Fotoakustično ispiranje korijenskog kanala SWEEPS tehnikom

Hlebec, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:127:753789

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno 3.0

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb School of Dental Medicine Repository

Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Ivana Hlebec

FOTOAKUSTIČNO ISPIRANJE KORIJENSKOG KANALA *SWEEPS* TEHNIKOM

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

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

Mentor rada: doc. dr. sc. Ivona Bago, dr. med. dent., Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Lektor hrvatskog jezika: Aleksandra Pleh, mag.philol.croat.

Lektor engleskog jezika: Ana Despot, mag. educ. philol. angl.

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____

2. _____

3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 40 stranica

0 tablica

6 slika

1 CD

Rad je vlastito autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu izvorni su doprinos autora diplomskog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihova podrijetla.

Zahvala

Zahvaljujem mentorici doc.dr.sc. Ivoni Bago na strpljenju, savjetima i pomoći pri izradi ovog rada.

Hvala mojoj obitelji na potpori tijekom studiranja i svemu što čine za mene.

Hvala svim mojim prijateljima na nezaboravnim studentskim danima.

FOTOAKUSTIČNO ISPIRANJE KORIJENSKOG KANALA *SWEEPS* TEHNIKOM

Sažetak

Svrha je ovog preglednog rada objasniti princip i izložiti rezultate dosadašnjih istraživanja nove *SWEEPS* tehnike ispiranja korijenskog kanala. Standardna obrada korijenskih kanala tijekom endodontskog liječenja uključuje mehaničku instrumentaciju ručnim ili strojnim instrumentima te kemijsku obradu sredstvima za ispiranje poput NaOCl i EDTA. Tijekom instrumentacije kanala formiraju se debris i zaostatni sloj, koje je potrebno ukloniti. U dezinfekciji endodontskog prostora zuba ključan je raspad bakterijskog biofilma koji se postiže brzim strujanjem sredstva za ispiranje u kanalu. Dinamičan protok sredstva za ispiranje u kanalu potreban je za dosezanje svih dijelova endodontskog prostora, održavanje učinkovite koncentracije sredstva i za stvaranje smičnog stresa na stijekama koji uklanja biofilm. Zbog ograničenja pasivnog ispiranja špricom i iglom (nedovoljna izmjena tekućine u korijenskom kanalu) došlo je do razvoja brojnih tehnika aktivacije sredstva za ispiranje, poput zvučno i ultrazvučno aktiviranog ispiranja. Noviji doprinos poboljšanju učinkovitosti dezinfekcije korijenskih kanala predstavlja laserski aktivirano ispiranje (engl. *laser-activated irrigation*, LAI) pomoću erbij lasera. Posebna tehnika LAI zove se fotonima inducirano fotoakustično strujanje (engl. *photon-induced photoacoustic streaming*, PIPS), a temelji se na nastanku kavitacija i šok-valova koji čiste stijenke kanala. Tehnološkim napretkom postavki lasera omogućen je razvoj novih tehnika. Emisija fotoakustičnog strujanja pojačana udarnim valom (engl. Shock Wave Enchanced Emission of Photoacoustic Streaming, *SWEEPS*) nova je tehnika ispiranja korijenskih kanala koja se temelji na pojačanju šok-valova dodatnim pulsom laserske zrake. U literaturi još nema dovoljno radova na temelju kojih bi se mogao jasno definirati učinak *SWEEPS* tehnike.

Ključne riječi: endodontsko liječenje; ispiranje kanala; laser; LAI; PIPS; *SWEEPS*

PHOTOACOUSTIC ROOT CANAL IRRIGATION USING *SWEEPS* TECHNIQUE

Summary

The aim of this study is to explain the principles and present the results of past research of the new *SWEEPS* root canal irrigation technique. Standard procedure during endodontic therapy involves mechanical instrumentation using hand or rotary files and chemical treatment that uses irrigants such as NaOCl and EDTA. During root canal instrumentation, debris and smear layer are formed and they need to be removed. Deattachment of bacterial biofilm plays a key role in endodontic disinfection and is originated by a fast stream of irrigant inside the root canal. Dinamic flow of irrigant inside the root canal is necessary for reaching all parts of endodontic space, maintaining an effective irrigant concentration and producing shear stress on root canal walls, which removes the biofilm. Limitations of passive needle irrigation (insufficient exchange of irrigant in the root canal) induced the development of numerous irrigation activation techniques, such as sonic and ultrasonic activation of irrigation. A new contribution to improving the efficiency of root canal disinfection is laser-activated irrigation (LAI) using erbium lasers. A special technique that LAI uses is photon-induced photoacoustic streaming (PIPS) and it is based on producing cavitations and shockwaves which debride the root canal walls. Technological progress of laser settings enabled the development of new techniques. Shock Wave Enchanced Emission of Photoacoustic Streaming (*SWEEPS*) is a new irrigation activation technique based on the enchancement of shockwaves by using additional laser pulse. There have not been enough papers published to clearly define the efficacy of *SWEEPS* technique.

Keywords: endodontic treatment; root canal irrigation; laser; LAI; PIPS; *SWEEPS*

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. PRINCIPI RADA LASERA 4

2.1. Interakcija laserske zrake i tkiva 5

2.2. Laseri u endodontskom liječenju zuba 6

2.2.1. Erbij laseri 7

2.2.2. Diodni laseri 8

2.2.3. Neodimij: itrij, aluminij, garnet (Nd:YAG) 9

2.2.4. Fotodinamska terapija u endodontskom liječenju zuba 10

3. ULOGA ISPIRANJA U ENDODONTSKOM LIJEČENJU ZUBA 12

3.1. Tehnike ispiranja kanala zuba 13

3.1.1. Ispiranje špricom i iglom 13

3.1.2. Tehnika negativnog tlaka 14

3.1.3. Zvučno aktivirano ispiranje 14

3.1.4. Ultrazvučno aktivirano ispiranje 14

3.1.5. Laserski aktivirano ispiranje (LAI) 15

3.2. Učinak ispiranja kanala u dezinfekciji endodontskog prostora zuba 15

4. PRIMJENA LASERA U ISPIRANJU ENDODONTSKOG PROSTORA ZUBA 16

4.1. Laserski aktivirano ispiranje s Er:YAG i ER, Cr:YSGG laserima 17

4.2. Fotonima inducirano fotoakustično strujanje (engl. *photon induced photoacoustic streaming*, PIPS) 19

4.2.1. Dosadašnja istraživanja učinkovitosti PIPS tehnike ispiranja kanala 20

5. *SWEEPS* TEHNIKA ISPIRANJA KANALA 21

5.1. Osnove *SWEEPS* tehnike 22

5.2. Dosadašnja istraživanja 26

6. RASPRAVA 27

7. ZAKLJUČAK 31
8. LITERATURA 33
9. ŽIVOTOPIS 39

Popis skraćenica

EDTA – etilendiamintetraoctena kiselina (engl. *ethylenediaminetetraacetic acid*)

Er,Cr:YSGG – erbij, kromij: itrij, skandij, galij, garnet (engl. *erbium, chromium: yattrium, scandium, gallium, garnet*)

Er:YAG – erbij: itrij, aluminij, garnet (engl. *erbium: yttrium, aluminium, garnet*)

LAI – laserski aktivirano ispiranje (engl. *laser-activated irrigation*)

NaOCl – natrijev hipoklorit

Nd:YAG – neodimij: itrij, aluminij, garnet (engl. *neodymium: yttrium, aluminium, garnet*)

PIPS – foton inducirano fotoakustično strujanje (engl. *photon-induced photoacoustic streaming*)

SWEEPS – emisija fotoakustičnog strujanja pojačana udarnim valom (engl. *Shock Wave Enchanced Emission Photoacoustic Streaming*)

UV– ultraljubičasto (engl. *ultraviolet)*

1. UVOD

Cilj je endodontskoga liječenja zuba ukloniti nekrotični sadržaj i mikroorganizme iz inficirane pulpne komore i korijenskih kanala te punjenjem kanala postići adekvatno brtvljenje čitavog endodontskog prostora. Standardna obrada korijenskih kanala uključuje mehaničku instrumentaciju ručnim ili strojnim instrumentima te kemijsku obradu sredstvima za ispiranje (1). Složena anatomija endodontskog prostora onemogućuje potpuno uklanjanje mikroorganizama i inficiranog pulpnog tkiva pa je cilj maksimalno smanjenje broja bakterija na vrijednosti $10^2 – 10^3$ (1). Tijekom mehaničke instrumentacije na stijenkama kanala nastaje dentinski debris i formira se zaostatni sloj sastavljen od dentina, ostataka pulpe i mikroorganizama (2). Zaostatni sloj okludira dentinske tubuluse, sprječava prodor intrakanalnih sredstava za dezinfekciju i onemogućuje adaptaciju punila uz stijenke kanala (3). Peters i sur. (4) dokazali su da nakon mehaničke instrumentacije različitim tehnikama više od 35 % površine kanala ostaje neobrađeno. Složena morfologija apikalnog dijela korijenskih kanala onemogućuje temeljitu instrumentaciju svih površina endodontskog prostora, stoga ispiranje predstavlja jedini način da se i ti nedostupni dijelovi očiste (5).

„Zlatni standard“ u kemijskoj obradi endodontskog prostora natrijev je hipoklorit (NaOCl) (0,5 – 5,25 %) koji ima širok spektar antimikrobnog djelovanja i jedinstvenu sposobnost otapanja organskog materijala (6). Etilendiaminotetraoctena kiselina (EDTA) koristi se u koncentraciji 15 – 17 % kao završno sredstvo za ispiranje jer uklanja zaostatni sloj otapajući anorganski materijal (6). Ispiranjem kanala uklanja se upalni debris, osigurava se dezinfekcija i olakšava instrumentacija kanala (5). Istraživanja su pokazala da se konvencionalnom kemomehaničkom tehnikom ne mogu u potpunosti obraditi svi dijelovi endodontskog prostora (7). Problematična su područja u kojima bakterije najviše zaostaju nakon standardne kemo-mehaničke obrade istmusi, proširenja, lateralni i akcesorni kanali, ramifikacije te dentinski tubulusi u koje bakterije mogu prodrijeti do dubine od 800 μm (1, 5). Zbog ograničenja pasivnog ispiranja (nedovoljna izmjena tekućine u korijenskom kanalu, koja djeluje do 1 – 2 mm od vrha igle), dolazi do potrebe za uključivanjem novih tehnika koje bi, kao nadopuna standardnoj kemo-mehaničkoj obradi, povećale učinkovitost dezinfekcije korijenskih kanala (8). Danas postoje brojne mogućnosti aktivacije sredstava za ispiranje, čime se poboljšava njihovo djelovanje i distribucija duž korijenskog kanala.

Istraživanja su pokazala da aktivacija (primjerice zvučno i ultrazvučno aktivirano ispiranje) ubrzava i povećava sposobnost natrijeva hipoklorita da otapa organski materijal u usporedbi s

pasivnim ispiranjem (5). Postoje strojni sustavi za ispiranje kojima se postiže bolja izmjena sredstva u kanalu. RinsEndo sustav temelji se na hidrodinamskoj aktivaciji potiskivanjem i povlačenjem tekućine za ispiranje, a EndoVac pomoću negativnog tlaka uvlači sredstvo u kanal pa ga potom vraća u pulpnu komoricu. Sredstvo za ispiranje može se aktivirati zvučno pomoću zvučnih vibracija (EndoActivator) i ultrazvučno pomoću kavitacija i zvučnih struja (9).

Noviji doprinos poboljšanju učinkovitosti dezinfekcije korijenskih kanala predstavlja upotreba lasera (7). Razvojem tankih i fleksibilnih fiberoptičkih nastavaka krajem 90-ih godina prošlog stoljeća omogućen je prijenos laserske zrake u korijenski kanal, a time i početak kliničke primjene lasera u endodonciji (6). Njihova upotreba u endodontskom liječenju temelji se na tri osnovna principa: izravnoj iradijaciji, fotoaktiviranoj dezinfekciji i laserski aktiviranom ispiranju (engl. *laser activated irrigation*, LAI) (9).

LAI je tehnika ispiranja korijenskog kanala koja koristi energiju lasera za aktivaciju, odnosno povećanje dinamike sredstva za ispiranje u korijenskom kanalu. Budući da voda u otopini za ispiranje ima određeni optički afinitet prema laserskom svjetlu, dolazi do njihove fizikalne interakcije, što za posljedicu ima aktivaciju sredstva za ispiranje (10). Napretkom u postavkama lasera i daljnjim istraživanjima došlo je do razvoja novih tehnika ispiranja. Što se tiče LAI-a, novost je fotoakustično ispiranje kanala tehnikom koja se zove emisija fotoakustičnog strujanja pojačana udarnim valom (engl. Shock Wave Enchanced Emission of Photoacoustic Streaming, *SWEEPS*) (11).

Svrha je ovog rada objasniti princip rada nove tehnike LAI-a, *SWEEPS* tehnike, i izložiti rezultate dosadašnjih istraživanja o njenoj učinkovitosti.

2. PRINCIPI RADA LASERA

Laser (engl. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) je uređaj koji stvara zrake svjetlosti pomoću stimulirane emisije zračenja. Dio uređaja u kojem se stvara laserska zraka zove se optički rezonator. Unutar njega nalazi se aktivni medij koji može biti sastavljen od plina, kristala ili poluvodiča u čvrstom stanju, pa tako laseri nose naziv prema kemijskim elementima od kojih su sastavljeni. Aktivni medij okružen je izvorom ekscitacije (svjetlost ili električna struja) koji mu dovodi energiju. Na svakom kraju optičkog rezonatora nalazi se po jedno zrcalo, a ta zrcala međusobno su paralelna i djeluju kao rezonatori koji pomažu kolimirati i amplificirati zraku (12).

Nastanak laserske zrake započinje tako da svjetlost ili električna energija ekscitiraju aktivni medij. Atomi aktivnog medija koji su već primili energiju apsorbiraju dodatni kvant energije te se oslobađaju dva kvanta energije u obliku identičnih fotona koji putuju kao koherentni val. Ti fotoni opet predaju energiju drugim atomima i ponovno se oslobađa još identičnih fotona (pojačanje svjetlosne energije). Rezultat je nastanak laserske zrake (12). Ta je zraka monokromatska (jedne valne duljine), koherentna (fotoni su u istoj fazi), kolimirana (ima mali stupanj divergencije), velikog intenziteta, vrlo precizna i selektivna u interakciji s biološkim tkivima (6).

2.1. Interakcija laserske zrake i tkiva

Kad laserska zraka dođe u kontakt s ciljanim tkivom, ona se može: odbiti od površine (refleksija), raspršiti kroz tkivo, proći kroz njega nepromijenjena bez interakcije (transmisija) ili apsorbirati (pretvoriti u neki drugi oblik energije unutar tkiva) (6). Promjene u ciljanom tkivu uzrokuje apsorbirani dio svjetlosne energije lasera koja pritom prelazi u toplinsku energiju (13). U korijenskom kanalu laserska zraka može djelovati na dentin, zaostatni sloj, bakterije i bakterijski biofilm (8). Način interakcije laserske zrake i tkiva ovisi o valnoj duljini i energiji laserskog zračenja te fizikalnim svojstvima tkiva (koeficijentu apsorpcije i raspršenja, termalnoj kondukciji, mehaničkoj snazi, toplinskom kapacitetu) (6).

Učinak apsorbirane energije na tkivo može se kontrolirati parametrima lasera (6):

1) energijom pulsa
2) načinom emitiranja energije [kontinuirani val (cw) ili pulsno zračenje]
3) promjerom laserske zrake na tkivu
4) trajanjem pulsa i frekvencija
5) vodenim hlađenjem.

Biološki efekti koji nastaju djelovanjem različitih valnih duljina lasera na dentin, debris, zaostatni sloj ili sredstvo za ispiranje u korijenskom kanalu zuba mogu se podijeliti na:

• fototermalni učinak

• fotokemijski učinak

• fototermalni učinak koji stvara fotomehanički i fotoakustični efekt (14).

Duljina trajanja pulsa mjeri se u mikro- ili milisekundama. Kratkim pulsevima (kraćim od 150 mikrosekundi) može se postići veća snaga zrake s manje energije i manjim termičkim učinkom, dok duži pulsevi imaju veći termički učinak (14). Kad se velika energija zračenja emitira u obliku vrlo kratkih pulseva (nano- i piko sekunde), nastaje fotomehanički (fotoakustični) učinak (6, 15), na kojem se temelji LAI.

2.2. Laseri u endodontskom liječenju zuba

Laseri koji se danas upotrebljavaju u medicini emitiraju valne duljine od ultraljubičastog (UV) do srednjeg infracrvenog spektra elektromagnetskog zračenja (otprilike od 200 nm do 10 μm) (6). Weichman, Johnson i Lenz sedamdesetih su godina prošlog stoljeća počeli istraživati primjenu lasera u endodonciji. Cilj je bio povećati uspjeh postupaka poput prekrivanja pulpe, pulpotomije i pulpektomije, poboljšati dekontaminaciju i čišćenje inficiranog endodontskog prostora od ostataka pulpe i zaostatnog sloja te unaprijediti uspjeh postupaka u endodontskoj kirurgiji primjenom lasera.

Klinička primjena lasera u endodonciji zaživjela je tek devedesetih godina razvojem pulsnog emitiranja laserske zrake i proizvodnjom tanjih, fleksibilnih fiberoptičkih nastavaka.

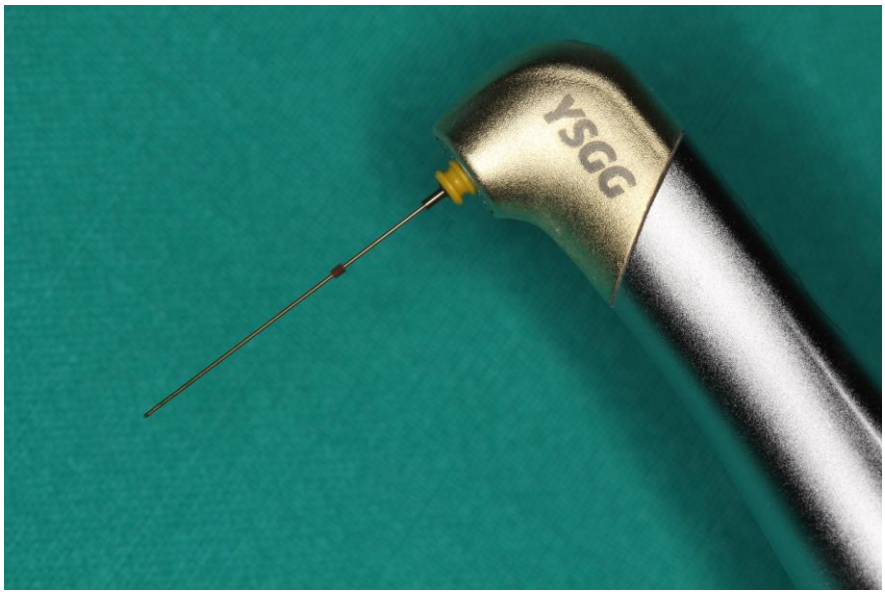
U endodontskoj primjeni laseri mogu imati različit učinak u korijenskom kanalu ovisno o afinitetu valne duljine laserske zrake prema vodi, hidroksiapatitu ili pigmentiranim supstancama poput mikroorganizama (što ovisi o apsorpcijskom koeficijentu njihove valne duljine) (6).

Tehnike primjene lasera u korijenskom kanalu su:

- direktna iradijacija (dekontaminacija) dentinske stijenke kanala
- indirektna iradijacija (aktivacija fotoaktivne tvari ili sredstva za ispiranje koji se nalaze u korijenskom kanalu) (10).

2.2.1. Erbij laseri

Erbij laseri emitiraju zračenje valne duljine srednje-infracrvenog spektra. Ovoj skupini lasera pripadaju: erbij: itrij-aluminij-garnet (Er:YAG) s valnom duljinom zračenja od 2940 nm i erbij, kromij: itrij, skandij, galij, garnet (Er,Cr: YAG) laser s valnom duljinom zračenja od 2780 nm (Slika 1). Er:YAG, a nakon njega i Er,Cr: YAG laser uvodi se u stomatologiju krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina prošlog stoljeća s namjerom da zamijeni svrdlo u uklanjanju karijesa, a njihova primjena u endodonciji počela se istraživati tek početkom 21. stoljeća razvojem specijalnih tankih nastavaka za pristup u korijenskom kanalu (10). Erbij laseri emitiraju energiju u obliku pulsnog zračenja (engl. *free-running pulse mode*). Svaki puls ima svoj početak, rast i završetak (14). Između pulseva tkivo ima vremena da se relativno ohladi (engl. *thermal relaxation time*), što omogućuje bolju kontrolu termičkog učinka na tkivo (10). Zračenje erbij lasera valne duljine srednjeg infracrvenog spektra dobro se apsorbira u vodi, pa se time objašnjava efekt koji laser ima na dentin, čiji je voda sastavni dio. Laserska zraka se najvećim dijelom apsorbira u prvih 250 – 300 μm površine dentinske stijenke kanala. Pritom dolazi do fototermičkog učinka, koji uzrokuje isparavanje i uklanjanje zaostatnog sloja. Uz to, u određenoj mjeri dolazi i do ablacije površine dentina ako se koristi veća energija lasera (veća od tzv. praga ablacije) (10). Budući da sredstva za ispiranje (npr. NaOCl) imaju apsorpcijski koeficijent sličan vodi, erbij laseri mogu se koristiti za njihovu aktivaciju (6).



Slika 1. Er,Cr:YSGG laser s endodontskim fiber nastavkom

(Zahvalnošću doc.dr.sc. Ivona Bago)

2.2.2. Diodni laseri

Diodni laseri emitiraju zračenje valne duljine blizu-infracrvenog spektra (810 – 1064 nm). Aktivni je medij diodnih lasera poluvodič (galijev arsenid s dodanim atomima aluminija), čije su dimenzije danas minimalne zahvaljujući slojevitoj građi. Budući da proizvode zračenje u nevidljivom, blizu-infracrvenom spektru, oni koriste vidljivu zraku svjetlosti (crvenog ili zelenog spektra) male snage za vizualizaciju nevidljive laserske zrake i ciljanje tkiva. Zračenje diodnih lasera emitira se u obliku kontinuiranog vala, a postoji i susutav koji ga cijepa na više impulsa. Za razliku od pulsnog zračenja ovi rascjepkani impulsi razvijaju se linearno i ne variraju tijekom cijeloga svog trajanja. S druge strane, trajanje impulsa i vrijeme između dvaju impulsa može se kontrolirati i bitno je kako bi se tkivo moglo ohaditi. Diodni laseri za dovođenje zrake do tkiva koriste optičko vlakno koje može biti različitih promjera (200, 300 ili 400 μm) (10).

U endodonciji se koriste za dezinfekciju korijenskih kanala do dubine dentina 500 – 750 μm. Mogu se koristiti i za inciziju gingive, koagulaciju pulpe ili dekontaminaciju parodontnih džepova. Kad diodni laseri emitiraju zraku niske energije kroz duže vremensko razdoblje, energija laserske zrake pretvara se u fotokemijsku. Ta energija ima biomodulacijski učinak na mnoge stanične funkcije i koristi se u niskoenergetskoj laserskoj terapiji (engl. *low level laser therapy*, LLLT) (10).

Postoje diodni laseri koji mogu emitirati i zračenje vidljivog spektra (635 – 675 nm). Oni se u endodonciji koriste u fotodinamskoj terapiji (10).

2.2.3. Neodimij: itrij, aluminij, garnet (Nd:YAG)

Kao i diodni, Nd:YAG laser pripada skupini lasera blizu-infracrvenog spektra, s valnom duljinom od 1064 nm. Takvo zračenje raspršuje se u tkivu u obliku toplinske energije (10). Fototermalni učinak koji pritom nastaje djeluje baktericidno: dolazi do oštećenja stanične stijenke bakterija, promjene u osmotskom gradijentu i stanične smrti (14). Stoga se ovaj laser koristi za dezinfekciju endodontskog prostora, koja može sezati do udaljenosti od jenog milimetra od glavnog kanala. Zbog opasnosti od akumulacije topline i oštećenja tkiva Nd: YAG laser koristi emisiju u obliku kratkih pulseva (mikro- do milisekunde) s frekvencijom 10 – 200 Hz. Budući da je zraka nevidljiva, uz nju dolazi koaksijalna vidljiva zraka niske energije koja služi za vizualizaciju i ciljanje. Tanki i fleksibilni nastavci omogućuju prijenos zrake u korijenski kanal (10).

U endodontskoj primjeni lasera postoje ograničenja i nedostaci poput postizanja ravnomjernog zračenja cijele dentinske stijenke korijenskog kanala (16,17). Kod fiberoptičkih nastavaka ravnog završetka zraka se emitira pravocrtno s vrlo malim kutom divergencije od 18 do 20 stupnjeva (16), što otežava ravnomjerno zračenje cijele dentinske stijenke korijenskog kanala (16). Također, takva pravocrtna emisija nije poželjna prilikom revizije ili instrumentacije u zavinutim korijenskim kanalima jer postoji opasnost od nastanka intrakanalne stepenice ili perforacije (18,19). Stoga se preporuča pomicanje fiberoptičkog nastavka kružnim pokretima od apikalnog dijela kanala prema koronarnom.

Kako bi se postiglo ravnomjerno zračenje dentinskog zida i spriječila eventualna termička oštećenja (20), konstruirani su konični fiberoptički nastavci (engl. *side-firing*) koji emitiraju 20 posto ukupne energije pravocrtno, a 80 posto lateralno (21). Prilikom dezinfekcije korijenskog kanala erbij-laserom treba paziti i na moguće pregrijavanje periradikularnog tkiva kroz apikalni otvor (22,6).

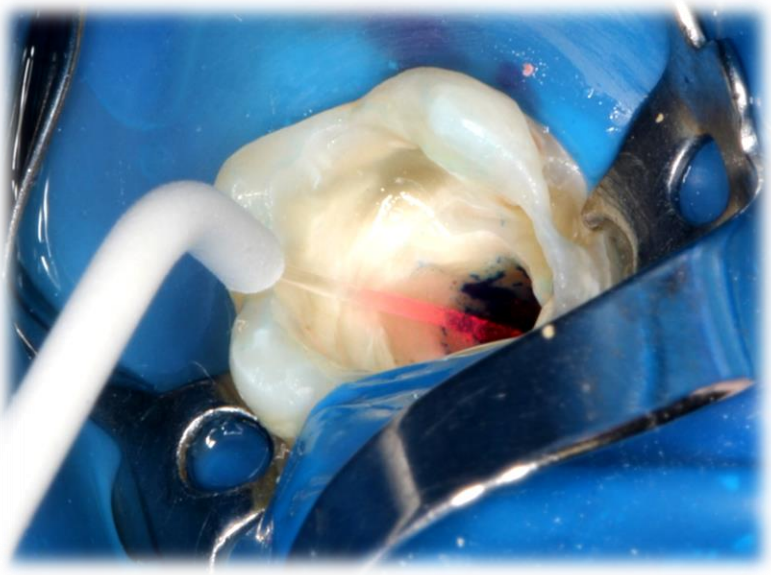
2.2.4. Fotodinamska terapija u endodontskom liječenju zuba

Antimikrobna fotodinamska terapija (engl. *antimicrobial photodynamic therapy*, aPTD) naziva se još i fotoaktiviranom dezinfekcijom (engl. *photoactivated disinfection*, PAD). Riječ je o tehnici dezinfekcije endodontskog prostora koja se temelji na interakciji laserskog svjetla i boje (fotosenzibilatora) u korijenskom kanalu. Lasersko svjetlo ovdje nema izravan učinak na tkivo nego djeluje tako da aktivira kemijsko sredstvo (boju) koje u aktiviranom obliku ima baktericidna svojstva (10) (Slika 2).

Elementi potrebni za PAD izvor su laserskog svjetla, boja (fotosenzibilator) i prisutnost kisika u ciljanom tkivu. Valna duljina laserskog svjetla treba odgovarati apsorpcijskom maksimumu boje koja se koristi. Stoga se za PAD koriste laseri koji zrače u vidljivom (635 – 675 nm) i blizu-infracrvenom (810 nm) spektru (10). Najčešće korištene boje su toluidinsko i metilensko modrilo, porfirin i klor e6 konjugati.

Ove boje aktiviraju se svjetlom vidljivog crvenog spektra (635 – 675 nm). Mogu se koristiti i indocijanin zelenilo, čiji je apsorpcijski spektar u blizu-infracrvenom spektru (800 nm), te riboflavin i feoforbid-a polilizin, koji se aktiviraju vidljivim plavim svjetlom (380 – 500 nm) (10). Boja se unosi u korijenski kanal i izlaže laserskom svjetlu čija valna duljina odgovara apsorpcijskom spektru boje. Boja tada apsorbira energiju laserskog svjetla i prelazi u pobuđeno stanje. Spoj u ovakvom stanju prolazi kroz reakcije za koje je potrebna prisutnost kisika. Rezultat je oslobađanje reaktivnih oblika kisika (poput atomskog kisika), koji imaju baktericidni učinak (10). Za učinkovitost PAD-a nužno je da boja (fotosenzitivno sredstvo) fizički doseže sva područja na kojima su kolonizirani mikroorganizmi.

Budući da je zbog složenosti endodontskog prostora to teško postići, javlja se pitanje učinkovitosti ove tehnike. Osim distribucije boje, manjak kisika u ciljnom tkivu i obojenje zuba također se navode kao problemi u PAD (10).



Slika 2. Fotodinamska terapija u korijenskom kanalu

(Zahvalnošću doc.dr.sc. Ivona Bago)

3. ULOGA ISPIRANJA U ENDODONTSKOM LIJEČENJU ZUBA

Kad je endodontski prostor inficiran, potrebno je instrumentacijom kanala mehanički ukloniti ostatke pulpnog tkiva i broj mikroorganizama svesti na minimum (10). Instrumentacijom kanala na stijenkama nastaje zaostatni sloj sastavljen od dentinskog debrisa, ostataka pulpe, odontoblastičnih nastavaka i mikroorganizama (10). Dentinski debris i zaostatni sloj okludiraju dentinske tubuluse i sprječavaju prodor intrakanalnih sredstava. Stoga njihovo uklanjanje sa stijenki kanala ima ključnu ulogu u dezinfekciji endodontskog prostora (10).

Debris, zaostatni sloj i biofilm mogu se ukloniti iz kanala ispiranjem. Osim što mehanički otplavljuju debris koji je nastao instrumentacijom, sredstva za ispiranje imaju sposobnost otapanja organskog ili anorganskog materijala. Nakon što u kanalu reagiraju s biofilmom i dentinom, sredstva za ispiranje postaju kemijski inaktivna pa je potreban stalan protok svježeg irigansa da bi on bio učinkovit (10). Dinamičan protok sredstva za ispiranje u kanalu potreban je za dosezanje svih dijelova endodontskog prostora, održavanje učinkovite koncentracije sredstva te za stvaranje smičnog stresa na stijekama koji uklanja biofilm. Agitacijom ili aktivacijom sredstva za ispiranje pojačava se strujanje irigansa u sustavu kanala i omogućuje bolji protok i kemijska svojstva (10).

3.1. Tehnike ispiranja kanala zuba

3.1.1. Ispiranje špricom i iglom

Ovo je konvencionalna i najčešće korištena tehnika ispiranja. Koristi se samostalno ili u kombinaciji s nekom od tehnika aktivacije sredstva za ispiranje. Sredstvo za ispiranje nalazi se u šprici, a u kanal se uvodi pomoću igle povezane sa špricom. Izlazak tekućine iz šprice postiže se pritiskom na klip. Pozitivni tlak potiskuje tekućinu u smjeru apeksa. Poželjno je da vrh igle bude smješten čim bliže radnoj duljini, no treba biti oprezan zbog mogućeg potisnuća sredstva u periapeks. Igla može biti otvorenog (tupog ili oštrog) vrha ili je vrh zatvoren a otvori se nalaze bočno. Najčešće korištene veličine igle su 27 i 30 (0,4 i 0,3 mm u vanjskom promjeru) (10).

3.1.2. Tehnika negativnog tlaka

Tehnikom negativnog tlaka sredstvo za ispiranje se aspirira iz kanala kroz mikrokanilu, dok se svježe sredstvo doprema u kanal pomoću veće igle. Mikrokanila se postavlja u srednji dio kanala ili blizu radne duljine. Smični stres koji nastaje strujanjem tekućine najveći je na mjestu najmanjeg promjera kanala. Zbog aspiracije negativnim tlakom nema strujanja usmjerenog prema apeksu pa se ova tehnika smatra sigurnijom što se tiče opasnosti od potiskivanja sredstva u periapikalnu regiju (10).

3.1.3. Zvučno aktivirano ispiranje

Zvučno aktivirano ispiranje tehnika je ispiranja kod koje se sredstvo za ispiranje, koje se nalazi u kanalu, aktivira pomoću zvučnih vibracija. Na tržištu postoje uređaji za zvučno aktivirano ispiranje poput EndoActivator (Dentsply Sirona, Ballaiugues, Švicarska) sustava. Uređaj proizvodi vibracije frekvencije manje od 20 kHz, a uglavnom iznose 100 Hz. Oscilirajući nastavak uvodi se u kanal do blizine radne duljine, najčešće na 30 – 60 sekundi (10). Nastavak slobodno oscilira u sredstvu za ispiranje i time ga aktivira. Najveću amplitudu ima na svom vrhu, oko kojeg je iznos smičnog stresa najveći. Budući da ta amplituda može iznositi čak jedan mm, može biti veća od promjera toga dijela kanala. Takav kontakt oscilirajućeg nastavka i stijenke kanala može smanjiti učinkovitost ove tehnike (10).

3.1.4. Ultrazvučno aktivirano ispiranje

Ultrazvučni uređaji rade na višim frekvencijama od zvučnih. Uglavnom iznose između 20 i 200 kHz, a amplitude su manje od 100 μm. Za aktivaciju sredstva za ispiranje koriste se nastavci kružnog presjeka koji ne režu tkivo. Uvode se u kanal 1 – 2 mm od radne duljine. U intermitentnoj tehnici sredstvo se aktivira u tri navrata po 10 sekundi, a u kontinuiranoj jednom i to jednu minutu. Lagani kontakt sa stijenkom kanala dozvoljen je jer ne utječe na oscilaciju i učinkovitost tehnike (10).

3.1.5. Laserski aktivirano ispiranje (LAI)

Novije tehnike ispiranja koriste energiju lasera za aktivaciju sredstva za ispiranje. Zahvaljujući afinitetu vode i sredstva za ispiranje prema laserskom svjetlu erbij lasera, dolazi do njihove interakcije i fotoakustičke aktivacije sredstva, što bi trebalo znatno povećati njegovu dinamiku i distribuciju unutar sustava korijenskih kanala (10).

3.2. Učinak ispiranja kanala u dezinfekciji endodontskog prostora zuba

U inficiranom endodontskom prostoru bakterijski biofilm prekriva stijenke glavnih i lateralnih kanala, apikalnih delta i dentinskih tubulusa. Biofilm se definira kao nakupina mikroorganizama u matriksu sastavljenom od vode, proteina i polisaharida. Takav matriks vrlo dobro štiti bakterije od antimikrobnih sredstva. Zbog ekstracelularnih polimera koji grade matriks biofilm ima i viskoelastično svojstvo, koje mu omogućuje zaštitu od mehaničkog uklanjanja. Da bi se učinkovito dezinficirao endodontski prostor zuba, ključan je raspad matriksa bakterijskog biofilma. Bitnu ulogu u tome imaju tlak i smični stres, koji nastaju strujanjem sredstva za ispiranje u kanalu (10). Budući da ne postoje modeli biofilma koji bi učinkovito prikazali učinkovitost ispiranja, ali i zbog varijabilnog sastava i fizikalnih svojstava, teško je odrediti realan utjecaj koji ispiranje ima na uklanjanje biofilma. Također, mjerenja fizikalnih svojstava biofilma trebala bi se napraviti u kratkom vremenskom razdoblju, zato što je biofilm sastavljen od živih organizama i prilagođava se svojoj okolini (10).

Sile koje nastaju strujanjem sredstva za ispiranje u kanalu mogle bi dovesti do apsorpcije energije, ekspanzije biofilma i njegovog površinskog ili potpunog raspada. Oštećenje površinskog sloja moglo bi omogućiti prodor sredstva za ispiranje u biofilm. S druge strane, poremećaji u strukturi matriksa koji bi pritom nastali mogli bi potaknuti adheziju novih mikroorganizama i reogranizaciju biofilma (10). Stabilnost i zaštitna svojstva matriksa otežavaju njegovo potpuno uklanjanje, stoga kombinacija mehaničke i kemijske obrade ostaje ključna u dezinfekciji endodontskog prostora (10).

4. PRIMJENA LASERA U ISPIRANJU ENDODONTSKOG PROSTORA ZUBA

Laseri koji se koriste u laserski aktiviranom ispiranju su erbij laseri: Er:YAG i Er,Cr:YAG. Koriste se upravo ovi laseri jer je valna duljina njihove zrake u srednje-infracrvenom spektru (2780 – 2940 nm). To odgovara apsorpcijskom spektru sredstva za ispiranje, pa će se laserska zraka erbij lasera u njemu dobro apsorbirati i omogućiti njegovu hidrodinamsku aktivaciju (14). Laserski aktivirano ispiranje koristi se u kombinaciji s nekim od sredstava za ispiranje (primjerice NaOCl, EDTA ili klorheksidin) na kraju kemo-mehaničke obrade kanala (8). Preporuča se najprije ukloniti zaostatni sloj EDTA-om te na kraju aktivno ispiranje s antimikrobnim sredstvom, NaOCl-om ili klorheksidinom (1). Istraživanja su pokazala da se aktivacijom sredstva za ispiranje Er:YAG laserom u korijenskom kanalu postiže čista dentinska površina bez debrisa (14). Macedo i sur. (23) dokazali su da aktivno ispiranje ima značajan utjecaj na povećanje učinkovitosti NaOCl-a.

4.1. Laserski aktivirano ispiranje s Er:YAG i ER, Cr:YSGG laserima

LAI (engl. *laser-activated irrigation*) tehnika je hidrodinamske aktivacije sredstva za ispiranje u korijenskom kanalu pomoću laserske zrake (8). Za LAI se koriste Er,Cr:YSGG (erbij,krom:itrij, skandij, galij, garnet) ili Er:YAG (erbij:itrij, aluminij, garnet) laseri s energijama od 50 do 100 mJ i frekvencijom od 10 do 20 Hz (8). Sredstvo se aktivira tako da apsorbira energiju laserske zrake (13,24). Kad laser emitira kratko pulsno zračenje u sredstvu za ispiranje unutar kanala, tanak sloj (2 – 10 mikrometara) tekućine neposredno uz lasersku zraku apsorbira fotone, pregrijava se i isparava (fototermalni učinak). Tako u jednoj mikrosekundi unutar sredstva za ispiranje nastaju mjehurići pare visokog tlaka (kavitacije). Laser i dalje u pulsevima emitira energiju, koja uzrokuje ekspanziju nastalog mjehurića. Kako se mjehurić širi, omogućuje daljnji prodor laserske zrake i isparavanje tekućine uz njegovu površinu. Taj proces traje do kraja laserskog pulsa. Tada se mjehurić počinje hladiti pa dolazi do njegove implozije, odnosno urušavanja. Dok se mjehurići urušavaju, oslobađa se energija u obliku tlačnih šok-valova (fotoakustični učinak). Oni putuju ultrazvučnom i zvučnom brzinom, a takvo brzo strujanje uzrokuje smično naprezanje uz stijenku kanala te uklanjanje zaostatnog sloja i biofilma. Nakon što mjehurić kolabira, zbog naglih tlačnih promjena dolazi do stvaranja novog mjehurića (sekudarni kavitacijski učinak) (14,25).

Mehanizam nastanka kavitacija opisali su Blanken i Vedaasdonk (2007), Blanken i sur. (2009.), de Groot i sur. (2009), Matsumoto i sur. (2011) i Gregorčić i sur. na temelju slikovnih metoda velike brzine (26). Matsumoto i sur. (25) dokazali su da u simuliranom korijenskom kanalu kavitacije s implozijom nastanu i do deset puta po laserskom pulsu, ali da mjehurići postaju progresivno manji sa svakim ciklusom.

Parametri koji utječu na osobine kavitacija su:

1. energija pulsa (utječe na životni vijek i veličinu mjehurića)

2. veličina mjehurića (povećava se s povećanjem promjera fiberoptičkih vlakana)

3. dužina pulsa (određuje veličinu i, u manjoj mjeri, oblik mjehurića).

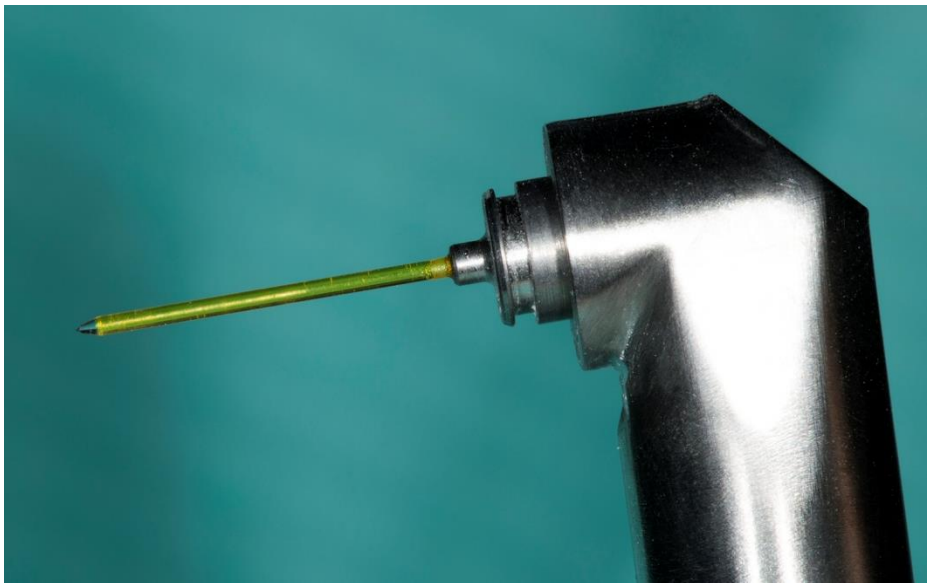
Kraći pulsevi stvaraju mjehuriće većeg promjera, a duži pulsevi mjehuriće manjeg promjera. Kraći pulsevi manje energije stvorit će mjehuriće koji su veličinom slični onima koje stvaraju duži pulsevi uz veću energiju. Korištenje energije iznad praga ablacije dentina može uzrokovati termički ablativni učinak na dentin (8).

Fiberoptički nastavak se kod LAI-a postavlja unutar kanala pet milimetara od radne duljine. Preporučeno vrijeme zračenja iznosi pet sekundi u nekoliko navrata, ovisno o fizikalnim parametrima lasera i o tome unosi li se sredstvo za ispiranje jednokratno prije zračenja ili se kanal kontinuirano ispire tijekom rada s laserom (8). Peters i sur. (27) dokazali su bolju učinkovitost LAI-a s Er,Cr:YSGG laserom (1 W, 35 Hz) i 17 % EDTA tijekom 60 sekundi u uklanjanju zaostatnog sloja iz apikalnog dijela korijenskog kanala u usporedbi s konvencionalnom tehnikom ispiranja špricom i iglom. De Moor i sur. (28) i De Groot i sur. (29) dokazali su bolje djelovanje LAI s Er,Cr:YSGG i Er:YAG (75 mJ, 20 Hz, 1.5 W, 4 x 5 s) i 2,5 % NaOCl-a u uklanjanju debrisa iz apikalnog dijela korijenskog kanala u usporedbi s konvencionalnim ili pasivnim ultrazvučnim ispiranjem (8). Pedullà et al. (30) su nakon laserski aktiviranog ispiranja Er:YAG laserom (30 sekundi) dokazali značajnu redukciju (za 99.8 %) *Enterococcus faecalis* bakterije inkubirane tijekom 15 dana. Ovo istraživanje pokazalo je i da laserska aktivacija samo destilirane vode nije dovoljna za učinkovitu dezinfekciju.

Znatno bolje rezultate pokazala je upotreba sredstva poput NaOCl-a, a dokazana je i važnost sile šok-valova u destrukciji bakterijske stanice (14,30).

4.2. Fotonima inducirano fotoakustično strujanje (engl. *photon induced photoacoustic streaming*, PIPS)

Specifična tehnika LAI-a zove se PIPS (engl. *photon initiated photoacoustic streaming*). Za razliku od klasičnog LAI-a, ova tehnika koristi Er:YAG laser malih energija (20 do 50 mJ), frekvencija 10 do 15 Hz i vrlo kratkih pulseva od 50 μs (14) (Slika 3). Budući da se koristi zračenje vrlo malih (subablativnih) energija, nije izražen fototermički učinak, već prevladava fotomehanički, odnosno fotoakustički učinak (8). Impulsi laserske zrake male energije aktiviraju sredstvo za ispiranje stvaranjem kavitacija i šok-valova (31). Nastaje snažno, fotonima inducirano fotoakustično strujanje tekućine unutar kanala, bez nepoželjnih termičkih učinaka (14). Kod PIPS-a se konični nastavak debljine 600 mikrona (engl. *side-firing stripped*) postavlja u trepanacijski otvor zuba na ulaz u korijenski kanal, a ne unutar njega kao kod LAI-a (10,24). Time je laserska tehnika ispiranja uvelike pojednostavljena jer nije potrebno približavanje nastavka apeksu kako bi se i taj dio kanala učinkovito isprao (14).



Slika 3. Er:YAG laser s PIPS nastavkom

(Zahvalnošću doc.dr.sc. Ivona Bago)

4.2.1. Dosadašnja istraživanja učinkovitosti PIPS tehnike ispiranja kanala

Mnoga dosadašnja istraživanja dokazala su učinkovitost i sigurnost primjene PIPS tehnike (32,33,34). Što se tiče eventualnih negativnih termičkih učinaka, istraživanje (14) pokazalo je porast temperature u apikalnoj trećini korijena od samo 1.2 °C nakon 20 sekundi i 1.5 °C nakon 40 sekundi kontinuiranog aktiviranja sredstva PIPS tehnikom. Istraživanje o kretanju tekućine za ispiranje uz i dalje od vrška nastavka pokazalo je da je na udaljenosti 21 milimetra od vrška nastavka PIPS postigao četiri puta veću brzinu strujanja tekućine u usporedbi s ultrazvučnim ispiranjem (35). Dokazano je i znatno bolje uklanjanje debrisa i zaostatnog sloja aktivacijom 17 % EDTA pomoću PIPS tehnike, u usporedbi s tradicionalnim ručnim ispiranjem (24, 36). Aktiviranje 6 % natrijeva hipoklorita PIPS tehnikom pokazalo je učinkovitu redukciju mikroorganizama u endodontskom prostoru zbog postignutog trodimenzionalnog strujanja tekućine (14, 27, 37).

Provedeno je istraživanje (31) učinkovitosti PIPS tehnike i zvučno aktiviranog ispiranja u kombinaciji s QMix (Dentsply Tulsa, Maillefer, Ballaigues, Switzerland) sredstvom za ispiranje ili NaOCl u uklanjaju intrakanalnog biofilma *Enterococcus faecalis* bakerija. Pokazalo je da nema značajne razlike u redukciji bakterija uspoređujući PIPS i zvučno aktivirano ispiranje, neovisno o tome koje je sredstvo za ispiranje korišteno. Iako u ovom istraživanju laserska aktivacija sredstva za ispiranje nije poboljšala njihova antimikrobna svojstva, postigla je najveći broj sterilnih uzoraka, što svakako potiče daljnja istraživanja (31). Nedavno istraživanje (38) pokazalo je da je razlika u uklanjanju dentinskog debrisa u mezijalnim korjenovima mandibularnih molara između laserske i ultrazvučne aktivacije prisutna, ali ne i značajna te da uspješnost ove tehnike još uvijek ovisi o upotrebi EDTA i NaOCl (39). Osim učinkovitosti PIPS tehnike u uklanjanju zaostatnog sloja i biofilma, postoji i istraživanje (40) o njenoj učinkovitosti u uklanjanju ostataka triju različitih materijala za punjenje kanala nakon strojne revizije. To istraživanje pokazalo je značajno poboljšanje u uklanjanju korištenih materijala za punjenje kanala koristeći PIPS tehniku u kombinaciji s NaOCl i EDTA, nakon strojnog uklanjanja materijala iz kanala. (40). Nove mogućnosti kojima bi se poboljšala učinkovitost PIPS tehnike u dezinfekciji i čišćenju korijenskih kanala i dalje se istražuju (41).

5. *SWEEPS* TEHNIKA ISPIRANJA KANALA

Nedavna istraživanja pokazala su da kolaps mjehurića koji proizvodi šok-valove može nastati samo u velikim rezervoarima tekućine, ali ne i u ograničenom prostoru poput korijenskih kanala (41,42). Unutar kanala dolazi do usporavanja dinamike mjehurića zbog trenja na zidovima kanala i ograničenog prostora za strujanje tekućine tijekom rasta i implozije mjehurića. Zbog toga kolaps mjehurića neće biti dovoljno intenzivan da bi proizveo učinkovite šok-valove koji mogu ukloniti zaostatni sloj jer su ti valovi oslabljeni ili uopće ne nastaju (41). Također, u ograničenom prostoru kanala, uz inicijalni mjehurić koji je veći, duž kanala nastaju i manji sekundarni mjehurići zbog sekundarnog kavitacijskog učinka. Kad bi se postigao dovoljno brz kolaps inicijalnih i sekundarnih mjehurića, to bi rezultiralo nastankom velikog broja šok-valova duž cijelog kanala i boljim čišćenjem (41).

Najnoviji je modalitet na Er:YAG laseru (Fotona Light Walker, Ljubljana, Slovenija), kojim se nastoji unaprijediti učinkovitost PIPS-a, čak i unutar ograničenog prostora korijenskih kanala, *SWEEPS* tehnika (engl. *Shock Wave Enhanced Emission Photoacoustic Streaming*) (41). Ova tehnika temelji se na pojačanju šok-valova pomoću dodatnog pulsa koji se emitira prije nego inicijalni mjehurić kolabira (11). Klinički postupak *SWEEPS* tehnike sličan je kao kod PIPS tehnike. Sredstvo za ispiranje aktivira se pomoću Er:YAG lasera (20 mJ, 15 Hz). Razlika je u tome što *SWEEPS* modalitet lasera, osim primarnih pulseva koji stvaraju primarne kavitacije, emitira i sekundarne pulseve koji su sinkronizirani s početkom kolabiranja primarnih mjehurića (11).

5.1. Osnove *SWEEPS* tehnike

Pulsna zraka Er:YAG lasera apsorbira se u sredstvu za ispiranje. Na vrhu fiberoptičkog nastavka formira se primarni mjehurić ispunjen parom. Taj mjehurić se širi dok ne dosegne svoj maksimalni volumen. Tada on počinje kolabirati, prilikom čega se energija pohranjena u mjehuriću pare pretvara u zvučne valove. Ako je kolaps mjehurića dovoljno brz, na kraju kolapsa nastat će šok-valovi koji putuju ultrazvučnom brzinom (fotoakustični efekt) (39). Kod *SWEEPS* tehnike na početku kolabiranja mjehurića nastalog prvim pulsom laser emitira drugi puls, koji stvara novu kavitaciju.

Rast tog sekundarnog mjehurića vrši pritisak na primarni i ubrzava njegovo urušavanje te nastaju šok-valovi. Osim toga, šok-valovi nastaju i prilikom urušavanja sekundarnog mjehurića.

Za razliku od primarnih, sekundarni su mjehurići tijekom kolapsa u neposrednoj blizini zidova korijenskog kanala. Zato šok-valovi koji pritom nastaju stižu do površine dentina u svojoj punoj brzini i učinkovitiji su u uklanjanju zaostatnog sloja (39). Šok-valovi imaju ultrazvučnu brzinu u blizini mjehurića iz kojeg nastaju, a na udaljenosti od 25 milimetara znatno su usporeni. Unatoč tome, mjerenja su pokazala da su šok-valovi svejedno dva puta brži kad se koristi *SWEEPS* (41).

Da bi se dogodio ovakav efekt amplifikacije šok-valova, primarna i sekundarna pulsna zraka moraju se emitirati u točno određenom vremenskom razmaku. Rezultati istraživanja (39) pokazuju da optimalan vremenski razmak između dvaju pulseva ovisi o tome koliko traje oscilirajući period primarnog mjehurića. Mjerenja su pokazala da oscilirajući period mjehurića najviše ovisi o energiji pulsa i promjeru kanala, a u manjoj mjeri i o dužini kanala i pozicioniranju fiberoptičkog nastavka. Budući da su ovi parametri varijabilni, svaki kanal imat će drugačije optimalno vrijeme za emitiranje sekundarnog pulsa. Stoga vremenski razmak između dva pulsa ne bi trebao biti fiksni. Kako bi se u kliničkoj praksi u svakom kanalu mogao postići optimalni vremenski razmak između dvaju pulseva, razvijen je posebni *Auto SWEEPS* Er:YAG laser modalitet (Slika 4, Slika 5, Slika 6). Tijekom emisije laserskog zračenja on unutar razdoblja od deset mikrosekundi konstantno mijenja vremenski razmak (od 300 do 650 mikrosekundi) između primarnog i sekundarnog pulsa (39). To omogućuje da tijekom svakog ciklusa postoji barem jedno razdoblje u kojem su pulsevi odvojeni 50 mikrosekundi, koliko je optimalno vrijeme razmaka da bi nastali učinkoviti šok-valovi (39,41). Ovaj modalitet također uklanja potrebu da se vrh fiberoptičkog vlakna mora smjestiti točno u sredinu poprečnog presjeka lumena kanala (41). Iako je dokazano da oscilirajući period mjehurića ovisi i o energiji pulsa, amplifikaciju šok-valova nije moguće postići samo povećanjem inicijalne energije pulsa. To bi samo povećalo veličinu mjehurića koji bi nastao i produljilo njegov oscilirajući period (41).



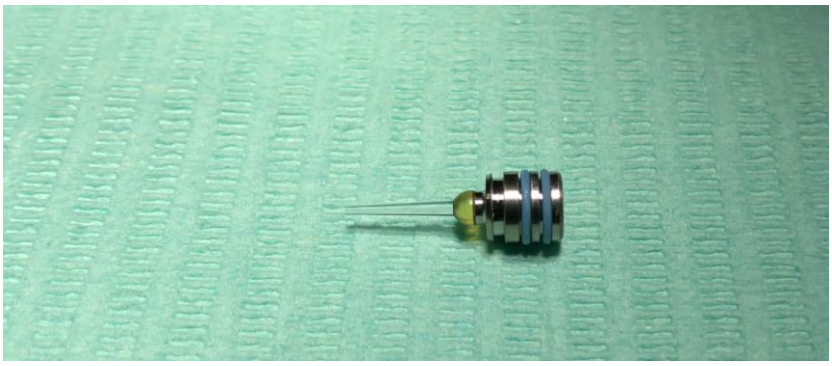
Slika 4. Er:YAG laser

(Zahvalnošću dr.sc. Damir Šnjarić)



Slika 5. Er:YAG laser s nastavkom za *SWEEPS* tehniku

(Zahvalnošću dr.sc. Damir Šnjarić)



Slika 6. Fiber nastavak za *SWEEPS* tehniku

(Zahvalnošću dr.sc. Damir Šnjarić)

5.2. Dosadašnja istraživanja

S obzirom na to da je tehnika *SWEEPS* na tržištu od 2015. godine, još ne postoji dovoljan broj objavljenih radova kako bi se donio jasan zaključak o njezinoj učinkovitosti i superiornosti naspram dosadašnjih aktivacijskih tehnika. Trenuto još ne postoje objavljena neovisna istraživanja o učinkovitosti *SWEEPS* tehnike. U istraživanju Gallera i sur. (11) uspoređena je sposobnost nekoliko tehnika aktivacije sredstva za ispiranje (zvučno, ultrazvučno, PIPS i *SWEEPS*) u prodiranju u dentinske tubuluse. Rezultati su pokazali da su razlike zanemarive u koronarnom i srednjem dijelu kanala, gdje su sve tehnike postigle slične rezultate. Bitnija razlika bila je prisutna u apikalnom dijelu kanala. Najveću srednju dubinu prodora u dentinske tubuluse pokazala je PIPS tehnika koronarno (1246.8 μm) i apikalno (657.5 μm) te zvučno aktivirano ispiranje u srednjem dijelu kanala (985.5 μm). PIPS je pokazao znatno veću dubinu prodora u tubulse u apikalnom dijelu u usporedbi sa *SWEEPS* tehnikom (332.1 μm). Ovo istraživanje pokazalo je da *SWEEPS* tehnika nema veću mogućnost prodora u dentinske tubuluse u usporedbi s ostalim tehnikama aktivacije. Provedeno je i istraživanje (43) o potencijalnoj ekstruziji sredstva za ispiranje kroz apikalni foramen tijekom *SWEEPS* tehnike ispiranja. Rezultati su pokazali znatno manju ekstruziju sredstva za ispiranje u usporedbi s konvencionalnim ispiranjem pomoću igle i šprice, što se poklapa s rezultatima prijašnjeg istraživanja (44) (41).

6. RASPRAVA

Tijekom ispiranja korijenskih kanala cilj je postići kemijski raspad i mehaničko uklanjanje pulpnog tkiva, dentinskog debrisa, zaostatnog sloja i biofilma. Kako bi se endodontski prostor temeljito dezinficirao, potrebno je da sredstvo za ispiranje dosegne sve dijelove kanala. Pritom je vrlo bitno postići strujanje sredstva za ispiranje. Bez toga distribucija sredstva u kanalu ovisi o difuziji koja je vrlo spora i ovisi o temperaturi i koncentracijskim gradijentima. Strujanje sredstva za ispiranje stvara smične sile koje djeluju na stijenke korijenskog kanala i mehanički ih čiste (10). Konvencionalna tehnika ispiranja špricom i iglom ima ograničenja poput nedovoljne izmjene sredstva u korijenskom kanalu, koja djeluje do dva milimetra od vrha igle. To znači da ne doseže udaljenije dijelove kanala poput apikalne trećine (45). Tijekom ove tehnike ispiranja strujanje je sredstva u blizini apeksa minimalno (10). Također, ispiranje špricom i iglom povezuje se s „*vapor lock*“ efektom – nastankom mjehurića (čestice plina zarobljene u tekućini) u apikalnom dijelu kanala, što može kompromitirati ispiranje tog područja (10). Da bi se prevladala ograničenja ispiranja špricom i iglom, razvijene su brojne tehnike aktivacije sredstava za ispiranje, čime se povećava njihova dinamika i distribucija duž korijenskog kanala (45). Mnoga istraživanja potvrdila su važnost aktivacijskih tehnika u ispiranju kanala. Virdee et al. (45) nastojali su utvrditi postiže li se aktivacijom sredstva za ispiranje bolje uklanjanje intrakanalnog debrisa i zaostatnog sloja u usporedbi s konvencionalnim ispiranjem iglom i špricom. Meta-analize 12 radova pokazale su značajno poboljšanje u uklanjanju zaostatnog sloja i debrisa u koronarnom, srednjem i apikalnom dijelu kanala nakon aktivacije sredstva za ispiranje. No, u posljednjem jednom milimetru kanala ta je razlika u usporedbi s ispiranjem iglom i špricom bila neznatna (45), što znači da najapikalniji dijelovi kanala ostaju teško dostupni čak i nakon aktivacije sredstva za ispiranje. Caron et al. (46) dokazali su da protokoli završnog ispiranja kanala koji koriste tehnike aktivacije postižu bolje uklanjanje zaostatnog sloja u zavijenim korjenovima molara. Osim fizičke aktivacije, istražuje se i imaju li tehnike aktivacije utjecaj na kemijski antimikrobni potencijal sredstava za ispiranje. Gołąbek et al. (47) proveli su istraživanje o tome dolazi li tijekom agitacije NaOCl i do njegove kemijske aktivacije. Dokazano je da ultrazvučnim aktiviranjem NaOCl-a dolazi do njegova povećanog raspada na visoko reaktivne radikale, koji imaju antimikroban učinak (47).

Danas postoje brojne metode kojima se mogu aktivirati sredstva za ispiranje, a u novije tehnike ubraja se LAI, gdje se koriste Er: YAG i Er,Cr:YAG laseri (8). Zahvaljujući afinitetu sredstva za ispiranje prema laserskom svjetlu erbij lasera, dolazi do njihove interakcije i fotoakustičke aktivacije sredstva za ispiranje (10). Kavitacije koje pritom nastaju povećavaju dinamiku i distribuciju sredstva za ispiranje unutar sustava korijenskih kanala (10). Istraživanja (27, 28, 29) su dokazala veću učinkovitost LAI-a u uklanjanju zaostatnog sloja i debrisa iz apikalnog dijela korijenskog kanal u usporedbi s konvencionalnim ispiranjem špricom i iglom. Posebna tehnika LAI-a zove se PIPS. Za razliku od LAI-a, lasersko svjetlo u PIPS tehnici ima malu energiju i emitira se u obliku vrlo kratkih pulseva. Korištenjem subablativnih energija izbjegava se termalni učinak na tkiva, a kavitacije koje nastaju rezultat su fotoakustičkog i fotomehaničkog učinka (10). Istraživanjima je dokazano znatno bolje uklanjanje debrisa i zaostatnog sloja pomoću PIPS tehnike, u usporedbi s tradicionalnim ručnim ispiranjem (24, 36). Osim toga, dokazano je i značajno poboljšanje u uklanjanju određenih materijala za punjenje kanala koristeći PIPS tehniku u kombinaciji s NaOCl i EDTA, nakon strojnog uklanjanja materijala iz kanala (40). Što se tiče poboljšanja dinamike sredstva za ispiranje, dokazano je da je na udaljenosti od 21 milimetra od vrška nastavka PIPS postigao četiri puta veću brzinu strujanja tekućine u usporedbi s ultrazvučnim ispiranjem (35). Aktiviranje 6 % natrijevog hipoklorita PIPS tehnikom pokazalo je učinkovitu redukciju mikroorganizama u endodontskom prostoru zbog postignutog trodimenzionalnog strujanja tekućine (27). Nekim istraživanjima dokazana su i ograničenja PIPS tehnike. U usporedbi s ultrazvučnom aktivacijom PIPS je pokazao beznačajnu razliku u uklanjanju debrisa iz korijenskih kanala, što sugerira da uspješnost ove tehnike još uvijek ovisi o upotrebi EDTA-a i NaOCl-a (38, 393). Turkel i sur. (2) dokazali su da nijedna od ispitivanih tehnika aktivacije sredstva za ispiranje, uključujući PIPS, nije uspjela u potpunosti ukloniti debris i zaostatni sloj u apikalnom dijelu kanala. U usporedbi s ispiranjem iglom i špricom, PIPS je značajno poboljšao čišćenje samo u srednjoj trećini korijenskog kanala. Navode da je mogući uzrok tome koronarni položaj fiberoptičkog nastavka u PIPS tehnici, zbog čega strujanje ne doseže apikalni dio kanala. Neka istraživanja (42, 48) sugeriraju da uzak prostor korijenskih kanala ograničava kolaps mjehurića i usporava šok-valove zbog trenja na stijenkama kanala (41).

Najnoviji je modalitet na Er:YAG laseru (Fotona Light Walker, Ljubljana, Slovenija), kojim se nastoji unaprijediti učinkovitost PIPS-a, *SWEEPS* tehnika (41). Razlika u odnosu na PIPS je u tome što *SWEEPS* modalitet lasera, osim primarnih pulseva koji stvaraju primarne kavitacije, emitira i sekundarne pulseve koji su sinkronizirani s početkom kolabiranja primarnih mjehurića (11). Na temelju toga dolazi do pojačanja šok-valova (11) koji stižu do površine dentina u svojoj punoj brzini i učinkovitiji su u uklanjanju zaostatnog sloja (39). Ovakav efekt amplifikacije šok-valova predstavlja tehnološki napredak u odnosu na PIPS tehniku jer se primarna i sekundarna pulsna zraka moraju emitirati u točno određenom vremenskom razmaku. U tu svrhu razvijen je Auto *SWEEPS* Er:YAG laser modalitet. Tijekom emisije laserskog zračenja on unutar razdoblja od deset mikrosekundi konstantno mijenja vremenski razmak između primarnog i sekundarnog pulsa (39). To omogućuje da tijekom svakog ciklusa postoji barem jedno razdoblje u kojem su pulsevi odvojeni 50 mikrosekundi, koliko je optimalno vrijeme razmaka da bi nastali učinkoviti šok-valovi (41). Budući da se na tržištu nalazi tek nekoliko godina, nema dovoljno objavljenih radova na temelju kojih bi se moglo zaključiti je li *SWEEPS* tehnika klinički učinkovitija od ostalih aktivacijskih tehnika. Jedno istraživanje (11) pokazalo je da *SWEEPS* tehnika nema veću mogućnost prodora u dentinske tubuluse u usporedbi s ostalim tehnikama aktivacije. Rezultati dvaju istraživanja (43, 44) poklapaju se i pokazuju da *SWEEPS* i PIPS imaju znatno manju ekstruziju sredstva za ispiranje kroz apikalni foramen u usporedbi s konvencionalnim ispiranjem pomoću igle i šprice.

7. ZAKLJUČAK

SWEEPS tehnika predstavlja tehnološki napredak u odnosu na prijašnje tehnike aktivacije jer nove postavke lasera omogućuju točno tempirano emitiranje dodatnog pulsa laserske zrake. Posljedica je toga znatno ubrzanje nastalih šok-valova, koji do stijenke korijenskog kanala stižu pri ultrazvučnoj brzini i učinkovito uklanjaju zaostatni sloj. Budući da je *SWEEPS* na tržištu tek od 2015. godine, nema mnogo objavljenih radova o učinkovitosti ove tehnike. Dosadašnja istraživanja pokazuju znatno manju ekstruziju sredstva za ispiranje u periapeks u usporedbi s ispiranjem pomoću igle i šprice. U usporedbi s ostalim tehnikama aktivacije, dokazano je da *SWEEPS* nema veću mogućnost prodora u dentinske tubuluse. Tek će daljnja istraživanja pokazati ima li ova tehnološki naprednija metoda veću učinkovitost od ostalih tehnika aktivacije sredstva za ispiranje.

8. LITERATURA

1. Miladinović M, Radić T, Bago Jurič I. Suvremene tehnike ispiranja korijenskih kanala u endodonciji. Sonda : list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2013;14:3-8.

2. Turkel E, Onay EO, Ungor M. Comparison of three final irrigation activation techniques: effects on canal cleanness, smear layer removal, and dentinal tubule penetration of two root canal sealers. Photomed Laser Surg. 2017;35(12): 672–81.

3. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. Int Endod J. 2010; 43(1): 2–15.

4. 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;34(3):221-30.

5. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. Br Dent J. 2014;216(6): 299–303.

6. Bago Jurič I, Anić I. The use of lasers in disinfection and cleaning of root canals: a review. Acta stomatol Croat. 2014;48(1):6-15.

7. Korkut E, Torlak E, Gezgin O, Özer H, Şener Y. Antibacterial and smear layer removal efficacy of Er:YAG laser irradiation by photon-induced photoacoustic streaming in primary molar root canals: a preliminary study. Photomed Laser Surg. 2018;36(9):480-6.

8. Čolić I, Bago Jurič I. Laserski aktivirano ispiranje korijenskih kanala zuba. Sonda : list studenata Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. 2014;15:43-44.

9. Baraba A. Ispiranje korijenskih kanala: Tehnike ispiranja korijenskih kanala. In: Jukić Krmek S, Baraba A, Klarić E, Marović D, Matijević J. Pretklinička endodoncija. 1.izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2017. 112-5.

10. Olivi G, De Moor R, DiVito E. Lasers in Endodontics. London: Springer; 2016. 291p. 45-50, 54, 62-3,80, 85, 87-9, 92, 145-7,153, 193, 197, 219.

11. Galler KM, Grubmüller V, Schlichting R, Widbiller M, Eidt A , Schuller C et al. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. 2019 [Epub ahead of print]. doi: 10.1111/iej.13108

12. Coluzzi DJ. An overview of laser wavelenghts used in dentistry. Dent Clin North Am. 2000 Oct;44(4):753-65.

13. Lulić M. Laserski aktivirano ispiranje korijenskih kanala [Diplomski rad]. Zagreb: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2016. str.50.

14. Olivi G. Laser use in endodontics: Evolution from direct laser irradiation to laser-activated irrigation. J Lasers Dent. 2013;21:58-71.

15. Sathe S, Hegde V, Jain PA, Ghunawat D. Effectiveness of Er: YAG (PIPS) and Nd: YAG activation on final irrigants for smear layer removal - SEM observation. J Dent Lasers. 2014;8(1):8-13.

16. Anić I, Šegović 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(2):77-81.

17. Stabholz A, Zeltser R, Sela M, Peretz B, Moshonov J, Ziskind D, et al. The use of lasers in dentistry: principles of operation and clinical applications. Compend Contin Educ Dent. 2003;24(12):935-48.

18. Matsuoka E, Yonaga K, Kinoshita J, Kimura Y, Matsumoto K. Morphological study on the capability of Er:YAG laser irradiation for root canal preparation. J Clin Laser Med Surg. 2000;18(4):215-9.

19. 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(4):229-34.

20. Gutknecht N, van 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(2):57-60.

21. George R, Walsh JL. Laser fiber-optic modifications and their role in endodontics. J Laser Dent. 2012;20(1):24-30.

22. 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(1):9-13.

23. Macedo RG, Wesselink PR, Zaccheo F, Fanali D, van der Sluis LWM. Reaction rate of NaOCl in contact with bovine dentine: Effect of activation, exposure time, concentration and pH. Int Endod J. 2010;43(12):1108-15.

24. 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; 27(2):273-80.

25. 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(6):839-43.

26. De Moor R. High-power lasers in endodontics – fiber placement for laser enhanced endodontics: in the canal or at the orifice?. JLA&HA. 2014;(1):1-8.

27. Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, DiVito E. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. J Endod. 2011;37(7):1008-12.

28. De Moor RJG, 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(9):1580-3.

29. 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;42(12):1077-83.

30. Pedullà E, Genovese C, Campagna E, Tempera G, Rapisarda E. Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: An ex vivo study. Int Endod J. 2012;45(9):865-70.

31. Balić M, Lucić R., Mehadžić K, Bago I, Anić I, Jakovljević S, Plečko V. The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming and sonic-activated irrigation combined with QMiX solution or sodium hypochlorite against intracanal E. faecalis biofilm. Lasers Med Sci. 2016;31(2):335–42.

32. Olivi G, DiVito EM. Photoacoustic endodontics using PIPS™: experimental background and clinical protocol. J LA&HA. 2012;1-8.

33. Deleu E, Meire MA, De Moor RJ. Efficacy of laser-based irrigant activation methods in removing debris from simulated root canal irregularities. Lasers Med Sci. 2015;30(2):831-5.

34. Arslan H, Akcay M, Ertas H, Capar ID, Saygili G, Mese M. Effect of PIPS technique at different power settings on irrigating solution extrusion. Lasers Med Sci. 2015;30(6):1641-5.

35. Akcay M, Arslan H, Mese M, Durmus N, Capar ID. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study. Clin Oral Investig. 2016;21(7): 2205–12.

36. DiVito EE, Colonna MP, Olivi G. The photoacoustic efficacy of an Er:YAG laser with radial and stripped tips on root canal dentin walls: an SEM evaluation. J Laser Dent 2011;19(1):156-61.

37. Jaramillo DE, Aprecio RM, Angelov N, DiVito E, McClammy TV. Efficacy of photon induced photoacoustic streaming (PIPS) on root canals infected with Enterococcus faecalis: a pilot study. Endod Prac. 2012;5(3):28-33.

38. Verstraeten J, Jacquet W, De Moor RJG, Meire MA. Hard tissue debris removal from the mesial rootcanal system of mandibular molars with ultrasonically and laser-activated irrigation: a micro-computed tomography study. Lasers Med Sci. 2017;32(9):1965–70.

39. Lukač N, Jezeršek M. Amplification of pressure waves in laser-assisted endodontics with synchronized delivery of Er:YAG laser pulses. Lasers Med Sci. 2018;33(4), 823–33.

40. Suk M, Bago I, Katić M, Šnjarić D, Munitić MŠ, Anić I. The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming in the removal of calcium silicate-based filling remnants from the root canal after rotary retreatment. Lasers Med Sci. 2017;32(9): 2055–62.

41. Lukac N, Tasic Muc B, Jezersek M, Lukac M. Photoacoustic endodontics using the novel SWEEPS Er:YAG laser modality. J LA&HA. 2017:1-5.

42. Lukac N, Gregorcic P, Jezersek M. Optodynamic phenomena during laser-activated irrigation within root canals. Int J Thermophys. 2016;37(7):1-8.

43. Jezeršek M, Jereb T, Lukač N, Tenyi A, Lukač M, Fidler A. Evaluation of apical extrusion during novel Er:YAG laser-activated irrigation modality. Photobiomodul Photomed Laser Surg. 2019;37(9):544-50.

44. Snjaric D. Apical irrigant extrusion during laser-activated irrigation compared to conventional endodontic irrigation regimens - preliminary study results. J LA&HA. 2016;1:1-6.

45. Virdee SS, Seymour DW, Farnell D, Bhamra G, Bhakta S. Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. Int Endod J. 2018;51(6):605–21.

46. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. J Endod. 2010;36(8):1361–6.

47. Gołąbek H, Borys KM, Kohli MR, Brus-Sawczuk K, Strużycka I. Chemical aspect of sodium hypochlorite activation in obtaining favorable outcomes of endodontic treatment: An in-vitro study. Adv Clin Exp Med. 2019 [Epub ahead of print]. doi: 10.17219/acem/104523.

48. Gregorcic P, Jezersek M, Mozina J. Optodynamic energy conversion efficiency during an Er:YAG-laser pulse delivery into a liquid through different fiber-tip geometries. J Biomed Opt. 2012;17(7): 5-10.

9. ŽIVOTOPIS

Ivana Hlebec rođena je 20. 3. 1995. u Čakovcu, gdje je završila Drugu osnovnu školu i opći smjer Gimnazije Josipa Slavenskog. 2013. godine polaže državnu maturu i upisuje studij Dentalne medicine na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.