Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Mateja Suk

**UČINKOVITOST LASERSKI AKTIVIRANOG ISPIRANJA U UKLANJANJU ZAOSTALOG BIOAKTIVNOG PUNILA IZ KORIJENSKOG KANALA NAKON REVIZIJE**

Zagreb, 2016.

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za endodonciju i restaurativnu stomatologiju Stomatološkog fakuteta Sveučilišta u Zagrebu u suradnji sa Zavodom za kvalitetu Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr.sc. Ivone Bago Jurič i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2015./2016.

**POPIS KRATICA I OZNAKA:**

**SEM** - pregledna elektronska mikroskopija (*eng. scaning electronic microscopy*)

**NaOCl** - natrij hipoklorit

**EDTA** - etilediaminotetraoctena kiselina

**Er:YAG** - erbij:itrij,aluminij,garnet (*eng. erbium: yttrium, aluminium, garnet*)

**LAI** - laserski aktivirano ispiranje

**PIPS** - foton inicirajuće fotoakustično strujanje (*eng. photon-initiated photoacoustic streaming)*

**Mikro-CT -** mikro kompjuterizirana tomografija (*engl. micro-computed tomography)*

**SADRŽAJ:**

1. **UVOD** 1
2. **HIPOTEZA** 3
3. **MATERIJALI I METODE** 4
   1. Priprema uzoraka za istraživanje 4
   2. Punjenje korijenskih kanala 6
   3. Revizija korijenskih kanala 7
   4. Laserski aktivirano ispiranje Er:YAG laserom uz uporabu

otopine natrij hipoklorita 8

* 1. Mikro-CT analiza 9
  2. Statistička obrada podataka 10

1. **REZULTATI** 11
2. **RASPRAVA** 19
3. **ZAKLJUČAK** 22
4. **ZAHVALE** 23
5. **LITERATURA** 24
6. **SAŽETAK** 29
7. **SUMMARY** 31
8. **UVOD**

Najčešći razlozi neuspjeha endodontskog liječenja su nedovoljno čišćenje i dezinfekcija korijenskih kanala, neadekvatno punjenje kanala (nenapunjeni kanali, prepunjenje ili potpunjenje kanala) i nekvalitetna ili nepravovremena koronarna restauracija zuba (1-4). Revizija je postupak otvaranja endodontski liječenog zuba i uklanjanja materijala za punjenje (cement i gutaperka) iz korijenskog kanala s ciljem ponovne instrumentacije i dezinfekcije kanalnog sustava zuba kako bi se ostvarili uvjeti za cijeljenje periapikalnog procesa (5). Materijal iz korijenskog kanala je moguće ukloniti ručnim, rotirajućim ili ultrazvučnim instrumentima (6-8). Rotirajući nikal-titanski instrumenti (NiTi) su brži i učinkovitiji (9-11). Međutim, istraživanja su pokazala, da neovisno o tehnici revizije, materijal za punjenje često zaostaje u korijenskom kanalu (12-14) i tako može ograničiti djelovanje irigansa u korijenskom kanalu i spriječiti uklanjanje zaostalog nekrotičnog tkiva i mikroorganizama unutar materijala (15).

Materijali za punjenje korijenskog kanala temeljeni na kalcij silikatu (MTA Plus (Prevest Denpro, Heidelberg, Njemačka), MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Brazil), iRoot SP (Innovative Bioceramix, Vancouver, Kanada), EndoSequence BC (Brassler, Savannah, SAD)) se intenzivno istražuju u posljednjem desetljeću. Oni su bioaktivni, biokompatibilni, netoksični, posjeduju dimenzijsku stabilnost unutar biološkog okoliša i uzrokuju manje boli i upale kod prepunjenja (16-20). Dokazano je da postižu bolju snagu svezivanja za dentin od materijala na bazi cink-oksid-eugenola (21), a neki od njih potiču biomineralizaciju uz precipitaciju hidroksiapatita koji učvršćuje svezu dentina i punila (22, 23). To objašnjava rezultate prethodnih istraživanja o otežanoj reviziji kalcij-silikatnih punila ručnim i strojnim tehnikama revizije (24, 25).

Laserski aktivirano ispiranje (LAI) je fototermička, fotoakustična ili fotomehanička aktivacija sredstva za ispiranja u korijenskom kanalu erbij-laserima (Er:YAG, Er,Cr:YSGG laser). Valne duljine erbij-lasera dobro se apsobiraju u vodi zbog čega, pri manjim energijama, izazvaju kavitacije sredstva za ispiranje uz posljedično stvaranje hidrodinamskog učinka u korijenskom kanalu (26). Ako se Er:YAG laser rabi pri manjim energijama (20 mJ) i vrlo kratkim pulsevima (50 μs), intrakanalne kavitacije i udarni valovi nastaju kao rezultat fotoakustičkog i fotomehaničkog učinka, a postupak se naziva fotonsko inicirajuće fotoakustičko strujanje (engl: photon-initiated photoacoustic streaming; PIPS). Učinkovitost LAI-a u uklanjanju zaostatnog sloja, debrisa i bakterijskog biofilma iz korijenskog kanala je dokazana u prethodnim istraživanjima (27-29).

Svrha ovog *in vitro* istraživanja bila je ispitati smanjuje li naknadna uporaba PIPS-a, nakon revizije ProTaper Universal strojnom instrumentacijom, količinu zaostale gutaperke i cementa u korijenskom kanalu. Također, ispitati postoji li razlika u količini uklonjenog materijala rotacijskom tehnikom revizije u odnosu na vrstu cementa za punjenje (epoksi smola i punila na bazi kalcij silikata).

**2. HIPOTEZA**

NULTA HIPOTEZA:

Naknadna uporaba PIPS-a nakon revizije strojnom ProTaper Universal tehnikom instrumentacije neće smanjiti količinu zaostale gutaperke i cementa u korijenskom kanalu.

Neće biti razlike u količini zaostalog materijala za punjenje (epoksi smole i punila na bazi kalcij silaikata) nakon strojne revizije korijenskog kanala.

RADNA HIPOTEZA:

Naknadna uporaba PIPS-a nakon revizije strojnom ProTaper Universal tehnikom instrumentacije vjerojatno će smanjiti količinu zaostale gutaperke i cementa u korijenskom kanalu.

Količina zaostalog materijala za punjenje (epoksi smole i punila na bazi kalcij silikata) razlikovat će se nakon strojne revizije korijenskog kanala.

**3. MATERIJALI I METODE**

**3.1. Priprema uzoraka za istraživanje**

Etičko povjerenstvo Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu odobrilo je provođenje istraživanja pod rednim brojem 05-PA-26-11/2015.

U istraživanju je korišteno 30 trajnih jednokorijenskih mandibularnih i maksilarnih ljudskih zubi (drugi incizivi i premolari) izvađenih zbog parodontnih ili ortodontskih razloga. Svi zubi su imali potpuno razvijen korijen bez znakova eksterne resorpcije, karijesa korijena i bez prethodnog endodontskog liječenja. Zubi su,, nakon vađenja, pohranjeni u 0,5% otopinu kloramin. Meko tkivo parodontnog ligamenta i kamenac na površini korijenova odstranjeni su ručnim kiretama (ASA Dental, Bozzano, Brazil).

Zubi su trepanirani dijamantnim fisurnim svrdlom br.016 (Komet, Rock Hill, SC, SAD) montiranim na turbinu uz vodeno hlađenje. Kruna zuba je djelomično odrezana dijamantnim fisurnim svrdlom br. 016 (Komet, Rock Hill, SC, SAD) uz vodeno hlađenje kako bi se postigla radna duljina (RD) od 16 mm. Radna duljina je određena proširivačem veličine #10 ili #15 (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Švicarska). Zubi kroz čije korijenske kanale se nije moglo proći proširivačem #8, te preširoki korijenski kanali kroz koje se moglo slobodno proći proširivačem #20 nisu uključeni u istraživanje.

Korijenski kanali su instrumentirani sekvencom strojne ProTaper Universal tehnike instrumentacije (Maillefer, Ballaigues, Švicarska). Brzina rotacije bila je 300 okretaja u minuti. Korijenski kanali su instrumentirani ProTaper instrumentima SX, S1, S2, F1, F2 i F3 (master apical file, MAF) prema protokolu proizvođača. Između svakog instrumenta, korijenski kanali su isprani s 1 ml 2,5%-tnog NaOCl-a (pripremljeno na Zavodu za restaurativnu stomatologiju i endodonciju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Republika Hrvatska) pomoću 30G igle (BD, Microlance, Becton Dickinson, Madrid, Španjolska) i šprice od 5 mL. Koronarni rezervoar za unos irigansa napravljen je Gates Gliden svrdlom veličine 5 (VDW, Minhen, Njemačka) uz vodeno hlađenje (29). Zaostatni sloj je uklonjen ispiranjem s 1 mL 15%-tne otopine etilendiaminotetraoctene kiseline (Calsinase, Lege artis, Dettenhausen, Njemačka) tijekom 3 min, 1 mL 2,5%-tnog NaOCl-a i 1 mL fiziološke otopine (Zavod za transfuzijsku medicinu, Zagreb, Republika Hrvatska) pomoću 30G igle i šprice od 2 mL (29). Korijenski kanali su osušeni sterilnim F3 papirnatim štapićima (ProTaper Universal, Maillefer, Ballaigues, Švicarska)

**3.2. Punjenje korijenskih kanala**

Uzorci su nasumično podijeljeni u tri skupine ovisno o materijalu za punjenje korijenskih kanala (n=10). Korijenski kanali su u svim skupinama punjeni tehnikom hladne lateralne kondenzacije.

*I. Skupina*:

Uzorci su napunjeni gutaperkom i Endosequence BC punilom (Brassler, Savannah, SAD). Endosequence BC punilo je jednokomponentno punilo koje se sastoji od kalcij silikata, monobazičnog kalcij fofata, kalcij hidroksida, cirkonij oksida i tantal oksida. Dolazi u kompletu s gutaperka štapićima obloženim biokeramikom koniciteta 4%.

Punilo je uneseno u korijenski kanal pripadajućim plastičnim nastavkom u kompletu, čiji je vrh postavljen 2 mm od radne duljine. U korijenski kanal je unesena „master point“ gutaperka veličine #30 (EndoSequence, Brassler, Savannah, SAD) do radne duljine. Za lateralnu kondenzaciju korišten je ručni spreader #25 (Anataeos, München, Njemačka) te dodatni gutaperka štapići veličine #20 (Endosequence), koji su prije unošenja u korijenski kanal tanko obloženi punilom.

*II. Skupina*:

Uzorci su napunjeni gutaperkom i MTA Fillapex (Angelus Solucoes Odontologicas, Londrina, Brazil) punilom. MTA Fillapex je dvokomponentno smolasto punilo koje se sastoji od 13,2% mineral trioksid agergata (MTA), salicilatne smole, prirodne smole, bizmuta i silicija.

Nakon miješanja dvije paste, materijal je u korijenski kanal unesen „master point“ gutaperkom veličine 30 (F3, ProTaper Universal, Maillefer, Ballaigues, Švicarska), koja je postavljena do radne duljine. Za lateralnu kondenzaciju korišten je ručni spreader br. 25 (Anataeos, München, Njemačka) te dodatni gutaperka štapići veličine #25 (DiaDent, Seul, Koreja), koji su prije unošenja u korijenski kanal obloženi punilom.

*III. Skupina*:

Uzorci su punjeni gutaperkom i AH Plus punilom (Dentsply DeTrey, Konstanz, Njemačka). AH Plus punilo je dvokomponentno punilo (dvije paste) koje se sastoji od epoksi smole, cirkonij oksida, kalcij tungstata, dibenzil amina.

Korijenski kanali su punjeni tehnikom opisanom u Skupini II.

Pristupni kaviteti svih uzoraka zatvoreni su materijalom za privremeno punjenje (Caviton, GC, Tokio, Japan) i uzorci su pohranjeni sedam dana u inkubatoru na 100% vlage na 37˚C.

**3.3. Revizija korijenskih kanala**

Napunjeni korijenski kanali su revidirani strojnom rotacijskom tehnikom ProTaper Universal (Dentsply/Maillefer, Baillaigues, Švicarska) (instrumenti D1, D2, D3) prema protokolu proizvođača (11). Parametri rada bili su: brzina rotacije 300 i torque 2 N/cm2. Instrument D1 je korišten za uklanjanje punila iz cervikalnog dijela korijenskog kanala, a instrumenti D2 i D3 za uklanjanje punila iz srednje i apikalne trećine kanala. Nakon toga, korijenski kanali su obrađeni instrumentima F3 (veličina 30/0,09) i F4 (veličina 40/0,06) do pune radne duljine (11). Tijekom instrumentacije nije korišteno otapalo (11). Kako bi se standardizirao postupak revizije, svaki instrument je korišten za reviziju i instrumentaciju tri korijenska kanala, a svaki instrument je u pojedinom korijenskom kanalu korišten pet puta.

Korijenski kanali su nakon obrade završno isprani s 1 ml 2,5%-tnog NaOCl-a iglom i špricom. Nakon toga je u kanal unesena 15%-na etilendiaminotetraoctena kiselina (EDTA), i ostavljena je u kanalu 3 min, nakon čega su kanali isprani 1 mL 2,5%-tnim NaOCl-om iglom i špricom te osušeni sterilnim papirnatim štapićima (ProTaper Universal, Maillefer), (11).

**3.4. Laserski aktivirano ispiranje Er:YAG laserom uz uporabu otopine natrij hipoklorita**

Nakon mehaničke revizije, korijenski kanali su isprani 2,5%-tnim NaOCl-om uz aktivaciju Er:YAG laserom (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenija)po protokolu foton inicirajućeg fotoakustičkog strujanja (PIPS) (29). U korijenski kanal je kontinuirano injicirano 5 mL 2,5%-tnog NaOCl-a 30G iglom (BD, Microlance, Becton Dickinson, Madrid, Španjolska) i špricom. Tekućina je aktivirana 60 sekundi laserskim endodontskim fiber nastavkom promjera 600 µm, koji je postavljen na ulaz u korijenski kanal te je pomican kružno u ulazu korijenskog kanala prilikom obasjavanja. Fizikalni parametri lasera su bili: λ: 2940 nm, energija pulsa: 20 mJ, frekvencija: 15 Hz, trajanje pulsa: 50 μs, gustoća energije: 2,06 J/cm2 (30).

**3.5. Mikro-CT analiza**

Volumen materijala u korijenskom kanalu izmjeren je nakon punjenja korijenskog kanala, nakon ProTaper revizije i nakon PIPS-a, za svaki uzorak.

Mjerenje je provedeno mikro-CT uređajem (NIKON XT H 225) u Nacionalnom laboratoriju za duljinu Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Karakteristike uređaja su: volframov izvor dimenzija 0,7 μm i 14 bitni digitalnim detektor dimenzija 400 mm x 300 mm s veličinom piksela od 127 μm. Uzorci su mjereni pri 80 kV i 60 μA s ekspozicijom u trajanju 1 s, pri čemu je prikupljeno 1600 projekcija. Geometrijsko povećanje iznosilo je ≈100 puta što rezultira strukturnom rezolucijom voxela u iznosu od 1,2 μm. Svi su uzorci mjereni na istoj poziciji unutar mjernog volumena CT uređaja, te s istim radiografskim parametrima. Dimenzija voxela je umjerena odvojenim skeniranjem umjerenog etalona s dvije sfere, čime je ostvarena mjeriteljska sljedivost za konkretne uzorke. Rekonstrukcija mjernog volumena, kao i naknadna obrada podataka, na jednak su način učinjene na svim uzorcima: smanjenje utjecaja apsorpcije zračenja primjenom Hanning filtera, smanjenje šuma primjenom medijan filtera, nakon čega su pronađene površine uzorka (granica zrak-uzorak) primjenom adaptivnog, lokalno promjenjivog algoritma. Rezultati su iskazani postotno, kao udio volumena punila u osnovnom materijalu (zubu).

**3.6. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA**

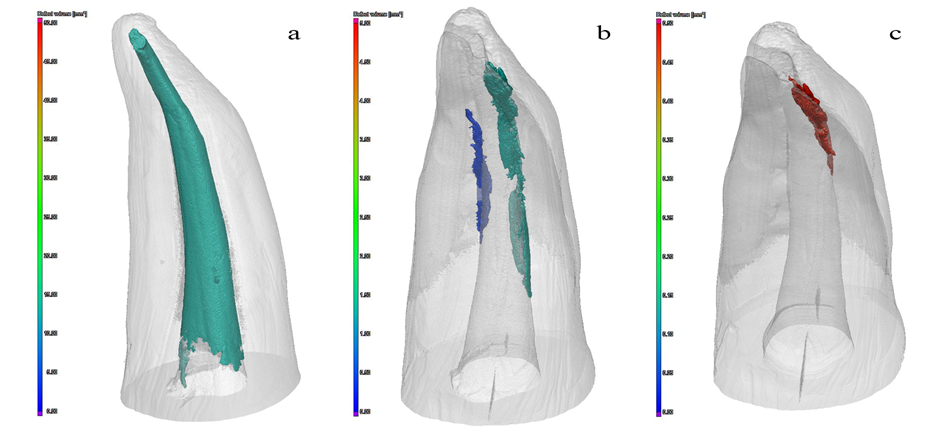
U analizi između ispitivanih skupina i tehnika revizije koristio se Kruskal-Wallisov test uz dodatno post-hoc testiranje Mann-Whitney U testom. Sve P vrijednosti manje od 0,05 su smatrane značajnima. U statističkoj analizi koristila se programska podrška IBM SPSS Statistics verzija 23.0 ([www.spss.com](http://www.spss.com" \t "_blank)).

**4. REZULTATI**

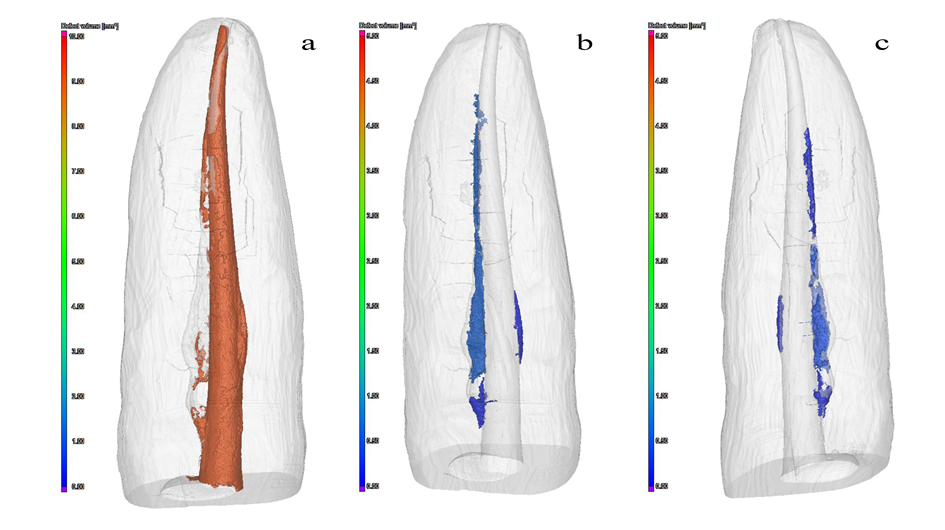
Mikro CT prikaz zaostatne gutaperke na stjenkama kanala za sve tri skupine neposredno nakon punjenja, revizije i PIPS-a (Slike 1, 2, 3).

Tablica 1. prikazuje minimalne i maksimalne vrijednosti i medijan volumena punila nakon ProTaper revizije i PIPS-a u svim skupinama. Dokazana je statistički značajna razlika u količini zaostalog punila između sve tri ispitivane skupine, nakon svake faze revizije (ProTaper revizija, PIPS), (p<0,001).

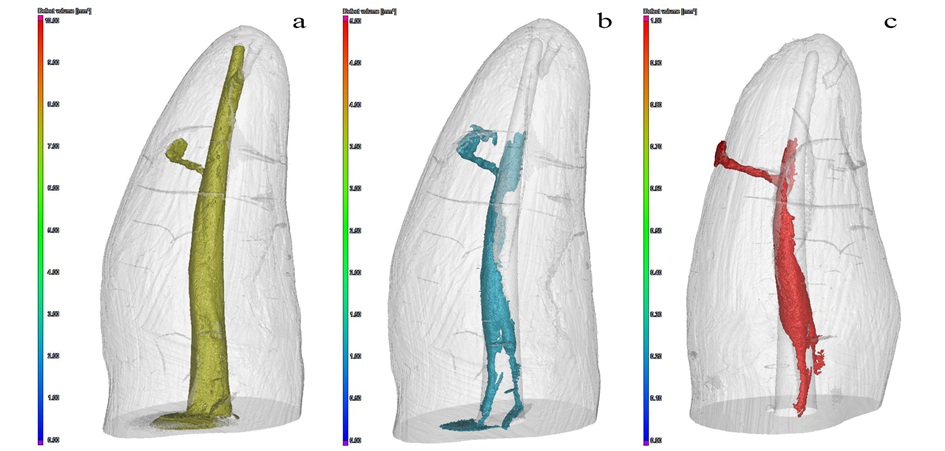
Tablica 2. prikazuje smanjenje volumena punila nakon ProTaper revizije (u odnosu na početni volumen) i PIPS-a (u odnosu volumen nakon ProTaper revizije). ProTaper revizija i PIPS su značajno smanjili količinu punila u svim skupinama (p<0,001). ProTaper revizija je najuspješnija u uklanjanju MTA Fillapex punila, dok nije bilo značajne razlike u uklanjanju Endosequence BC punila i AH Plus punila (Slika 4). PIPS tehnika je najuspješnija u uklanjanju MTA Fillapex punila (96,28%), potom Endosequence BC punila (81,43%), a najmanje AH Plus punila (71,45%) (Slika 5).

******

***Slika 1.*** *Trodimenzionalni model zuba u skupini Endosequence BC: (a) nakon punjenja; (b) nakon ProTaper revizije; (c) nakon PIPS-a*

******

***Slika 2.*** *Trodimenzionalni model zuba u skupini MTA Fillapex: (a) nakon punjenja; (b) nakon ProTaper revizije; (c) nakon PIPS-a*

******

***Slika 3.*** *Trodimenzionalni model zuba u skupini AH Plus: (a) nakon punjenja; (b) nakon ProTaper revizije; (c) nakon PIPS-a*

***Tablica 1****. Vrijednosti zaostalog volumena materijala (mm3) nakon punjenja, nakon ProTaper revizije i nakon PIPS-a u svim skupinama*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Skupina** | | **N** | **Minimum** | **Maximum** | **Percentiles** | | | **P** |
| **25th** | **50th (Median)**  **mm3** | **75th** |
| Početni volumen | Endosequence | 10 | 5,430 | 13,440 | 5,750 | 6,640 | 12,095 | 0,858 |
| MTA Fillapex | 10 | 4,130 | 13,740 | 7,433 | 8,600 | 12,830 |
| AH Plus | 10 | 5,380 | 16,600 | 6,455 | 7,570 | 11,550 |
| ProTaper revizija | Endosequence | 10 | 0,370 | 2,810 | 1,270 | 1,480 | 2,470 | <0,001 |
| MTA Fillapex | 10 | 0,000 | 0,810 | 0,018 | 0,210 | 0,393 |
| AH Plus | 10 | 0,920 | 4,690 | 1,270 | 1,460 | 2,710 |
| PIPS | Endosequence | 10 | 0,000 | 1,090 | 0,220 | 0,480 | 1,045 | <0,001 |
| MTA Fillapex | 10 | 0,000 | 0,320 | 0,008 | 0,075 | 0,165 |
| AH Plus | 10 | 0,730 | 4,400 | 1,170 | 1,390 | 2,540 |

***Tablica 2.*** *Smanjenje volumena punila (izražen u %) nakon ProTaper revizije*

*(u odnosu na volumen nakon punjenja) i nakon PIPS-a (u odnosu na ProTaper reviziju)*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Skupina** | | **N** | **Minimum** | **Maximum** | **Percentiles** | | | **P** |
| **25th** | **50th (Median)** | **75th** |
| Endosequence | Smanjenje volumena nakon ProTaper revizije (%) | 10 | 63,03% | 93,43% | 67,89% | 78,55% | 88,55% | 0,008 |
| Smanjenje volumena nakon PIPS (%) | 10 | 81,43% | 100,00% | 81,51% | 96,43% | 97,80% |
| MTA Fillapex | Smanjenje volumena nakon ProTaper revizije (%) | 10 | 90,58% | 100,00% | 96,05% | 97,73% | 99,70% | 0,012 |
| Smanjenje volumena nakon PIPS (%) | 10 | 96,28% | 100,00% | 98,11% | 99,25% | 99,94% |
| AH Plus | Smanjenje volumena nakon ProTaper revizije (%) | 10 | 69,89% | 92,60% | 70,65% | 72,86% | 84,36% | 0,008 |
| Smanjenje volumena nakon PIPS (%) | 10 | 71,45% | 94,13% | 71,98% | 74,16% | 85,59% |

****

***Slika 4.*** *Usporedba smanjenja volumena nakon ProTaper revizije za svaki testirani materijal*



***Slika 5.*** *Usporedba smanjenja volumena nakon PIPS-a za svaki testirani materijal*

**5. RASPRAVA**

Najčešći razlog perzistentnog periapikalnog procesa, nakon endodontskog liječenja zuba, su zaostalo nekrotično tkivo i bakterijski biofilm u korijenskom kanalu (31). Uspjeh revizije je značajno manji od primarnog endodontskog liječenja i ovisi o potpunom uklanjanju materijala za punjenje iz korijenskog kanala (15) kako bi se ponovno instrumentirala i očistila inficirana područja kanalnog sustava zuba.

Prijašnja istraživanja (3, 9, 11, 33) su pokazala da, neovisno o primijenjenoj tehnici revizije, materijal za punjenje često zaostaje u korijenskom kanalu. To je djelomično dokazano i u ovom istraživanju u kojem ProTaper revizijom nismo uspjeli potpuno ukloniti biokeramičko punilo (EndoSequence BC) i punilo temeljeno na epoksi smoli (AH Plus). Najmanja količina preostalog punila na stjenkama uzoraka zabilježena je u skupini MTA Fillapex (u jednom uzorku potpuno je uklonjen materijal sa stijenka kanala). Slične rezultate objavili su Prasanna i sur. (14), koji su pronašli značajno manju količinu MTA Fillapex punila nakon ProTaper revizije u usporedbi s MTA Plus punilom. Rezultati se mogu objasniti slabom adhezijskom sposobnošću (33) i vjerojatno upitnom biomineralizacijom MTA Fillapexa u korijenskom kanalu (14). Naime, MTA Fillapex sadrži samo 13,2% MTA, što bi, prema nekim autorima (14), mogla biti premala koncentracija za početak biomineralizacije u usporedbi s materijalima koji sadrže 100% MTA.

Rezultati ovog istraživanja nisu pokazali razliku u smanjenju između volumena AH Plus punila i Endosequence BC punila nakon strojne revizije. Slični rezultati su objavljeni i u prethodnim radovima (13, 25) u kojima nisu uspjeli potpuno ukloniti kalcij silikatno punilo iz korijenskog kanala rotacijskom tehnikom. Kim i sur. (25) su uspoređivali uspješnost revizije Endosequence BC i AH Plus punila nakon strojne revizije SEM-om. Zaključili su da oba materijala jednako duboko prodiru u dentinske tubuluse zbog čega imaju slična svojstva tijekom revizije. Ersav i sur. (34) također nisu pronašli razliku u količini zaostalog AH Plus i Endosequence punila nakon ProTaper revizije koristeći radiografsku analizu rezultata. Rezultati navedenih radova se mogu objasniti sličnom snagom svezivanja (35) i sposobnošću brtvljenja (36) AH Plus i Endosequence punila. Zuolo i sur. (12) su objavili da se biokeramičko punilo (EndoSequenve BC) teško uklanja recipročnim tehnikama revizije u usporedbi s punilima temeljenim na cink-oksidu.

Zbog nepotpuno uklonjenog materijala za punjenje različitim tehnikama revizije, postoji potreba za dodatnim tehnikama uklanjanja preostalog materijala iz korijenskog kanala. U prethodnim radovima, autori su istraživali učinkovitost Self-Adjusting tehnika instrumentacije (SAF) i aktivnih tehnika ispiranja (zvučno aktivirano ispiranje i pasivno ultrazvučno ispiranje) pri uklanjanju preostalog materijala nakon rotacijskih tehnika revizije (11, 37, 38). Primjena lasera u postupku revizije punjenja istražena je u prethodnim radovima (39, 40). Međutim, problem primjene Nd:YAG lasera je bio fototermički učinak na gutaperku s karbonizacijom i djelomičnim otapanjem materijala i dentina što je rezultiralo slabim uklanjanjem iz kanala (39). U ovom istraživanju korišten je Er:YAG laser pri subablativnim energijama u kombinaciji s NaOCl-om PIPS protokolom (26) koji se temelji na stvaranju fotoakustičnih udarnih valova unutar irigansa što uzrokuje brzo pomicanje tekućine u kanalu sa stvaranjem sekundarnog kavitacijskog učinka. Rezultati ovog istraživanja su pokazali značajno dodatno smanjenje volumena zaostalog materijala u korijenskim kanalima u svim skupinama u odnosu na primjenu samo rotacijske PtoTaper tehnike. Prema našim saznanjima, dosad su objavljena samo dva rada o učinku PIPS-a u reviziji punjenja. Keles i sur. (30) su uspoređivali PIPS, Er:YAG laserski aktivirano ispiranje (fiber nastavak 3 mm od radne duljine) i Nd:YAG laser u uklanjanju preostale gutaperke i AH Plus punila iz korijenskih kanala nakon rotacijske revizije. Njihovi rezultati su pokazali značajno smanjenje preostalog materijala u svim skupinama. Dublje postavljanje fiber nastavka Er:YAG lasera (3 mm od radne duljine) pokazalo se najučinkovitijim protokolom. U drugom istraživanju Jianga i sur. (38), PIPS protokol je bio superiorniji naspram pasivnog ultrazvučnog ispiranja i zvučnog ispiranja u uklanjanju ostataka punila (AH Plus) nakon ProTaper revizije.

U prijašnjim istraživanjima se količina zaostale gutaperke analizirala svjetlosnom mikroskopijom, vizualnom inspekcijom, SEM-om (34, 41, 42). Premda je to najjednostavniji i najdostupniji način provjere, nije dovoljno precizan jer nam daje dvodimenzionalnu sliku trodimenzionalne strukture (3D). Zbog toga je u ovom istraživanju korištena micro-CT tehnologija jer koristi algoritme koje omogućavaju 3D rekonstrukciju punjenog zuba te matematički točne izračune volumena preostalog materijala (3, 11, 12).

**6. ZAKLJUČAK**

1. U okvirima ovog istraživanja, rotacijska tehnika revizije najlakše je uklonila iz korijenskog kanala MTA Fillapex punilo, dok nije bilo razlike u uklanjanju biokeramičkog punila EndoSequence BC i punila temeljenog na epoksi smolama (AH Plus).
2. Naknadna uporaba PIPS-a nakon rotacijske tehnike revizije značajno je smanjila količinu svih ispitivanih materijala za punjenje, s potencijalom kompletnog uklanjanja MTA Fillapex i EndoSequence BC punila.

**7. ZAHVALE**

Zahvaljujem mentorici, doc. dr.sc. Ivoni Bago Jurič, na uloženom vremenu, savjetima, razumijevanju i ugodnoj suradnji prilikom izrade ovog znanstvenog rada.

Zahvaljujem dr.sc. Marku Katiću, višem asistentu sa Zavoda za kvalitetu Fakulteta Strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu na uloženom vremenu i pomoći pri micro-CT analizi.

Zahvaljujem prof.dr.sc. Ivici Aniću na iskustvu i nesebično podijeljenim savjetima.

Zahvaljujem prijateljima i članovima obitelji na podršci, strpljenju te vjeri u mene i ovaj rad.

**8. LITERATURA**

1. Hulsmann M, Stotz S. Efficacy, cleaning ability and safety of different devices for gutta-percha removal in root canal retreatment. Int Endod J. 1997;30:227-33.
2. Silva EJ, Orlowsky NB, Herrera DR, Machado R, Krebs RL, Coutinho-Filho T de S. Effectiveness of rotatory and reciprocating movements in root canal filling material removal. Braz Oral Res. 2015;29:1-6.
3. Rödig T, Reicherts P, Konietschke F, Dullin C, Hahn W, Hulsmann M. Efficacy of reciprocating and rotary NiTi instruments for retreatment of curved root canals assessed by micro-CT. Int Endod J. 2014;47:942-8.
4. Zamin C, Silva-Sousa YT, Souza-Gabriel AE, Messias DF, Sousa-Neto MD. Fracture susceptibility of endodontically treated teeth. Dent Traumatol. 2012;28:282-6.
5. Haapsalo M, Shen Y, Ricucci D. Reasons for persistent and emerging post treatment endodontic disease. Endodontics Topics. 2008;18:31-50.
6. Imura N, Zuolo ML, Ferreira MO, Novo NF. Effectiveness of the Canal Finder and hand instrumentation in removal of gutta-percha root fillings during root canal. Int Endod J. 1996;29:382-6.
7. Takahashi CM, Cunha RS, de Martin AS. *In vitro* evaluation of the effectiveness od ProTaper universal rotary retreatment system for gutta-percha removal with or without a solvent. J Endod. 2009;35:1580-3.
8. Bramante CM, Fidelis NS, Assumpcao TS. Heat release, time required, and cleaning ability of Mtwo R and ProTaper universal retreatment systems in the removal of filling material. J Endod. 2010;36:1870-3.
9. Zuolo AS, Mello JE Jr., Cunha RS, Zuolo ML, Bueno CE. Efficacy od reciprocating and rotary techniques for removing filling material during root canal retreatment. Int Endod J. 2013;46:947-53.
10. Rödig T, Kupis J, Konietschke F, Dulin C, Drebenstedt S, Hülsmann M. Comparison of hand and rotary instrumentation for removing gutta-percha from previously treated curved root canals: a micro-computed tomography study. Int Endod J. 2013;47:173-82.
11. Bernardes RA, Duarte MAH, Vivan RR, Alcalde MP, Vasconcelos BC, Bramante CM. Comparison of three retreatment techniques with ultrasonic activation in flattened canals using micro-computed tomography and scanning electron microscopy. Int Endod J. 2015. [Epub Ahead of Print]
12. de Siqueira Zuolo A, Zuolo ML, de Silveira Bueno CE; Chu R, Cunha RS. Evaluation of the efficacy of TRUShape and Reciproc file systems in the removal of root filling material: an ex vivo micro-computed tomographic study. J Endod. 2016:42:315-319.
13. Hess D, Solomon E, Spears R, i sur. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. J Endod. 2011;37:1547-9.
14. Prasanna N, Grotra D, Sharma S. Retreatability of 2 Mineral Trioxide Aggregate –based root canal sealers: a cone beam computed tomography analysis. J Endod. 2013;39:893-6.
15. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. Outcome of secondary root canal treatment: a systematic review of the literature. Int Endod J. 2008;41:1026-46.
16. Silva EJ, Rosa TP, Herrera DR. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer MTA Fillapex. J Endod. 2013;39:274-7.
17. Gandolfi MG, Prati G. MTA and F-doped MTA cements used as sealers with warm gutta-percha. Long-term study of sealing ability. Int Endod J. 2010;43:889-901.
18. Weller RN, Tay KC, Garrett LV, i sur. Microscopic appearance and apical seal of root canals filled with gutta percha and ProRoot endo sealer after immersion in a phosphate-containing fluid. Int Endod J. 2008;41:977-86.
19. Ruparel NB, Ruparel SB, Chen PB, i sur. Direct effect of endodontic sealers on trigeminal neuronal activity. J Endod. 2014;40:683-7.
20. Gomes-Filho JE, Watanabe S, Bernabe PFE, i sur. A mineral trioxide aggregate sealer stimulated mineralization. J Endod. 2009;35:256-60.
21. Huffman BP, Mai S, Pinna L, i sur. Dislocation resistance of ProRoot Sealer, a calcium root canal sealer, from radicular dentine. Int Endod J. 2009;4:34-46.
22. Nagas E, Uyanik MO, Eymirli A, i sur. Dentin moisture conditions affect the adhesion of root canal sealers. J Endod. 2012;38:240–4.
23. Yang Q, Troczynski T, Liu DM. Influence of apatite seeds on the synthesis of calcium phosphate cement. Biomaterials. 2002;23:2751-60.
24. Uzunoglu E, Yilmaz Z, Sungur DD, Altundasar E. Retreatability of root canals obturated using Gutta-Percha with Bioceramic, MTA and Resin-Based Sealers. Iran Endod J. 2015;10:93-8.
25. Kim H, Kim E, Lee SJ, Shin SJ. Comparisons of the retreatment efficacy of calcium silicate and epoxy resin-based sealers and residual sealer in dentinal tubules. J Endod. 2015;41:2025-2030.
26. De Moor RJ, Blanken J, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 2: evaluation of the efficacy. Lasers Surg Med. 2009;41:520-3.
27. De Moor RJ, Meire M, Goharkhay K, Moritz A, Vanobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. J Endod. 2010;36:1580-3.
28. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Aprecio RM, Handysides R, Jaramillo DE. Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques. Int Endod J. 2014;47:659-66.
29. Balić M, Lucić R, Mehadžić K, i sur. 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;31:335-42.
30. Keles A, Arslan H, Kamalak A, Akcay M, Sousa-Neto MD, Versiani MA. Removal of filling materials from oval-shaped canals using laser irradiation: A micro-computed tomographic study. J Endod. 2015;41:219-24.
31. Stabholz A, Friedman S. Endodontic retreatment-case selection and technique. Part 2: Treatament planning for retreatment. J Endod. 1988;14:607-14.
32. Gu LS, Ling JQ, Wei X, Huang XY. Efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment system for gutta-percha removal from root canal. Int Endod J. 2008;41:288-95.
33. Assmann E, Scarparo RK, Böttcher DE, i sur. Dentin bond strength of two mineral trioxide aggregate-based and one epoxy resin-based sealers. J Endod. 2012;38:219-21.
34. Ersev H, Yılmaz B, Dinc¸ol ME, Dag˘ larog˘ lu R. The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. Int Endod J. 2012;45:756-62.
35. Ersahan S, Aydin C. Dislocation resistance of iRoot SP, a calcium silicate-based sealer, from radicular dentine. J Endod. 2010;36:2000–2.
36. Zhang W, Li Z, Peng B. Assessment of a new root canal sealers apical sealing ability. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2009;107:79–82.
37. Keles A, Alcin H, Kamalak A, Versiani MA. Oval-shaped canal retreatment with self adjusting file: a micro-computed tomography study. Clin Oral Invest. 2014;18:1147–53.
38. Jiang S, Zou T, Li D, Chang JW, Huang X, Zhang C. Effectiveness of Sonic, Ultrasonic, and Photon-Induced Photoacoustic Streaming Activation of NaOCl on Filling Material Removal Following Retreatment in Oval Canal Anatomy. Photomed Laser Surg. 2016;34:3-10.
39. Viducić D, Jukić S, Karlović Z, Bozić Z, Miletić I, Anić I. Removal of gutta-percha from root canals using a Nd:YAG laser. Int Endod J. 2003;36:670-3.
40. Farge P, Nahas P, Bonin P. *In vitro* study of a Nd:YAP laser in endodontic retreatment. J Endod. 1998;24:359–63.
41. Baratto-Filho F, Ferreira EL, Fariniuk LF. Efficiency of the 0.04 taper ProFile during the retreatment of gutta-percha- filled root canals. Int Endod J. 2002;35:651–4.
42. Giuliani V, Cochetti R, Pagavino G. Efficacy of ProTaper universal retreatment files in removing filling materials during root canal retreatment. J Endod 2008;34:1381–4.

**9. SAŽETAK**

**Mateja Suk**

**UČINKOVITOST LASERSKI AKTIVIRANOG ISPIRANJA U UKLANJANJU ZAOSTALOG BIOAKTIVNOG PUNILA IZ KORIJENSKOG KANALA NAKON REVIZIJE**

Svrha ovog *in vitro* istraživanja bila je ispitati učinkovitost laserski aktiviranog ispiranja (LAI) u uklanjanju zaostale gutaperke i cementa nakon revizije strojnom ProTaper tehnikom instrumentacije. Također, ispitati postoji li razlika u količini uklonjenog materijala u odnosu na vrstu cementa za punjenje (epoksi smola i punila na bazi kalcij silikata).

U istraživanju je korišteno 30 humanih, ekstrahiranih jednokorijenskih zuba. Nakon instrumentacije, uzorci su nasumično podijeljeni u tri eksperimentalne skupine ovisno o cementu za punjenje: Skupina 1. EndoSequence BC Sealer (Brassler, SAD); Skupina 2. MTA Fillapex (Angelus Solucoes Odontologicas, Londrina, Brazil); Skupina 3. AH Plus punilo (Dentsply DeTrey, Konstanz, Njemačka). Korijenski kanali su u svim skupinama tehnikom hladne lateralne kondenzacije. Nakon sedam dana, korijenski kanali su revidirani rotacijskom tehnikom ProTaper Universal (ProTaper Universal Retreatment, Maillefer, Ballaigues, Switzerland), a potom tretirani LAI-em pomoću Er:YAG lasera po protokolu foton inicirajućeg fotoakustičnog strujanja (PIPS). Svi uzorci su snimani mikro-CT-om nakon punjenja korijenskog kanala, nakon rotacijske revizije i nakon PIPS-a.

Rezultati su pokazali značajno smanjenje količine punila u svim skupinama nakon rotacijske revizije i PIPS-a (p<0,05). Najveće smanjenje volumena nakon ProTaper revizije zabilježeno je u skupini MTA Fillapex (p<0,001), a nije bilo razlike u uklanjanju Endosequence i AH Plus punila (p=0,608). Zabilježena je značajna razlika u uklanjanju materijala PIPS-om u svim skupinama.

Rotacijska tehnika revizije je najlakše uklonila iz korijenskog kanala MTA Fillapex punilo, dok nije bilo razlike u uklanjanju EndoSequence BC i AH Plus. Naknadna uporaba PIPS-a nakon rotacijske tehnike revizije značajno je smanjila količinu materijala iz korijenskog kanala.

**Ključne riječi**: kalcij silikat, revizija, ProTaper, laserski aktivirano ispiranje, micro-CT

**10. SUMMARY**

**Mateja Suk**

**EFFICACY OF LASER ACTIVATED IRRIGATION IN THE REMOVAL OF REMNANTS OF BIOACTIVE MATERIAL FROM ROOT CANAL AFTER RETREATMANT**

The aim of this *in vitro* study was to evaluate the efficacy of laser activated irrigation (LAI) in removing filling remnants from root-canals after rotary ProTaper retreatmant, and to examine if there was a difference in the amount of residual material considering the type of sealer (epoxy resin and calcium silicate-based materials).

Thirty extracted, single-rooted human teeth were used in the study. After the instrumentation, the specimens were randomly divided into three groups (n=10) according to the sealer used: Group 1: EndoSequence BC Sealer (Brassle, USA); Group 2: MTA Fillapex (Angelus Solucoes Odontologicas, Londrina, Brasil); Group 3: AH Plus sealer (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany). Root canal obturation was performed using cold lateral condensation technique. After seven days, the root canals were retreated with a rotary retreatment system (ProTaper Universal Retreatment, Maillefer, Ballaigues, Switzerland), and then canals were treated with laser activated irrigation (LAI) by Er:YAG laser (photon initiated photoacoustic streaming, PIPS). The specimens were scanned in a micro-computed tomographic device after root canal filling, after the retreatment with rotary system and after the PIPS.

There was significant reduction in the amount of filling material in all groups after the rotary retreatment and the PIPS (p<0,05). The significant reduction was reported in the MTA Fillapex group (p<0,001), there was no difference in the removal efficacy between the Endosequence BC and the AH Plus (p=0,608). There was significant difference in the removal of all tested materials after the PIPS (p<0,05).

The present study showed that the MTA Fillapex was the most easily retreated with rotary ProTaper system and Endosequence and AH Plus had similar retreatment efficacy. The PIPS improved the removal of filling reminants after rotary retreatment.

**Keywords**: calcium silicate, retreatment, ProTaper, laser activated irrigation, micro-CT