

Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Adriana Đurin, Debora Kanižaj

ISPITIVANJE UČINKOVITOSTI LASERSKI AKTIVIRANOG FOTOAKUSTIČNOG
STRUJANJA U ČIŠĆENJU ISTMUSA DONJIH MOLARA

Zagreb, 2022.

Ovaj rad je izrađen na Zavodu za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u suradnji sa Zavodom za patologiju Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv.prof.dr.sc. Ivone Bago i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2021./2022.

Istraživanje je provedeno i financirano u sklopu znanstvenog projekta Hrvatske zaklade za znanost br. 5303 “Eksperimentalno i kliničko istraživanje laserski aktiviranog fotoakustičnog strujanja i fotoaktivirane dezinfekcije u endodontskom liječenju”.

KRATICE I OZNAKE

CBCT – Kompjuterska tomografija s konusnim zrakama (engl. Cone-Beam Computed Tomography)

EDTA – etilendiaminotetraoctena kiselina

Er:YAG - erbij:itrij-aluminij garnet

Er,Cr:YSGG - erbij-kromij: itrij-skandij-galij garnet

KI – konvencionalno ispiranje

LAI – laserski aktivirano ispiranje

NaOCl – natrijev hipoklorit

UI –ultrazvučno ispiranje

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	3
3. MATERIJALI I METODE	4
3.1 Odabir uzoraka za istraživanje	4
3.2 Priprema uzoraka za istraživanje	6
3.3 Završno ispiranje korijenskih kanala	7
3.4 Histološka analiza uzoraka	8
3.5 Statistička analiza rezultata	9
4. REZULTATI	10
5. RASPRAVA	14
6. ZAKLJUČAK	17
7. ZAHVALE	18
8. LITERATURA	19
9. SAŽETAK	24
10. SUMMARY	26

1. UVOD

Svrha endodontskog liječenja je uklanjanje nekrotičnog pulpnog sadržaja i bakterija iz endodontskog prostora zuba te njegovo punjenje biokompatibilnim materijalima kako bi se spriječila reinfekcija (1, 2). Potpuno uklanjanje inficiranog sadržaja je otežano zbog složene anatomije endodontskog prostora (lateralni kanali, apikalna delta, intrakanalna proširenja i suženja, istmus) (3). Poznato je da, nakon mehaničke obrade korijenskog kanala, 35-45% intrakanalnog dentina ostaje neobrađeno i prekriveno bakterijskim biofilmom i inficiranim debrisom (3-5). Najkritičnije područje za čišćenje je apikalnih 3-4 mm korijenskog kanala gdje ostaci inficiranog materijala mogu uzrokovati perzistirajući periapikalnog proces ili pojavu novog periapikalnog procesa (6). U apikalnoj trećini korijenskog kanala, unutar 2-4 mm od apikalnog otvora, često se nalazi istmus. Istmus je uska komunikacija između dva kanala u istom korijenu zuba (7) u kojem se nakuplja bakterijski biofilm i inficirani debris (8). Incidencija pojavnosti istmusa vrlo je visoka kod mezijalnih korijena donjih kutnjaka: u 56,5% žena i 45,6% muškaraca (9, 10). Istmus je problematično područje za čišćenje zbog male dimenzije (11) i posljedično otežane mehaničke obrade (12). Zbog toga je kemijska obrada istmusa sredstvima za ispiranje jedina mogućnost čišćenja složene anatomije u apikalnoj trećini korijenskog kanala (12).

Tehnikom konvencionalnog ispiranja kanala špricom i iglom (KI) ne možemo kvalitetno očistiti apikalne i složene dijelove endodontskog prostora (13) zbog ograničenog dopiranja irigansa (samo 1 mm) od vrha igle (14), velike površinske napetosti natrij hipoklorita (NaOCl) i zarobljavanja mjehurića zraka u apikalnoj trećini kanala (tzv. „apical vapour lock effect“) koji sprječava dopiranje irigansa u taj dio kanala (15). Zbog toga se preporučuje primjena aktivacijskih sustava za ispiranje korijenskih kanala (16, 17). Ultrazvučno ispiranje (UI) se smatra „zlatnim standardom“ u aktivacijskom ispiranju te se svaka nova tehnika ispiranja uspoređuje s njom (18). Tijekom UI-a, specijalno dizajnirani ultrazvučni nastavci titraju ultrazvučnom frekvencijom te stvorena energija uzrokuje stvaranje kavitacija i zvučnih strujanja unutar aktiviranog irigansa (19). Prema

istraživanjima, UI uzrokuje dublji prodor irigansa u apikalnu trećinu kanala naspram KI-a (20, 21). Međutim, još nema jasnog zaključka o superiornosti UI-a naspram KI-a u uklanjanju pulpnog tkiva i biofilma iz apikalne trećine korijenskog kanala i istmusa (12, 22, 23). Također, UI ima ograničeno djelovanje u području istmusa (24).

Laserski aktivirano ispiranje (LAI) je tehnika aktivacijskog ispiranja koja se temelji na interakciji energije erbij lasera (erbij:itrij-aluminij garnet, Er:YAG i erbij-kromij: itrij-skandij-galij garnet, Er,Cr:YSGG) i irigansa pri čemu nastaje fototermičko i fotomehaničko djelovanja unutar irigansa uzrokujući stvaranje kavitacijskih i udarnih valova (25). Pojava kavitacija ovisi o valnoj duljini i fizikalnim parametrima lasera (energija, duljina laserskog pulsa, frekvencija, vrijeme djelovanja). Emisija fotoakustičnog strujanja pojačanog udarnim valovima (engl. Shock Wave Enhanced Emission Photo-acoustic Streaming, SWEEPS) najnovija je tehnika LAI- koja se istražuje posljednjih nekoliko godina (26). Zapravo je riječ o modu rada Er:YAG lasera kod kojeg emisija zračenja vrlo niske energije (20 mJ), u ultrakratkim parovima pulseva (25 μ s) određene frekvencije (15 Hz) uzrokuje visoku vršnu snagu pulsa od 800 W te posljedično specifičnu snažnu interakciju s irigansom u obliku jakih primarnih i sekundarnih kavitacija i udarnih valova (27, 28). Dosad je objavljeno više *in vitro* i *ex vivo* istraživanja SWEEPS tehnike u endodontskom liječenju zuba: za uklanjanje intrakanalnog debrisa, otapanje i uklanjanje bakterijskog biofilma, u reviziji (22, 28, 29). Tehnika SWEEPS je sigurna tehnika za endodontsko liječenje koja uzrokuje mali stupanj postoperativne boli kod pacijenata (30). U nedavnom *ex vivo* istraživanju Bago i sur. (22), SWEEPS tehnika pokazala je visoku učinkovitost u uklanjanju pulpnog tkiva kod jednokorijenskih zuba, te je bila učinkovitija od UI-a. Prema našim saznanjima, u literaturi još nema podataka o učinkovitosti i opravdanosti primjene SWEEPS tehnike u čišćenju složene anatomiji endodontskog prostora.

2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Svrha ovog, *ex vivo*, istraživanja bila je ispitati učinkovitost SWEEPS tehnike u uklanjanju pulpnog tkiva iz područja istmusa donjih molara nakon kemo-mehaničke obrade korijenskih kanala, te ju usporediti s UI-em i KI-em.

Nulta hipoteza istraživanja je da neće biti razlike između SWEEPS tehnike, UI-a i KI-a u uklanjanju pulpnog tkiva iz područja istmusa donjih molara nakon kemo-mehaničke obrade korijenskih kanala.

Radna hipoteza je da će SWEEPS tehnika biti učinkovitija od UI-a i KI-a u uklanjanju ostataka pulpnog tkiva iz područja istmusa donjih molara nakon kemo-mehaničke obrade korijenskih kanala.

3. MATERIJALI I METODE

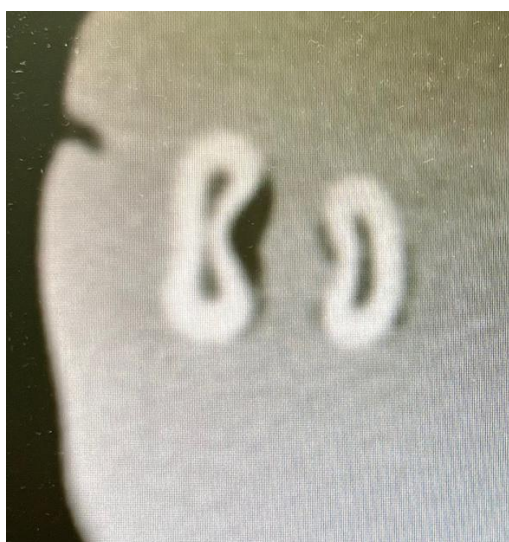
3.1 Odabir uzoraka za istraživanje

Etičko povjerenstvo Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu odobrilo je provođenje ovog istraživanja pod rednim brojem 05-PA-30-IV-1/2022.

U ovom istraživanju korišteno je 37 izvađenih humanih donjih molara s istmusom u mezijalnom korijenu, koji su izabrani iz skupine od 103 izvađenih humanih molara prikupljenih u periodu od rujna 2021. do travnja 2022. godine na Zavodu za oralnu kirurgiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Korijenovi zuba bili su u potpunosti razvijeni, bez znakova interne ili eksterne resorpcije, karijesa korijena i nisu bili prethodno endodontski liječeni. Izvađeni zubi su nakon vađenja pohranjeni u 10%-tnoj otopini formaldehida (Zavod za oralnu medicinu Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Republika Hrvatska) kako bi se očuvao organski materijal zuba. Svi prikupljeni molari (n=103) snimani su na CBCT-u (*engl. Cone-beam Computed Tomography*) (polje, 5 mm × 5 mm; ENDO mod, 85 μm; 6.3 mA; 90 kV; 8.7 s; 450.3 mGycm²) (Cranex 3DX, Soredex, Tusula, Finland) te su izabrani uzorci koji imaju istmus između meziobukalnog i meziolingvalnog kanala (Slika 1 i 2). Na snimci je određen položaj istmusa između kanala te je klasificirana anatomija kanala (Vertucci klasifikacija) (32) ovisno o tome je li se kanali spajaju u apikalnom dijelu (Vertucci tip II) ili izlaze svaki sa svojim apikalnim otvorom (Vertucci tip IV). Nakon selekcije uzoraka, svaki uzorak pohranjen je u svoju bočicu s 10%-om otopinom formaldehida (PHD bočica HistoPot, Serosep, Irska).



Slika 1. Presjek CBCT snimke koja je snimana u ENDO modu s tri uzorka donjeg molara



Slika 2. Poprečni presjek reprezentativnog uzorka donjeg molara koji prikazuje istmus između meziobukalnog i meziolingvalnog kanala

3.2 Priprema uzoraka za istraživanje

Parodontni ligament i kamenac na korijenovima zuba uklonjeni su zvučnim uređajem s nastavkom veličine #60 (KaVo SONICflex, Biberach an der Riss, Njemačka). Prikupljeni uzorci trepanirani su te je izrađen tradicionalan trepanacijski otvor (33) fisurnim dijamantnim svrdlom br. 012 (Komet, Rock Hill, SC, SAD) uz vodeno hlađenje. Trepaniran je samo mezijalni dio krune zuba dok je distalni dio dodatno zatvoren tekućim kompozitom (G-aenial Universal Injectable, GC, Tokyo, Japan) kako bi se fizički izolirao od mezijalnog dijela krune zuba. Distalni kanal služio je kao kontrola mezijalnom kanalu (nije instrumentiran niti ispiran) u svrhu potvrde postojanja tkiva u zubu. Prohodnost korijenskih kanala osigurana je ISO ručnim endodontskim proširivačima veličine #10 (C-Pilot, VDW, München, Njemačka). Radna duljina je postavljena na vrijednost 0,5 mm kraću od duljine dobivene kada je instrument bio vidljiv na apikalnom otvoru zuba pomoću lupa (4,5 x povećanje, Orascoptic, Madison SAD). Radna duljina je standardizirana na 20 mm skraćivanjem kvržica zuba dijamantnim fisurnim svrdlom br. 012 (Komet) uz vodeno hlađenje. Kako bi se osigurao zatvoreni sustav, zubi su uloženi u silikonsku masu (GC Exaflex putty, GC, Tokyo, Japan).

Meziobukalni i meziolingvalni korijenski kanal instrumentirani su recipročnim instrumentom Wave One Gold Primary (25/07) (Dentsply Sirona Endodontics, Ballaigues, Switzerland) do pune radne duljine. Za instrumentaciju je korišten motor X-Smart (Dentsply Sirona) podešen na WAVE ONE GOLD recipročni mod rada. Svaki korijenski kanal instrumentiran je tehnikom „multi passing“, odnosno instrument je napredovao unutar kanala pokretima unutra-van amplitude 3-4 mm. Nakon svakog napredovanja, instrument je izvađen iz kanala i očišćen sterilnom gazom, koja je bila namočena 3%-om otopinom natrij hipoklorita (NaOCl) (TTT d.o.o., Sveta Nedjelja, Hrvatska). Kanal je potom ispran otopinom 3% NaOCl-a te je provjerena prohodnost kanala proširivačem veličine #10 (VDW). Instrumentacija svakog korijenskog kanala je standardizirana te je trajala između 20 i 25 sekundi. Jedan istraživač je proveo instrumentaciju na svim uzorcima. Uvijek je prvo instrumentiran meziolingvalni kanal te potom meziobukalni kanal. Nakon što je postignuta radna duljina s

instrumentom, instrument je četiri puta dosegnuo radnu duljinu te je tada obrada kanala smatrana završenom. Tijekom instrumentacije, svaki kanal je ispran s 3 mL 3% NaOCl 31-G iglom (Steri Irrigation Tips, DiaDent, Nizozemska) i špricom od 2 mL.

3.3 Završno ispiranje korijenskih kanala

Nakon instrumentacije korijenskih kanala, svaki uzorak je raspoređen u jednu od eksperimentalnih skupina završnog protokola ispiranja tako da je u svakoj skupini bio sličan broj uzoraka s Vertucci klasifikacijom II i IV.

Skupina 1. SWEEPS: Tehnika fotoakustičnog strujanja pojačanog udarnim valovima (n=10)

Korijenski kanali su ispirani NaOCl-om i etilendiaminotetraocetnom kiselinom (EDTA) (Calsinase, Dettenhausen, Njemačka) sljedećim protokolom: 3 mL 3% NaOCl tijekom 30 s 31G iglom s bočnim otvorom i špricom (Sterri Irrigation Tips, DiaDent, Nizozemska), nakon čega je NaOCl ostavljen u kanalu sljedećih 30 s (tzv. "resting time") te potom aspiriran iz kanala 31-G iglom i špricom od 2 mL (Steri Irrigation Tips). Kanal je zatim ispiran s 3 mL EDTA-a tijekom 3x20s s pauzama od 5 s između. Završno je kanal ispiran s 2 mL 3% NaOCl-a tijekom 30 s.

Svaki irigans je kontinuirano tijekom injiciranja u trepanacijski otvor s 31G iglom (Sterri Irrigation Tips, DiaDent; Nizozemska), koja je bila postavljena u trepanacijskom kavitetu, istovremeno aktiviran radijalan laserskim nastavkom (promjer: 400 μm) Er:YAG lasera (LightWalker AT, Fotona, Ljubljana, Slovenija). Korišten je mod AutoSWEEPS uz sljedeće fizikalne parametre: energija pulsa 20 mJ, frekvencija 15 Hz, vrijeme trajanja pulsa 25 μs , vršna snaga pulsa 800 W, gustoća energije (engl. Fluence) 4 J/cm². Tijekom aktivacije, laserski nastavak je nepomično pozicioniran u trepanacijskom kavitetu.

Skupina 2. Ultrazvučno ispiranje (UI), n=10

Korijenski kanali ispirani su prema protokolu opisanom za Skupinu 1 (prvi odjeljak). Tijekom ispiranja, irigansi su aktivirani ultrazvučnim nastavkom ISO 10 (VDW Endo Ultrasonic Irrisafe, München, Njemačka) s VDW Ultra® sustavom (VDW GmbH), uz kratke vertikalne pomake unutar - van (amplituda 2–3 mm). Ultrazvučni nastavak je postavljen unutar kanala 2 mm kraće od izmjerene radne duljine.

Skupina 3. Konvencionalno ispiranje iglom i špricom (KI), n=10

Korijenski kanali ispirani su prema protokolu opisanom za skupinu 1 (prvi odjeljak) bez dodatne aktivacije.

Skupina 4. Kontrolna skupina, n=7

U kontrolnoj skupini, nakon trepanacije, kanali nisu instrumentirani, niti ispirani. Trepanacijski otvor je ispunjen 10%-om otopinom formaldehida te vraćen u PHD bočicu.

Nakon završnog protokola ispiranja, u kanale svakog uzorka je unesena 10% otopina formaldehida pomoću 31G igle (Sterri Irrigation Tips) i šprice te je uzorak vraćen u PHD bočicu s formaldehidom. Kod skupine 1, 2 i 3, mezijalni i distalni korijenovi s krunom su razdvojeni dijamantrnim diskom (Edenta, Schaanwald, Liechtenstein) te su uzorci vraćeni u PHD bočicu. Uzorci su potom poslani na histološku analizu na Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

3.4 Histološka analiza uzoraka

Nakon postupka demineralizacije, uzorci su fiksirani 10% puferiranim formalinom tijekom 48 sati na 4 °C i dekalificirani 22,5% otopinom mravlje kiseline i 10% otopinom natrijevog citrata tijekom 3-4 tjedna. Dekalcificirani zubi poprečno su prerezani na prethodno određenoj lokaciji temeljem podataka dobivenih na CBCT snimkama (oko 3-4 mm od apeksa). Uzorci su ispirani u vodi, dehidrirani u rastućoj koncentraciji etanola, očišćeni ksilenom i stavljeni u parafin. Iz odrezanog

apikalnog segmenta korijena dobiveni su rezovi debljine šest mikrometara i obojeni hematoksilin-eozinom. Nakon toga, uzorci su histološki ispitani pod svjetlosnim mikroskopom (Olympus BX50, mikroskop BX serije, Olympus). Uzorke je procijenila osoba slijepa na provedene metode liječenja. Morfometrijska analiza provedena je pomoću softvera za analizu slike; izračunata je ukupna površina korijenskog kanala i površina zaostalog tkiva. Postotak preostalog tkiva (u %) izračunat je dijeljenjem površine preostalog tkiva s ukupnom površinom korijenskog kanala.

3.5 Statistička analiza rezultata

Prvo je provedena ANOVA analiza, međutim pretpostavka o homogenosti je promašena te su rezultati dobiveni korištenjem neparametrijskog Kruskal-Wallisovog testa. Sve P vrijednosti manje od 0,05 smatrane su značajnima. Za statističku analizu, korišten je program SPSS (version 23.0; IBM, Armonk, NY).

4. REZULTATI

Analiza površine lumena kanala i istmusa nije pokazala značajne razlike između uzoraka testiranih skupina ($p > 0,05$), što upućuje na pravilnu distribuciju uzoraka između skupina.

Tablica 1. pokazuje vrijednosti zaostalog pulpnog tkiva (u %) u regiji istmusa.

Tehnika SWEEPS je bila najučinkovitija u uklanjanju zaostalog pulpnog tkiva iz regije istmusa od UI-a i KI-a ($p = 0,003$, $0,014$). UI i KI nisu pokazali značajnu razliku u uklanjanju zaostalog pulpnog tkiva iz regije istmusa ($p = 0,646$). U skupini SWEEPS, kod dva uzorka nije otkriveno zaostalo pulpno tkivo.

Tablica 1. Zaostalo pulpno tkivo (%) u regiji istmusa nakon kemomehaničke obrade korijenskog kanala

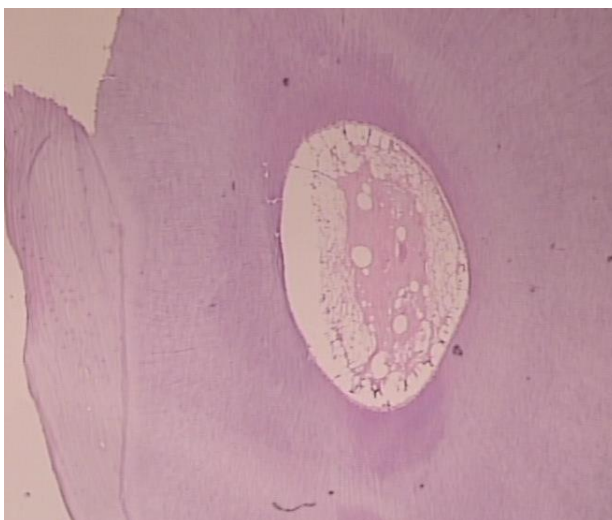
Skupina	Srednja vrijednost	SD	Minimum	Maksimum	Median
SWEEPS	3,17	2,58	0	7,43	2,88
PUI	13,9	7,13	0,16	20,67	17,56
KI	11,81	7,31	5,32	28,23	11,02
Kontrolna skupina	42,56	4,34	38,45	49,54	45,54

SWEEPS- Emisija fotoakustičnog strujanja pojačanog udarnim valovima (engl. Shock Wave Enhanced Emission Photo-acoustic Streaming)

PUI- pasivno ultrazvučno ispiranje

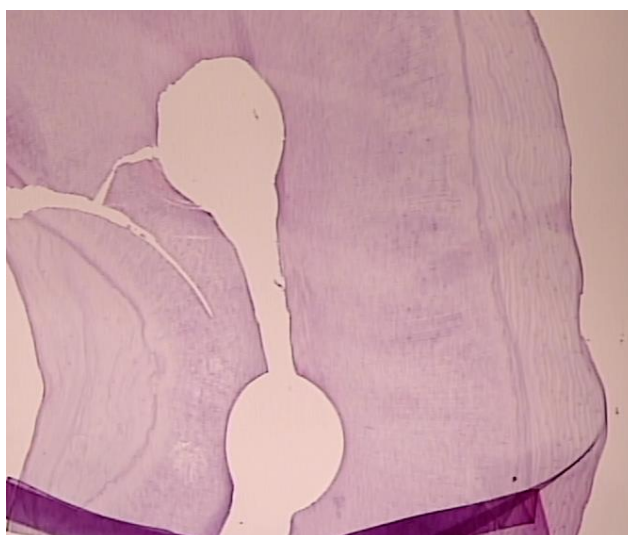
KI – konvencionalno ispiranje

Slika 3. prikazuje reprezentativni histološki presjek distalnog kanala koji je bio kontrola prisutnog pulpnog tkiva u svakom uzorku. Kod svakog eksperimentalnog uzorka distalni kanal je imao prisutno pulpno tkivo

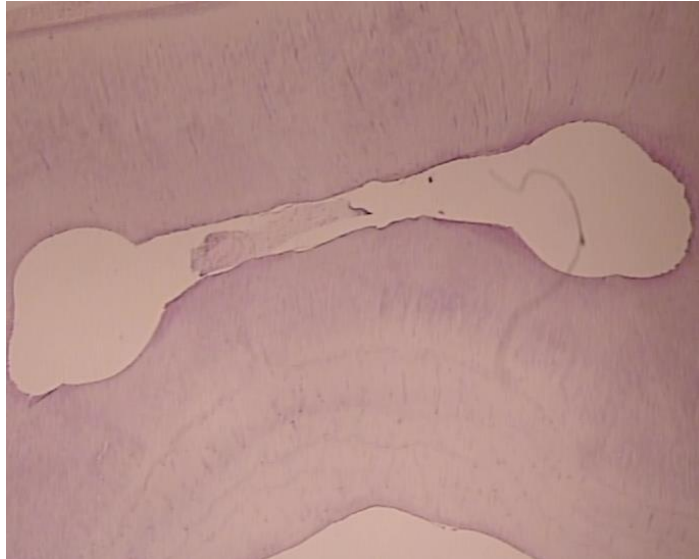


Slika 3. Histološki presjek (povećanje 4x) distalnog korijena s kanalom: vidljivo je pulpno tkivo unutar lumena kanala

Slike 4., 5. i 6. prikazuju histološke presjeke iz regije istmusa korijenskih kanala u eksperimentalnim skupinama SWEEPS, UI-a i KI-a. U skupini SWEEPS (Slika 4), kod dva uzorka nije otkriveno zaostalo pulpno tkivo. Slika 7. prikazuje histološki presjek reprezentativnog uzorka kontrolne skupine koji pokazuje prisutno pulpno tkivo u istmusu i oba korijenska kanala.



Slika 4. Histološki presjek (povećanje 4x) regije istmusa mezijalnog korijena donjeg molara kod reprezentativnog uzorka skupine SWEEPS



Slika 5. Histološki presjek (povećanje 4x) regije istmusa mezijalnog korijena donjeg molara kod reprezentativnog uzorka skupine ultrazvučnog ispiranje : vidljivi su ostaci pulpnog tkiva u istmusu između dva kanala



Slika 6. Histološki presjek (povećanje 4x) regije istmusa mezijalnog korijena donjeg molara kod reprezentativnog uzorka skupine konvencionalnog ispiranja : vidljivi su ostaci pulpnog tkiva u istmusu između dva kanala i djelomično unutar lumena kanala



Slika 7. Histološki presjek (povećanje 4x) regije istmusa mezijalnog korijena donjeg molara kod reprezentativnog uzorka kontrolne skupine: vidljivi su ostaci pulpnog tkiva u istmusu između dva kanala i unutar lumena kanala. Vidljivi lateralni kanali s pulpnim tkivom.

5. RASPRAVA

Apikalni dio korijenskog kanala predstavlja najsloženiji dio endodontskog prostora zuba te je zbog toga kritično područje za kvalitetno čišćenje i dezinfekciju (5, 13). U tom području kod donjih molara nalazimo visoku incidenciju istmusa (u 78,4% slučajeva) (5), koji je teško dostupan za mehaničko čišćenje i dezinfekciju zbog čega može, ukoliko ostane neočišćen, povećati rizik od neuspjeha endodontskog liječenja zuba (34, 35). Nedavna istraživanja pokazala su da se tijekom strojne obrade korijenskih kanala, i usprkos konvencionalnom ispiranju, područje istmusa (oko 35% volumena) začepљуje natrpanim pulpnim tkivom i debrisom (36). Navedeno upućuju na važnost irigacijskih protokola i tehnika, koje trebaju osigurati dopremanje irigansa u složenu anatomiju regije istmusa i njegovo aktivno djelovanje u otapanju i lomljenju organskog materijala i bakterijskog biofilma (37). Cilj ovog istraživanja je bio ispitati najnoviji sustav aktivacijskog ispiranja SWEEPS, koji se temelji na energiji Er:YAG lasera, u uklanjanju pulpnog tkiva iz regije istmusa mezijalnog korijena donjih molara, te ga usporediti s KI-em i sa „zlatnim standardom“ u aktivacijskom ispiranju, UI-em. Učinkovitost navedenih tehnika ispitivana je nakon mehaničke obrade korijenskih kanala jednim recipročnim instrumentom, tzv. „single file“ tehnike instrumentacije kanala.

Rezultati istraživanja pokazali su da je SWEEPS tehnika najučinkovitija u otapanju i uklanjanju pulpnog tkiva iz regije istmusa od ostalih tehnika. Time je odbačena nulta hipoteza istraživanja. Također, u dva uzorka regija istmusa je bila kompletno očišćena, dok je u ostalim uzorcima količina ostatnog tkiva bila između 1,3-7,4%. Prema našim saznanjima, ovo je prvo istraživanje dosad objavljeno, koje je ispitivalo učinkovitost SWEEPS tehnike u uklanjanju pulpnog tkiva iz regije istmusa. U nedavno objavljenom radu Bago i sur. (22), SWEEPS tehnika je bila učinkovitija od KI-a i UI-a u uklanjanju ostataka pulpnog tkiva iz apikalne regije ravnih okruglih kanala nakon strojne recipročne tehnike obrade kanala. Yang i sur. (29) ispitivali su učinkovitost SWEEPS tehnike u uklanjanju anorganskog debrisa iz regije istmusa donjih molara te zaključili da je tehnika učinkovitija (smanjenje od 84,3%) od UI-a (smanjenje 50,27%) i tehnike foton inicirajućeg

fotoakustičnog strujanja (engl. Photon Initiated Photoacoustic Streaming, PIPS) (smanjenje 58,79%). Visoka učinkovitost SWEEPS-a u čišćenju složene apikalne anatomije korijenskih kanala može se objasniti utjecajem Er:YAG lasera na povećanje kemijskog djelovanja (otapanja) NaOCl-a (38, 39) i povećanjem snage strujanja irigansa koji tada bolje prodire u manja područja apikalne regije i tako otplavljuje zaostatni materijal (26, 37, 40). Već je dokazano da SWEEPS uzrokuje bolje prodiranje irigansa u dentinske tubuluse (26). Prednost SWEEPS tehnike u odnosu na prethodne tehnike Er:YAG LAI kao što je PIPS je emisija parova pulseva (tzv. „dual pulse mode“) i vrlo visoka vršna snaga pulsa od 800 W koja je rezultat ultrakratkih pulseva od 25 μ s i laserskog nastavka promjera 400 μ m. Također, u nedavnom radu Jezeršek i sur. (40) dokazano je da je AutoSWEEPS mod rada Er:YAG lasera za 50% učinkovitiji od standardnog SSP („super short pulse“) moda Er:YAG lasera, koji se koristi kod PIPS tehnike, u stvaranju intrakanalnih tlakova. U ovom istraživanju također je korišten AutoSWEEPS mod rada, koji osigurava amplifikaciju udarnih valova unutar irigansa jer se pulsne zrake emitiraju u odgovarajućem vremenskom razmaku ovisno o tome koliko traje oscilirajući period primarnog stvorenog mjehurića irigansa (28, 41). Naime, tijekom emisije laserskog zračenja u irigansu, na vrhu laserskog fiberoptičkog nastavka formira se primarni mjehurić ispunjen parom. Mjehurić ekspandira te prije nego kolabira, drugi laserski puls izazove dodatnu kavitaciju te kao rezultat nastaju snažne kavitacije i udarni valovi unutar irigansa (40). U ovom istraživanju nismo uspoređivali SWEEPS tehniku s prethodnim tehnikama Er:YAG LAI-a, što bi mogla biti tema budućih istraživanja. Na taj način ćemo dobiti jasniju sliku djelovanja SWEEPS tehnike i njezinog opravdanog uključanja u završni protokol ispiranja korijenskih kanala.

Rezultati ovog istraživanja nisu pokazali razliku između UI-a i KI-a u uklanjanju pulpnog tkiva iz regije istmusa, čime je potvrđena nulta hipoteza. Nakon tehnike UI-a, u regiji istmusa zaostalo je između 6,7-20,6% pulpnog tkiva dok je nakon KI-a bilo između 5,9 – 28,2% ostatnog tkiva. Ovi rezultati u skladu su s nedavno objavljenim rezultatima Bago i sur. (22), u kojem također nije bilo razlike u učinkovitosti između UI-a i KI-a u uklanjanju ostataka pulpnog tkiva iz ravnih okruglih

kanala nakon „single file“ instrumentacije. Nadalje, Iandolo i sur. (12) su u nedavnom istraživanju promatrali preostalo pulpno tkivo u istmusu nakon nekoliko protokola ispiranja, uključujući UI i KI, te su pokazali da niti jedna od tehnika nije u potpunosti otopila pulpno tkivo, te je ono ostalo unutar istmusa i udubljenih područja korijenskog kanala. U preglednom radu da Silva i sur. (42) zaključeno je da UI-a i KI-a imaju sličnu antimikrobnu učinkovitost tijekom endodontskog liječenja. Suprotno navedenim rezultatima, u dva prethodna histološka istraživanja (13, 43), UI je bilo učinkovitije od KI-a u uklanjanju ostataka pulpnog tkiva nakon mehaničke obrade ravnih kanala. Temeljem dobivenih rezultata i u okvirima ovog istraživanja možemo zaključiti da je tehnika UI imala svoja ograničenja u ovom istraživanju. Može se pretpostaviti da je kontakt ultrazvučnog nastavka sa stijenkama dentina tijekom aktivacije ograničio puni učinak ultrazvučne aktivacije, stoga ova tehnika zahtijeva dodatno proširenje korijenskog kanala kako bi se omogućilo slobodno kretanje instrumenata (44). U ovom istraživanju, kanali su bili prošireni do veličine 25/07 (Wave One Gold Primary) te bi buduća istraživanja trebala ispitati učinkovitost UI-a u mezijalnim kanalima instrumentiranih do veće veličine.

6. ZAKLJUČAK

U okvirima ovog istraživanja, SWEEPS tehnika je bila najučinkovitija u uklanjanju ostataka pulpnog tkiva iz regije istmusa u mezijalnom korijenu donjih molara nakon kemo-mehaničke obrade korijenskih kanala. Tehnike UI-a i KI-a pokazale su sličnu, ali slabiju učinkovitost.

7. ZAHVALE

Zahvaljujemo se našoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Ivoni Bago, na njenoj ljubaznosti i ukazanom povjerenju, prenesenom znanju i savjetima, te trudu uloženom na provođenju ovog istraživanja.

Zahvaljujemo se prof. dr. sc. Lovorki Batelji-Vuletić sa Zavoda za patologiju Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu za pomoć u provođenju histološkog dijela analize.

8. LITERATURA

1. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endod.* 2009;35(7):1044–47.
2. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* 2014;216(6):299–303.
3. 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):1–6.
4. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by microcomputed tomography. *Int Endod J.* 2001;34(3):221–30.
5. Siqueira JF, Pérez AR, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Silva SG, Pires FR, et al. What happens to unprepared root canal walls: A correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. *Int Endod J.* 2018;51(5):501–8.
6. Lacerda MFLS, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Provenzano JC, Neves MAS, Pires FR, et al. Cleaning and shaping oval canals with 3 instrumentation systems: A correlative micro-computed tomographic and histologic study. *J Endod.* 2017;43(11):1878-84.
7. Weller RN, Niemczyk SP, Kim S. Incidence and position of the canal isthmus. Part 1. Mesiobuccal root of the maxillary first molar. *J Endod.* 1995;21(7):380-3.
8. Nair PN, Henry S, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;99(2):231-52.
9. de Pablo OV, Estevez R, Peix Sanchez M, Heilborn C, Cohenca N. Root anatomy and canal configuration of the permanent mandibular first molar: a systematic review. *J Endod.* 2010;36(12):1919–31.

10. Dastgerdi A, Navabi M, Rakhshan V. Isthmuses, accessory canals, and the direction of root curvature in permanent mandibular first molars: an in vivo computed tomography study. *Restor Dent Endod.* 2020;45(1): e7.
11. Paque F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by highresolution computed tomography scans. *J Endod* 2009;35(7):1044–7.
12. Iandolo A, Amato M, Abdellatif D, Barbosa AFA, Pantaleo G, Blasi A, et al. Effect of different final irrigation protocols on pulp tissue dissolution from an isthmus model. *Aust Endod J.* 2021;47(3):538-43.
13. Lee OYS, Khan K, Li KY, Shetty H, Abiad RS, Cheung GSP, et al. Influence of apical preparation size and irrigation technique on root canal debridement: a histological analysis of round and oval root canals. *Int Endod J.* 2019;52(9):1366-76.
14. Abarajithan M, Dham S, Velmurugan N, Valerian-Albuquerque D, Ballal S, Senthilkumar H. Comparison of endovac irrigation system with conventional irrigation for removal of intracanal smear layer: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Pral Radiol Endod.* 2011;112(3):407-11.
15. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389-98.
16. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *J Endod.* 2009;35(6):891–5.
17. Gu L, Kim J, Ling J, Choi K, Pashley HD, Tay RF. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35(6):791-804.
18. Boutsoukis C, Arias-Moliz MT. Present status and future directions - irrigants and irrigation methods. *Int Endod J.* 2022;55 Suppl 3:588-612.
19. Van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J.* 2007;40(6):415-26.

20. Galler KM, Grubmüller V, Schlichting R, Widbiller M, Eidt A, Sculler C, et al. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *Int Endod J*. 2019;52(8):1210–7.
21. Căpută PE, Retsas A, Kuijk L, Chávez de Paz LE, Boutsoukis C. Ultrasonic irrigant activation during root canal treatment: a systematic review. *J Endod*. 2019;45(1):31–44.
22. Bago I, Batelja-Vuletić L, Tarle A, Sesar A, Anić I. Novel laser activated photoacoustic streaming for removing pulp remnants from round root canals after single file reciprocating instrumentation. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2022;37:102631.
23. Villalta-Briones N, Baca P, Bravo M, Solana C, Aguado-Pérez B, Ruiz-Linares M, et al. A laboratory study of root canal and isthmus disinfection in extracted teeth using various activation methods with a mixture of sodium hypochlorite and etidronic acid. *Int Endod J*. 2021;54(2):268-78.
24. Neelakantan P, Devaraj S, Jagannathan N. Histologic assessment of debridement of the root canal isthmus of mandibular molars by irrigant activation techniques ex vivo. *J Endod*. 2016;42(8):1268-72.
25. 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.
26. Lukač M, Olivi G, Constantin M, Lukač N, Jezeršek M. Determination of optimal separation times for dual-pulse SWEEPS laser-assisted irrigation in different endodontic access cavities. *Lasers Surg Med*. 2021;53(7):998-1004.
27. Lukač N, Tasic Muc B, Jezersek M, Lukac M. Photoacoustic endodontics using the novel SWEEPS Er:YAG laser modality. *J LA&HA*. 2017:1-5.
28. Bago I, Plotino G, Katić M, Ferenac A, Kapetanović Petričević G, Gabrić D, Anić I. Effect of a novel laser-initiated photoacoustic activation of a solvent or sodium hypochlorite in the removal of filling remnants after retreatment of curved root canals. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2021;36:102535.

29. Yang Q, Liu MW, Zhu LX, Peng B. Micro-CT study on the removal of accumulated hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach. *Int Endod J.* 2020;53(4):529-38.
30. Erkan E, Gündoğar M, Uslu G, Özyürek T. Postoperative pain after SWEEPS, PIPS, sonic and ultrasonic-assisted irrigation activation techniques: a randomized clinical trial. *Odontology.* 2022. doi: 10.1007/s10266-022-00700-0. Epub Ahead of Print.
31. Yin X, Chang JWW, Wang Q, Zhang C, Wang X. Three-dimensional morphologic classifications and analysis of canal isthmuses in permanent molars. *Surg Radiol Anat.* 2021;43(11):1793-9.
32. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1984;58(5):589-99.
33. Shabbir J, Zehra T, Najmi N, Hasan A, Naz M, Piasecki L, et al. Access cavity preparations: Classification and literature review of traditional and minimally invasive endodontic access cavity designs. *J Endod.* 2021;47(8):1229-44.
34. Dastgerdi A, Navabi M, Rakhshan V. Isthmuses, accessory canals, and the direction of root curvature in permanent mandibular first molars: an in vivo computed tomography study. *Restor Dent Endod.* 2020;45(1):e7.
35. Villalta-Briones N, Baca P, Bravo M, Solana C, Aguado-Pérez B, Ruiz-Linares, et al. A laboratory study of root canal and isthmus disinfection in extracted teeth using various activation methods with a mixture of sodium hypochlorite and etidronic acid. *Int Endod J.* 2021;54(2):268-78.
36. Endal U, Shen Y, Knut A, Gao Y, Haapasalo M. A high-resolution computed tomographic study of changes in root canal isthmus area by instrumentation and root filling. *J Endod.* 2011;37(2):223-7.
37. Pereira TC, Boutsoukis C, Dijkstra RJB, Petridis X, Versluis M, de Andrade FB, et al. Biofilm removal from a simulated isthmus and lateral canal during syringe irrigation at various flow

rates: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *Int Endod J.* 2021;54(3):427-38.

38. Guneser MB, Arslan D, Usumez A. Tissue dissolution ability of sodium hypochlorite activated by photon-initiated photoacoustic streaming technique. *J Endod.* 2015;41(5):729–32.

39. Kuhn K, Rudolph H, Luthardt RG, Stock K, Diebolder R, Hibst R. Er:YAG laser activation of sodium hypochlorite for root canal soft tissue dissolution. *Lasers Surg Med.* 2013;45(5):339–44.

40. Jezeršek M, Lukač N, Lukač M, Tenyi A, Olivi G, Fidler A. Measurement of pressures generated in root canal during Er:YAG laser-activated irrigation. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2020;38(10):625–31.

41. 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.

42. Silva EJNL, Rover G, Belladonna FG, Herrera DR, De-Deus G, da Silva Fidalgo TK. Effectiveness of passive ultrasonic irrigation on periapical healing and root canal disinfection: a systematic review. *Br Dent J.* 2019;227(3):228–34.

43. Varela P, Souza E, de Deus G, Duran-Sindreu F, Mercadé M. Effectiveness of complementary irrigation routines in debriding pulp tissue from root canals instrumented with a single reciprocating file. *Int Endod J.* 2019;52(4):475–83.

44. Huang TY, Gulabivala K, Ng YI. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J.* 2008;41(1):60–71.

9. SAŽETAK

Adriana Đurin, Debora Kanižaj

ISPITIVANJE UČINKOVITOSTI LASERSKI AKTIVIRANOG FOTOAKUSTIČNOG STRUJANJA U ČIŠĆENJU ISTMUSA DONJIH MOLARA

Svrha ovog istraživanja bila je ispitati učinkovitost novog Er:YAG laserski aktiviranog fotoakustičnog strujanja (*engl. Shock Wave Enhanced Emission Photoacoustic Streaming, SWEEPS*), u uklanjanju ostataka pulpnog tkiva iz područja istmusa mezijalnih kanala donjih molara, te ga usporediti s ultrazvučnim ispiranjem (UI) i konvencionalnim ispiranjem (KI).

U istraživanju je korišteno 37 izvađenih humanih donjih molara s prisutnim istmusom između mezijalnih kanala, koji su izabrani iz skupine od 103 molara temeljem analize CBCT snimaka. Odabrani uzorci raspoređeni su prema sličnoj anatomiji u tri eksperimentalne skupine ovisno o tehnici završnog ispiranja korijenskih kanal (n=10). U eksperimentalnim uzorcima, mezijalni korijenski kanali instrumentirani su recipročnim instrumentom Wave One Gold Primary (25/07) uz ispiranje svakog kanala s 3% natrijevim hipokloritom (NaOCl). Distalni kanal služio je kao kontrola prisutnosti pulpnog tkiva u svakom zubu. Korijenski kanali su zatim isprani završnim protokolom: 3mL 3% NaOCl (60s), 3mL etilendiaminotetraoctene kiseline (EDTA) (60s) i 2 mL 3% NaOCl (30s), uz sljedeće tehnike: Skupina 1. SWEEPS; Skupina 2. UI; Skupina 3. KI. U kontrolnoj skupini nije provedena ni instrumentacija niti ispiranje. Područje istmusa svakog uzorka pripremljena je za histološku analizu u svrhu određivanja preostalog pulpnog tkiva (morfometriiranje). Rezultati su analizirani ANOVA i Kruskal-Wallis testom ($\alpha=0.05$).

Uzorci u SWEEPS skupini imali su značajno manje zaostalog pulpnog tkiva u regiji istmusa nego uzorci u skupinama UI-a i KI-a ($p=0,003$, $0,014$). Nije dokazana značajna razlika u količini ostatnog pulpnog tkiva u regiji istmusa između skupina UI-a i KI-a ($p=0,646$).

SWEEPS tehnika bila je najučinkovitija u uklanjanju debrisa iz područja istmusa korijenskih kanala, dok su UI i KI pokazali sličnu, ali manju učinkovitost.

Ključne riječi: istmus; ispiranje kanala; laser, SWEEPS

10. SUMMARY

Adriana Đurin, Debora Kanižaj

DEBRIMENT OF ROOT CANAL ISTHMUS BY LASER ACTIVATED PHOTOACOUSTIC STREAMING IN LOWER MOLARS

Aim of this study was to evaluate the efficacy of a new Er:YAG laser activated photoacoustic streaming (Shock Wave Enhanced Emission Photo-acoustic Streaming, SWEEPS), in the removal of pulp tissue from root canal isthmus area in lower molars, and to compare it with ultrasonically activated irrigation (UAI) and conventional needle irrigation (CI),

The study sample consisted of 37 lower molars with the presence of an isthmus between mesial canals, which were selected from a group of 103 molars based on cone-beam computed tomographic analysis. The selected teeth were distributed into three experimental groups (n=10/each) depending on final irrigation protocol (FIP). In the experimental samples, the mesial root canals were instrumented with Wave One Gold Primary (25/.07) file using 3% sodium hypochlorite (NaOCl). The distal canal served as control of the presence of pulp tissue in the tooth. Then, the root canals were irrigated with FIP: 3ml 3% NaOCl (60s), 3ml ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) (60s) and 2ml 3% NaOCl (30s), using one of the techniques: Group 1. SWEEPS; Group 2. UAI; Group 3. CI. In control group (C), no treatment was performed. Sections from the isthmus region were processed for histological evaluation to measure remaining pulp tissue. The results were analysed using ANOVA and Kruskal-Wallis test ($\alpha=0.05$).

Samples in the SWEEPS group had significantly less remaining pulp tissue than UAI, CI and C ($p=0.003, 0.014$). There were no difference between the UAI and CI ($p=0.646$).

SWEEPS was the most efficient in debridement of root canal isthmus area, and UAI and CI showed similar but lower efficiency.

Key words: isthmus; final irrigation protocol; laser; SWEEPS