser Med Surg.* 1999;17:161-4.
26. Gutknecht N, von Gogswaardt D, Conrads G, Apel C, Schubert C, Lampert F. Diode laser radiation and its bactericidal effect in root canal wall dentin. *J Clin Laser Med Surg.* 2000;18:57-60.
27. Piccolomini R, D'Arcangelo C, D'Ercole S, Catamo G, Schiaffino G, De Fazio P. Bacteriologic evaluation of the effect of Nd:YAG laser irradiation in experimental infected root canals. *J Endod.* 2002;28:276-8.

28. Moritz A, Gutknecht N, Schoop U, Goharkhay K, Doertbudak O, Sperr W. Irradiation of infected root canals with a diode laser in vivo: results of microbiological examinations. *Lasers Surg Med.* 1997;21:221-6.
29. Gutknecht N, Moritz A, Conrads C, Lampert F. Der Dioden-laser und seine bacterizide Wirkung in Wurzelkanal: Eine in vitro Studie. *Endodontie.* 1997;3:217-33.
30. Moritz A, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U, Wernisch J, Sperr W. In vitro irradiation of infected root canals with a diode laser: results of microbiologic, infrared spectrometric, and stain penetration examinations. *Quintessence Int.* 1997;28:205-9.
31. Jelinkova H, Dostalova T, Duskova J, i sur. Er:YAG and alexandrite laser radiation propagation in root canal and its effect on bacteria. *J Clin Laser Med Surg.* 1999;17:267-72.
32. De Moor RJ, Meire M, Goharkhay K, Moritz A, Vanobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *J Endod.* 2010;36:1590-3.
33. Kesler G, Gal R, Kesler A, Koren R. Histological and scanning electron microscope examination of root canal after preparation with Er:YAG laser microprobe: a preliminary in vitro study. *J Clin laser Med Surg.* 2002;20:269-77.
34. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium: YAG laser and new design radial and atripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci.* 2012;27:273-80.
35. Wilson M, Wilson H. Laser treatment. US Patent 5. 1997. 611,793.

36. Komori T, Yokoyama K, Matsumoto Y, Matsumoto K. Erbium:YAG and holmium:YAG laser root resection of extracted human teeth. *J Clin Laser Med Surg.* 1997;15:9-13.
37. Hellingwerf KJ, Hoff WD, Crielard W. Photobiology of microorganisms: how photosensors catch a photon to initialize signalling. *Mol Microbiol.* 1996;21:683-93.
38. Bago I, Plečko V, Gabrić Pandurić D, Schauperl Z, Baraba A, Anić I. Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment. *Int Endod J.* 2013;46:339-47.
39. Cheng X, Guan S, Lu H, Zhao C, Chen X, Li N, Bai Q, Tian Y, Yu Q. Evaluation of the bactericidal effect of Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG laser radiation, and antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) in experimentally infected root canals. *Lasers Surg Med.* 2012;44:824-31.
40. Fonseca MB, Tessare Jr PO, Pallota RC, i sur. Photodynamic therapy for root canals infected with *Enterococcus faecalis*. *Photomed Laser Surg.* 2008;26:209-13.
41. Garces AS, Nunez SC, Hamblim MR, Suzuki H, Ribeiro M. Photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment in patients with antibiotic-resistant microflora: a preliminary report. *J Endod.* 2010;36:1463-6.
42. Lee MT, Bird PS, Walsh LJ. Photo-activated disinfection of the root canal: a new role for lasers in endodontics. *Aust Endod J.* 2004;30:93-8.

43. Rios A, He J, Glickman GN, Spears R, Schneiderman ED, Honeyman AL. Evaluation of photodynamic therapy using a light-emitting diode lamp against *Enterococcus faecalis* in extracted human teeth. *J Endod.* 2011;37:856-9.
44. Souza LC, Brito PR, de Oliveira JC, Alves FR, Moreira EJ, Sampaio-Filho HR. Photodynamic therapy with two different photosensitizers as a supplement to instrumentation/irrigation procedures in promoting intracanal reduction of *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2010;36:292-6.
45. Meire M, De Moor R. Lasers in endodontics: laser disinfection, an added value? *ENDO.* 2007;3:159-172.
46. Parker S. Lasers tissue interaction and its application in clinical dentistry. *Int J Lasers Dent.* 2011;1:1-8.
47. Hardee MW, Miserendino L, Kos W, Walia H. Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation. *J Endod.* 1994;20:377-80.
48. Rooney J, Midda M, Leeming J. A laboratory investigation of the bactericidal effect of a Nd:YAG laser. *Br Dent J.* 1994;176:61-4.
49. Moritz A, Jakolitsch S, Goharkhay K, i sur. Morphologic changes correlating to different sensitivities of *Escherichia coli* and *Enterococcus faecalis* to Nd:YAG laser irradiation through dentin. *Lasers Surg Med.* 2000;26:250-61.
50. Piccolomini R, D'Arcangelo C, D'Ercole S, Catamo G, Schiaffino G, De Fazio P. Bacteriologic evaluation of the effect of Nd:YAG laser irradiation in experimental infected root canals. *J Endod.* 2002;28:276-8.

51. Moshonov J, Ørstavik D, Yamauchi S, Pettiette M, Trope M. Nd:YAG laser irradiation in root canal disinfection. *Endod Dent Traumatol.* 1995;11:220-224.
52. Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelic N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med.* 2004;35:111-6.
53. Beer F, Buchmair A, Wernisch J, Georgopoulos A, Moritz A. Comparison of two diode lasers on bactericidity in root canals - an in vitro study. *Lasers Med Sci.* 2012;27:361-4.
54. Gutknecht N, van Gogswaardt D, Condrads G, Apel C, Schubert C, Lampert F. Diode laser radiation and its bacterial effect in root canal wall dentin. *J Clin Laser Med Surg.* 2000;18:57-60.
55. Gutknecht N, Moritz A, Conrads C, Lampert F. Der Dioden-laser und seine bacterizide Wirkung im Wurzelkanal: Eine in vitro Studie. *Endodontie.* 1997;3:217-33.
56. 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;37:839-43.
57. De Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualisation. *Int Endod J.* 2009;42:1077-83.
58. 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;37:839-43.

59. DiVito E, Lloyd A. ER:YAG laser for 3-dimensional debridement of canal systems: use of photon-induced photoacoustic streaming. Dent Today. 2012;31:124-7.

12. ŽIVOTOPIS

Michele Cofini rođen je 31. listopada 1976. godine u Rimu (Italija). Osnovnu školu završava u Rimu, a srednjoškolsko obrazovanje u matematičkoj gimnaziji „Istituto S. Leone Magno“ u Rimu 1994. godine s ocjenom 42/60. Iste godine upisuje Zubotehničku srednju školu „Istituto A. Maggiori“ u Rimu, koju završava 1999. godine s ocjenom 100/100. 2001. godine upisuje studij Dentalne higijene na Medicinskom Fakultetu u Rimu (Università di Tor Vergata), na kojem je apsolvirao 2005. godine s ocjenom 107/110. Nakon završenog školovanja, radio je tri godine kao zubni higijeničar i pomoćni zubotehničar u privatnoj ordinaciji u Rimu, što ga je potaknulo da 2008. godine upiše Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu kojeg uspješno završava 2015. godine.