

Usporedba kvalitete brtvljenja biokeramičkog materijala u retrogradnim kavitetima izrađenim svrdlom, ultrazvukom i Er:YAG laserom

Sačić, Janja

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:127:152836>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

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





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
STOMATOLOŠKI FAKULTET

Janja Sačić

**USPOREDBA KVALITETE BRTVLJENJA
BIOKERAMIČKOG MATERIJALA U
RETROGRADNIM KAVITETIMA IZRAĐENIM
SVRDLOM, ULTRAZVUKOM I ER:YAG
LASEROM**

Diplomski rad

Zagreb, 2017.

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

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

Lektor hrvatskog jezika: Josipa Strnišćak, mag. prim. educ. sa znanjem hrvatskog jezika

Lektor engleskog jezika: Kristina Ključarić, mag. prim. educ. sa znanjem engleskog jezika

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 34 stranice

1 tablicu

13 slika

1 CD

Osim ako nije drugačije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni 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 njihovog podrijetla.

Zahvala

Zahvaljujem mentorici doc.dr.sc. Ivoni Bago na uloženom trudu i ukazanom povjerenju.

Zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na bezuvjetnoj potpori i razumijevanju tijekom cijelog studija.

Usporedba kvalitete brtvljenja biokeramičkog materijala u retrogradnim kavitetima izrađenim svrdlom, ultrazvukom i Er:YAG laserom

Sažetak:

Svrha ovog preglednog rada je predstaviti i usporediti rezultate dosadašnjih istraživanja kvalitete brtvljenja biokeramičkih materijala u retrogradnim kavitetima izrađenim svrdlom, ultrazvukom i laserom.

Uspjeh apikotomije s retrogradnim punjenjem ovisi o obliku retrogradnog kaviteta, tehnici izrade retrogradnog kaviteta i o materijalu za retrogradno punjenje. Konvencionalna tehnika za izradu retrogradnog kaviteta koristi svrdlo, no teški pristup apikalnom dijelu korijena i stvaranje velike količine debrisa i zaostatnog sloja u kavitetu, čine ga podređenim u odnosu na ultrazvučnu tehniku koja se najčešće koristi u kliničkoj praksi. Ultrazvučni nastavci zahvaljujući posebnom dizajnu za retrogradne kavitete lakše pristupaju korijenu, preciznije je izrada preparacije i manji rizik od nastanka perforacija. Nedostatak ultrazvučne tehnike je zaostajanje debrisa i zaostatnog sloja, te nastanak mikrofraktura. Retrogradni kaviteti mogu se izrađivati i erbij laserima. Dosadašnja istraživanja o laserima u endodontskoj kirurgiji pokazala su zadovoljavajuće rezultate, posebice u radu s biokeramičkim materijalima, koji se kemijski vežu za dentin jer ne ostavljaju zaostatni sloj. Također, ne proizvodi vibracije ni mikrofrakture.

Najistraživaniji i najčešće korišten materijal za retrogradno punjenje kaviteta je MTA (mineral trioksid agregat). Biokompatibilnost, bioinduktivnost, mogućnost rada u vlažnoj sredini i dobro rubno zatvaranje, čine MTA vodećim materijalom u punjenju retrogradnih kaviteta. Ipak, visoka cijena, otežano rukovanje materijalom, dugo vrijeme stvrdnjavanja i obojenje tkiva, razlog su dolasku na tržište novih generacija biokeramičkih materijala koji imaju jednaka biološka i fizikalna svojstva s bržim stvrdnjavanjem materijala i lakšom manipulacijom. Istraživanja o kvaliteti brtvljenja biokeramičkih materijala pokazuju slične rezultate kao i s MTA-om.

Ključne riječi: endodontska kirurgija; svrdlo; ultrazvuk; laser; biokeramički materijali; MTA

Comparison of apical sealing ability of bioceramic materials in retrograde cavities prepared with bur, ultrasonic and Er:YAG laser

Summary:

The aim of this study is to present and compare the results of the present research of apical sealing ability of bioceramic materials in retrograde cavities prepared with bur, ultrasonic and Er:YAG laser.

The success of apicoectomy with retrograde filling depends on the shape of the retrograde cavity, the retrograde cavity preparation technique and the retrograde filling material. Conventional preparation techniques with bur have difficult access to the apical part of the root and produce smear layer and debris which make them inferior in regard to ultrasound technique most commonly used in clinical practice. Due to the special design, ultrasonic tips can provide easier access to the root, the preparation process is more accurate and there is a lower risk of perforations. The disadvantages of ultrasonic technique are production of smear layer on the dentinal walls and high incidence of dentinal cracks. Retrograde cavities can also be prepared with erbium lasers. Recent research on lasers in endodontic surgery have shown satisfactory results because of smear layer absence, especially when working with bioceramics materials, which chemically bond to the dentin. Also, they produce no vibrations and microcracks.

The most researched and commonly used root-end material is MTA (Mineral trioxide aggregate). MTA is material of choice for root-end fillings because of its biocompatibility, bioinductivity, possibility of working in presence of moisture and its superior marginal adaptation. However, high price, difficult manipulation with material, long setting time and drying of tissue are reasons why new generation of bioceramics materials with equal biological and physical properties but faster setting time and easier handling, came to the market. Present studies on of sealing ability of bioceramics material present similar results as MTA.

Keywords: endodontic surgery; bur; ultrasonic; laser; bioceramics materials; MTA

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. TEHNIKE IZRADE RETROGRADNIH KAVITETA | 3 |
| 2.1. Izrada retrogradnog kaviteta svrdlom | 3 |
| 2.2. Izrada retrogradnog kaviteta ultrazvukom | 4 |
| 2.3. Izrada retrogradnog kaviteta laserom | 7 |
| 3. BIOKERAMIČKI MATERIJALI U ENDODONTSKOJ KIRURGIJI | 11 |
| 3.1. Povijesni razvoj biokeramičkih materijala | 11 |
| 3.2. Mineral trioksid agregat..... | 12 |
| 3.3. Sastav i fizikalna svojstva biokeramičkih materijala..... | 17 |
| 3.4. Podjela biokeramičkih materijala za retrogradno punjenje kaviteta..... | 18 |
| 3.4.1. Biodentine | 18 |
| 3.4.2. “Pre-mixing“ biokeramički materijali za retrogradno punjenje kaviteta | 19 |
| 4. RASPRAVA | 23 |
| 5. ZAKLJUČAK | 25 |
| 6. LITERATURA | 26 |
| 7. ŽIVOTOPIS | 34 |

Popis skraćenica

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

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

UZV – ultrazvučni uređaj

MTA – mineral trioksid agregat (*engl. mineral trioxide aggregate*)

GMTA – sivi mineral trioksid agregat (*engl. grey mineral trioxide aggregate*)

WMTA – bijeli mineral trioksid agregat (*engl. white mineral trioxide aggregate*)

IRM – intermedijatni restorativni materijal (*engl. Intermediate Restorative Material*)

Super EBA – Super etoksi benzoična kiselina (*engl. Super Ethoxy Benzoic Acid*)

SEM – skenirajući elektronski mikroskop (*engl. Scanning electron microscope*)

MTAD – otopina tetraciklinskog izomera, kiseline i detergenta (*engl. Mixture of a tetracycline isomer, an acid and detergent*)

1. UVOD

Apikotomija je kirurški postupak odstranjenja vrška korijena i upalom zahvaćenog periradikularnog tkiva uz izradu retrogradnog kaviteta i njegovo punjenje materijalom za retrogradno punjenje.

Indicirana je kod neprohodnih i jako zavijenih korijenskih kanala, perforacije korijena prilikom instrumentacije, slomljenog instrumenta, prepunjenja korijenskog kanala, radikularne ciste, perzistirajućih simptoma nakon dobro provedene endodoncije, frakture korijena u apikalnoj trećini, protetskog nadomjestka u zubu ili u bilo kojem slučaju kad nije moguće provesti konvencionalnu terapiju.

Uspješnost apikotomije uvjetuje prethodno čišćenje, oblikovanje i punjenje kanalnog sustava kako bi se eliminirali mikroorganizmi i iritansi (1, 2).

Resekcijom apikalnog dijela korijena, odstranjuje se složeni apikalni kanalni sustav koji onemogućuje kvalitetnu instrumentaciju i brtvljenje tog dijela korijena, što je potencijalno mjesto perzistencije mikroorganizama (3). Dokazano je da 75% zubi ima lateralne i akcesorne kanale u apikalnih 3 mm korijena, pa se apikotomijom uklanja rezidualni dio i iritansi (4, 5). Izradom retrogradnog kaviteta i punjenjem materijalom za retrogradne kavitete, osigurava se potpuno brtvljenje korijenskog kanala i sprječava nastanak reinfekcije.

Cohen i Burns (6) opisali su idealan retrogradni kavitet koji ima oblik kaviteta klase 1 po Blacku, s paralelnim zidovima i minimalnom dubinom od 3 mm. Uz klasične preparacije svrdlom, danas se koriste i nove tehnike izrade retrogradnih kaviteta ultrazvukom i laserom. Prednosti ultrazvučne i laserske tehnike uključuju, prije svega, minimalno debrisa i zaostatnog sloja (7, 8).

Materijali za retrogradno punjenje trebali bi dobro brtviti, biti biokompatibilni, lagani za manipulaciju, dimenzijski stabilni, neresorptivni, vidljivi na rtg snimci, poticati cijeljenje periradikularnog tkiva i imati antibakterijska svojstva (9). Najistraživaniji materijal za retrogradno punjenje kaviteta je MTA (mineral trioksid agregat) s preko 800 objavljenih znanstvenih radova (10-15). Usprkos njegovim dobrim biološkim, kemijskim i mehaničkim svojstvima, otežana manipulacija i dugo vrijeme stvrdnjavanja, razlog su potražnji novih materijala kojima bi se olakšao rad u kliničkoj praksi.

Svrha ovog rada je predstaviti i usporediti rezultate dosadašnjih istraživanja kvalitete brtvljenja biokeramičkih materijala u retrogradnim kavitetima izrađenim svrdlom, ultrazvukom i laserom.

2. TEHNIKE IZRADE RETROGRADNIH KAVITETA

Cilj izrade retrogradnih kaviteta osigurati je dovoljno prostora za smještaj materijala za retrogradno punjenje, a da se istovremeno ne naruši strukturna stabilnost reseciranog korijena. Idealna preparacija retrogradnog kaviteta izgleda kao kavitet klase 1 s paralelnim stijenkama koje prate tijek korijenskog kanala, uz minimalnu dubinu od 3 mm (6). Retrogradni kaviteti mogu se izraditi svrdlom, ultrazvukom ili laserom.

2.1. Izrada retrogradnog kaviteta svrdlom

Retrogradni kaviteti se, tradicionalno, izrađuju malim okruglim karbidnim svrdlom montiranim na mikromotor uz vodeno hlađenje do dubine od 3 mm. Svrdlo treba biti veće od korijenskog kanala kako bi se uklonio inficirani dentin sa stijenki kanala. S druge strane, svrdlo treba biti što manje jer se uklanjanjem prevelike količine tvrdog zubnog tkiva stanjuje vršak korijena, što povećava rizik za nastanak frakture korijena prilikom kondenzacije materijala. Retrogradni kavitet se može dodatno proširiti obrnuto koničnim svrdlom, čime se stvara podminirano mjesto za bolju retenciju materijala (16).

Zakošenjem resekcijskog reza pod kutem do 45 stupnjeva od uzdužne osi zuba povećava se vidljivost i olakšava pristup korijenskom kanalu (16).

Nedostaci izrade retrogradnih kaviteta svrdlom su teški pristup apikalnom dijelu korijena, stvaranje velike količine debrisa i zaostatnog sloja u kavitetu koji može smanjiti kvalitetu brtvljenja retrogradnog punila (7).

2.2. Izrada retrogradnog kaviteta ultrazvukom

Ultrazvučna tehnika izrade retrogradnih kaviteta ima nekoliko prednosti u usporedbi sa svrdlom i to zahvaljujući dizajnom prilagođenim ultrazvučnim nastavcima:

1. Lakši pristup korijenskom kanalu uz minimalno uklanjanje okolnog koštanog tkiva.
2. Preciznija izrada retrogradnog kaviteta koji prati uzdužnu os zuba i ostaje centralno smješten u kanalu.
3. Zbog lakše manipulacije ultrazvučnim nastavkom, manji rizik od nastanka perforacija korijena.
4. Lakša izrada dubljih retrogradnih kaviteta s manjim zakošenjem resekcijskog reza (17-19).
5. Stvaranje manje količine zaostatnog sloja u usporedbi sa svrdlom (7).

U literaturi se navodi mogućnost nastanka mikrofraktura i mikropukotina u tkivu korijena zuba tijekom rada s ultrazvučnim nastavcima, kao rezultat ultrazvučnih vibracija (20). Opisana su tri tipa mikrofraktura: intrakanalna (počinje u kanalnom sustavu i proteže se u dentin), ekstrakanalna (počinje na površini korijena i proteže se u dentin) i komunikacijska (proteže se od površine korijena do kanalnog sustava korijena) (21). Iako je u nekim radovima dokazan nastanak apikalnih mikrofraktura u čak 60-80% slučajeva nakon izrade retrogradnih kaviteta ultrazvučnim nastavcima (20-22), u drugim *in vitro* istraživanjima nije otkrivena razlika u pojavnosti mikropukotina tijekom rada s ultrazvučnim nastavcima i svrdlom (23). Također, u *in vivo* istraživanjima (24, 25) ultrazvučna tehnika izrade retrogradnih kaviteta nije uzrokovala veći broj mikrofraktura. Različiti rezultati mogu se objasniti ulogom parodonta u neutraliziranju energije koja se raspršuje od vrha korijena u okolno tkivo, za razliku od rada na ekstrahiranom zubu. Isto tako, oslobođena toplinska energija pri radu s ultrazvukom možda je bolje kontrolirana u jednim naspram drugih istraživanja. Također, različite postavke ultrazvučnog uređaja mogu utjecati na različite rezultate istraživanja (20). Dokazano je da slabija snaga ultrazvuka uzrokuje manje fraktura (20, 26), pa se u kliničkoj praksi preporuča koristiti manje snage.

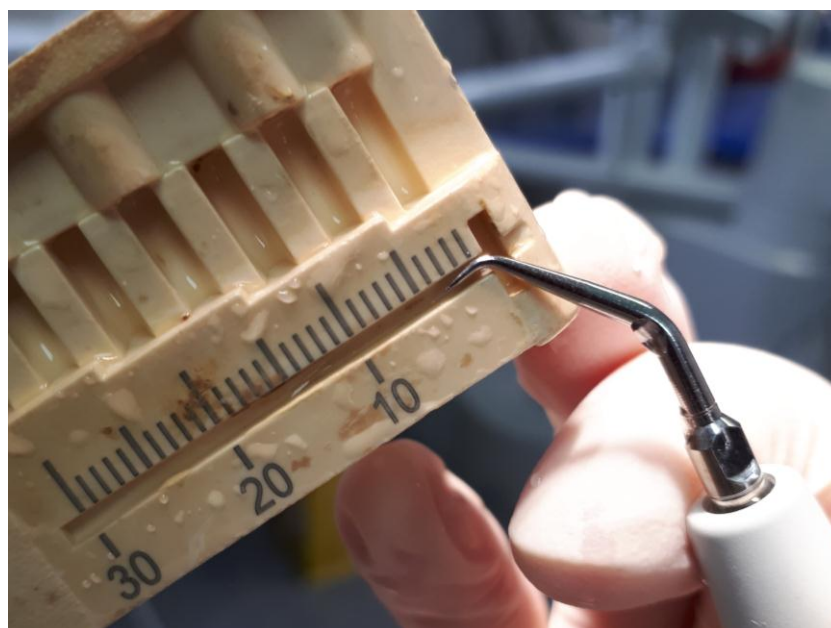
Za ultrazvučnu preparaciju dostupno je nekoliko tipova ultrazvučnih nastavaka, uključujući nastavke različite dužine i promjera, napravljenih od nehrđajućeg čelika (Slika 1., Slika 2., Slika 3.).

Nastavci sa zakrivljenjem od 70 stupnjeva i više, pod kontinuiranim pritiskom podložni su prijelomu na mjestu pregiba (27). Ultrazvučni nastavci mogu biti neobloženi, ili se oblažu dijamantom, ili cirkonij nitridom. Obloženi nastavci režu učinkovitije tvrda zubna tkiva i zahtijevaju manje vremena za izradu preparacije (28). Dijamantni nastavci su agresivniji, brži i učinkovitiji u usporedbi s cirkonij nitridnim (29). Dokazano je da vrsta nastavka nema utjecaj na broj i tip fraktura koje nastaju prilikom izrade retrogradnog kaviteta ultrazvučnom tehnikom (21, 23, 29, 30). Iako su neka istraživanja pokazala da neobloženi čelični nastavci ostavljaju manje površinskog debrisa i zaostatnog sloja od obloženih (30), prednost u kliničkoj praksi daje se obloženim ultrazvučnim nastavcima jer u kraćem vremenskom periodu stvaraju kvalitetniju površinu stijenki kaviteta s manje rubnih pukotina (28).

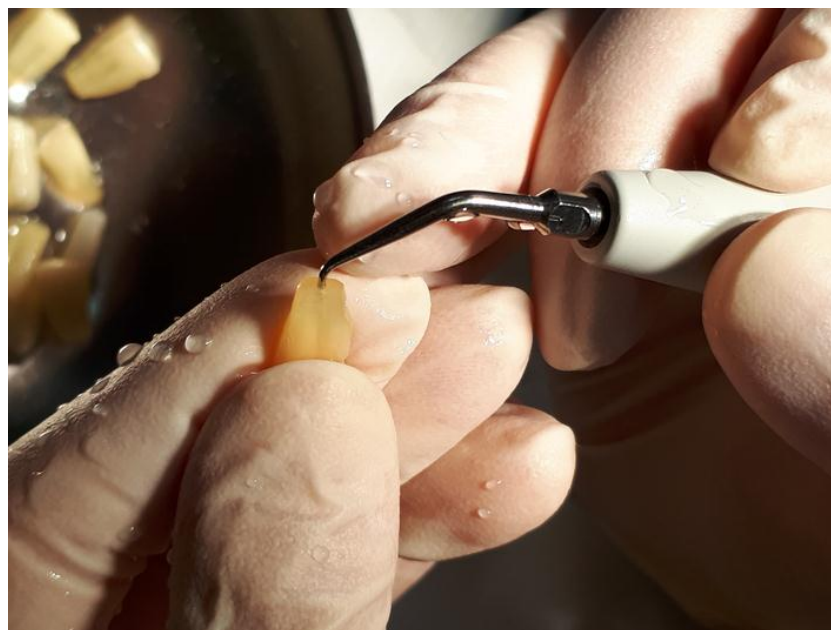
Pri radu s ultrazvučnim instrumentima na tvrdim zubnim tkivima, oslobađa se velika količina toplinske energije koja može povećati temperaturu dentina za više od 35°C (29) i posljedično oštetiti pulpno i parodontno tkivo (31). Stoga, da bi se izbjeglo štetno djelovanje visoke temperature ultrazvučnih instrumenata, nužno je istovremeno vodeno hlađenje.



Slika 1. Ultrazvučni nastavci za izradu retrogradnog kaviteta (Piezon Master 400, EMS, Švicarska).



Slika 2. Ultrazvučni nastavak za izradu retrogradnog kaviteta (Piezon Master 400, EMS, Švicarska).



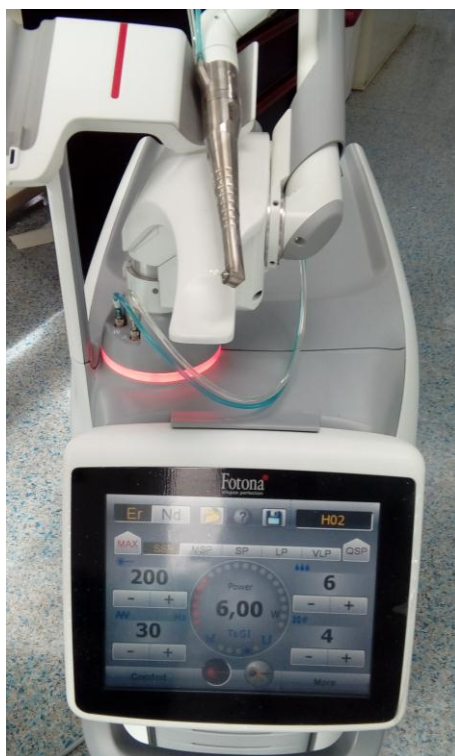
Slika 3. Izrada retrogradnog kaviteta ultrazvučnim nastavkom (Piezon Master 400, EMS, Švicarska).

2.3. Izrada retrogradnog kaviteta laserom

Laser je uređaj koji emitira monokromatsko (jedna valna duljina), konherentno (titranje fotona u istoj fazi) i usmjereno (zraka s malim stupnjem divergencije) zračenje u infracrvenom, vidljivom i ultraljubičastom dijelu elektromagnetskog spektra (32). Interes za proučavanje djelovanja lasera u biomedicini javio se 60-tih godina prošlog stoljeća, nakon što je Theodore Maiman konstruirao prvi rubinski laser. U endodonciji, prvi je put upotrijebljen 1971. godine, kada su Weichman i Johnson (33) pokušali *in vitro* zapečatiti apeksni otvor ugljično dioksidnim (CO₂) laserom. To je rezultiralo nizom istraživanja o mogućoj primjeni lasera u endodonciji (34).

Laserska zraka je velikog intenziteta, vrlo precizna i selektivna u interakciji s biološkim tkivima (35). U kontaktu s tkivom može se odbiti od površine (refleksija), raspršiti (disperzija), proći nepromijenjena (transmisija) ili upiti u tkivo (apsorpcija) (36). Učinak lasera postiže se apsorpcijom laserske energije koja u kontaktu s tkivom prelazi u termičku, a njezin iznos ovisi o valnoj duljini zračenja i optičkim svojstvima ciljanog tkiva poput prisutnosti pigmentacija i vode (36). Učinak laserskog zračenja može se kontrolirati promjenom fizikalnih postavki lasera: snage lasera, energije pulsa, načina emitiranja energije (kontinuirani val ili pulsno zračenje), promjerom laserske zrake na tkivu, trajanjem pulsa i frekvencijom te vodenim hlađenjem. S obzirom na parametre laserskog zračenja i fizikalnih svojstva tkiva, djelovanje lasera može biti fotokemijsko, fototermičko ili fotomehaničko (fotoakustično) (37).

Za izradu retrogradnih kaviteta u endodontskoj kirurgiji koriste se erbij: itrij, aluminij, garnet (Er:YAG, 2940 nm) (Slika 4., Slika 5.) i erbij, kromij: itrij, skandij, galij, garnet (Er,Cr:YSGG, 2790 nm) laseri čije se velike valne duljine dobro apsorbiraju u vodi i hidroksilnim ionima kalcij-hidroksiapatita. Apsorpcijom laserske energije, voda unutar tvrdog zubnog tkiva prelazi u paru, pri čemu na površini dentina nastaju mikroeksplozije i dolazi do ablacije tkiva (38, 39) (Slika 6., Slika 7.).



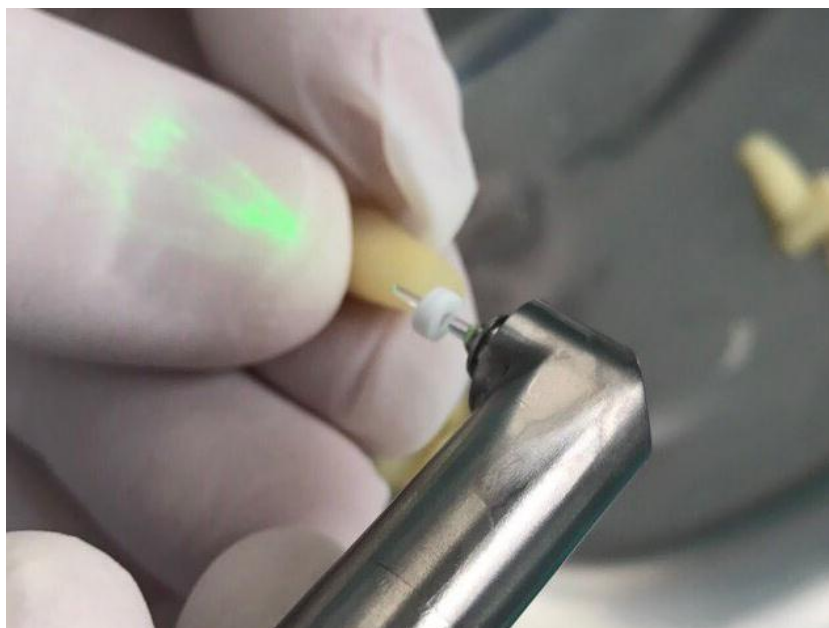
Slika 4. Er:YAG laser (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenija).



Slika 5. Nastavak za Er:YAG laser (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenija).



Slika 6. Nastavak za izradu retrogradnog kaviteta Er:YAG laserom.



Slika 7. Izrada retrogradnog kaviteta Er:YAG laserom.

Prednost erbij lasera naspram prethodnih tehnika izrade retrogradnih kaviteta je antimikrobno djelovanje (40, 41) i uklanjanje dentinskog debrisa i zaostatnog sloja ablacijom, čime se postiže bolja adaptacija materijala za retrogradno punjenje kaviteta (42). Uz adekvatno vodeno hlađenje, ne uzrokuje karbonizaciju, ni taljenje (43).

Istraživanje retrogradnih kaviteta izrađenih Er,Cr:YSGG laserom pokazalo je da isti nemaju sklonost formiranju mikropukotina (44). Pukotine mogu uzrokovati dezintegraciju apikalnog punjenja što dovodi do propusnosti materijala i ugrožava uspješnost terapije (45).

Dosadašnja istraživanja pokazala su da retrogradni kaviteti izrađeni Er:YAG laserom i punjeni mineral trioksid agregatom (MTA-om) manje propuštaju u usporedbi s retrogradanim kavitetima izrađenim ultrazvukom (46). Paghdiwala i sur. (8) dokazali su u svom radu SEM snimkama, da Er:YAG laser smanjuje propusnost dentina. U nedavnom radu Roghanizada i sur. (47), MTA je manje propuštao u retrogradnim kavitetima izrađenim Er,Cr:YSGG laserom u usporedbi s ultrazvučnom tehnikom, što autori objašnjavaju boljom svezom materijala za nepravilnu površinu dentina nastalu ablacijom lasera (46). S druge strane, rezultati istraživanja Koçaka i sur. (48) nisu pokazali značajnu razliku u brtvljenju MTA-a u kavitetima izrađenim laserom u odnosu na ultrazvuk.

Prema većini istraživanja, prednosti lasera u izradi retrogradnih kaviteta je antimikrobno djelovanje lasera, uklanjanje zaostatnog sloja i debrisa, manji rizik od oštećenja okolnog tkiva, manje vibracija i ne uzrokuje mikrofrakture dentina (44).

3. BIOKERAMIČKI MATERIJALI U ENDODONTSKOJ KIRURGIJI

Materijal za retrogradno punjenje zuba treba čvrsto adherirati na tvrda zubna tkiva i brtviti retrogradni kavitet u sve tri dimenzije, kako bi se ostvarila fizička barijera između mikroorganizama i njihovih produkata iz korijenskog kanala i hranjivih tvari periradikularnog tkiva. Također, materijal za retrogradno punjenje retrogradnog kaviteta trebao bi osigurati oporavak apikalnog pričvrstnog aparata, što uključuje, odlaganje cementa na reseciranom vršku korijena, obnovu parodontnog ligamenta i reparaciju kosti (49). Poželjno je da djeluje antibakterijski, da je dimenzijski stabilan i otporan na vlagu, biokompatibilan, netoksičan, radioopaktn, lagan za manipulaciju, da ne boji tkiva i nije elektrokemijski aktivan (9).

Od materijala za retrogradno punjenje najčešće se koriste: mineral trioksid agregat, biokeramika, cink oksid eugenol cementi, staklenoionomerni cementi, kompoziti, amalgam i gutaperka (9, 50).

3.1. Povijesni razvoj biokeramičkih materijala

Klasični biokeramički materijal je MTA, koji je razvijen početkom 90-ih godina i jedan je od najistraživanijih materijala u dentalnoj medicini (10-15). MTA je materijal, koji se zahvaljujući toleranciji na vlagu (51), kvaliteti brtvljenja i marginalnoj adaptaciji (51), bioaktivnosti (9), potencijalu cementogeneze i dentinogeneze (52) najčešće koristi u endodontskoj kirurgiji. Međutim, teška manipulacija s materijalom, dugo vrijeme stvrdnjavanja, mala otpornost na ispiranje, tijekom inicijalne faze stvrdnjavanja, kompliciraju njegovu primjenu kod mnogih kliničara (11, 53). Druga generacija biokeramičkih materijala je Biodentine, koji je predstavljen 2009. godine kao materijal za nadoknadu dentinskog tkiva. Svojstva su mu vrlo slična MTA-u zbog čega su indikacije za primjenu jednake kao i kod MTA-a (54). Prednosti Biodentina naspram MTA-a su kraće vrijeme stvrdnjavanja (otprilike 10-12 minuta) i tlačna čvrstoća slična dentinu. Biokeramički materijali u tzv. „pre-mixing“ obliku razvijeni su kako bi se izbjegla greška nehomogene smjese što je bila pojava s klasičnim MTA-om. Prvi su se pojavili na američkom tržištu: EndoSequence BC Sealer, EndoSequence Root Repair Material (RRM) Paste i EndoSequence RRM Putty i Fast Putty

(Brasseler, Savannah, SAD). Ovi materijali su od nedavno dostupni i na europskom tržištu kao: TotalFill BC Sealer, TotalFill BC RRM-Paste i TotalFill BC RRM-Putty (Brasseler USA Dental LLC). Vrijeme rada s «pre-mixing» biokeramičkim materijalima je 30 minuta, a vrijeme stvrdnjavanja četiri sata.

3.2. Mineral trioksid agregat

MTA je najistraživaniji materijal za retrogradno punjenje kaviteta s preko 800 objavljenih znanstvenih radova (10-16). Prvo istraživanje s MTA-om proveli su Torabinejad i sur. (55) 1993. godine. Uspoređivali su kvalitetu brtvljenja amalgama, Super EBA cementa i novog eksperimentalnog materijala MTA, koji je, za razliku od dotadašnjih materijala za retrogradno punjenje kaviteta, jedini stvrdnjavao u prisutnosti vlage. MTA je pokazao značajno bolje rezultate u brtvljenju od preostala dva istraživana materijala (55).

MTA se sastoji od dikalcij silikata, trikalcij silikata, trikalcij aluminijska, kalcijeva sulfata dihidrata, tetrakalcij aluminoferita i bizmutovog oksida, a tvari koje se pojavljuju u tragovima su silicijev dioksid, kalcijev oksid, magnezijev oksid, kalijev i natrijev sulfat (56-58). Izveden je iz građevinskog Portland cementa kojem je dodan bizmutov oksid (56) radi radioopaknosti (59). Iako slični, Portland cement i MTA nisu identični materijali i kao takav, jeftiniji Portland cement ne može zamijeniti primjenu MTA u dentalnoj medicini (60). MTA proizvodi dodatno su obrađeni, pročišćeni i prilagođeni upotrebi u okruženju tvrdih i mekih tkiva. Imaju duže radno vrijeme, čestice manje veličine i sadrže manje toksičnih spojeva i teških metala (14, 60, 61).

Postoje dva tipa MTA: sivi (GMTA, engl. gray mineral trioxide aggregate) i bijeli mineral trioksid agregat (WMTA, engl. white mineral trioxide aggregate). Razlika je u tome što su čestice WMTA manje veličine (62) i sadrže manju koncentraciju aluminijskih, magnezijevih i željeznih oksida, zbog čega u odnosu na GMTA ima bolja estetska svojstva i ne boji tkiva (63).

Ovisno o proizvođaču, MTA proizvodi na tržište dolaze u obliku praška i tekućine koji se miješaju u omjeru 3:1 ili dvije paste u omjeru 1:1 (Slika 8., Slika 9.). Vežu se reakcijom hidracije i formiraju koloidni gel, odnosno pastu koja se stvrdnjava tijekom 3-4 sata (11, 58).

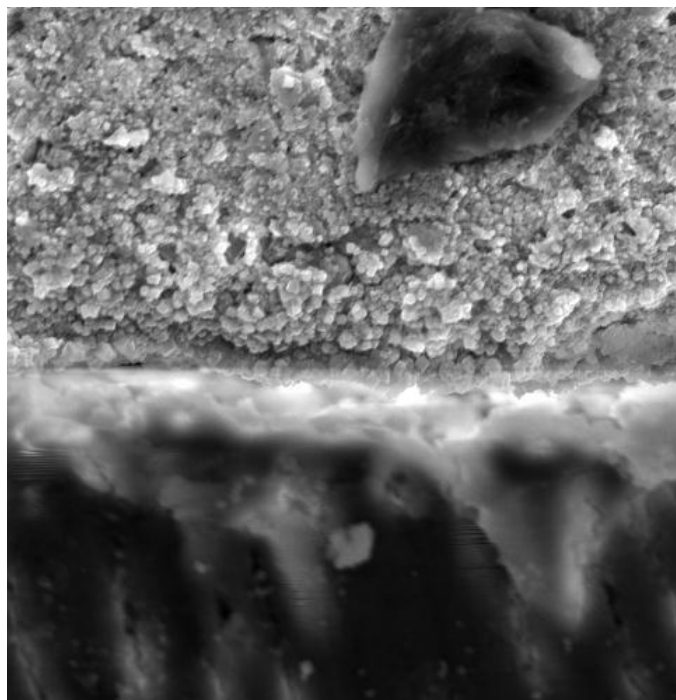
U kavitet se unosi ručnim nosačima i kondenzira ručnim ili ultrazvučnim instrumentima. Vlaga okolnog tkiva potpomaže reakciji vezivanja materijala (64), te u njenoj prisutnosti MTA sazrijeva i povećava tlačnu čvrstoću do 21. dana (11) (Slika 10.). Prilikom pripreme valja voditi računa o uputama proizvođača i vlažiti čestice praha isključivo destiliranom vodom jer korištenje drugih tekućina može utjecati na vrijeme stvrdnjavanja materijala i uzrokovati lošija fizikalna svojstva (65). Otopina kalcijeva klorida ili natrijeva hipoklorita smanjuje vrijeme stvrdnjavanja i tlačnu čvrstoću, dok fiziološka otopina ili 2% otopina lidokaina ubrzavaju stvrdnjavanje, ali nemaju značajni utjecaj na tlačnu čvrstoću. U prisutnosti klorheksidin glukonata, MTA se neće ni stvrdnuti (65).



Slika 8. Mineral trioksid agregat.



Slika 9. MTA Plus dvokomponentni materijal.



Slika 10. SEM snimka sveze MTA-a i dentina.

Visoki pH materijala posljedica je alkalnog djelovanja kalcijeva hidroksida koji nastaje tijekom stvrdnjavanja. Neposredno nakon miješanja iznosi 10,2 i povećava se na vrijednost od 12,5 nakon tri sata (56, 66). Stvaranjem alkalne sredine, MTA djeluje antibakterijski i antimikozno (60), te se istom u nekim znanstvenim radovima, pripisuje i biokompatibilnost ovog materijala (56, 62, 67). Nasuprot tome, Wu i sur. (68) smatrali su da je biokompatibilnost posljedica stvaranja bijelog mineralnog sloja između GMTA i zubnog tkiva pri izloženosti fiziološkim tekućinama bogatim fosfatima. Ti precipitati odgovaraju hidroksiapatitu (54, 57).

Materijal nije mutagen (69), niti djeluje citotoksično (70). MTA ne izaziva periradikularnu upalu, ili je ona minimalna (71, 72). U kontaktu s periradikularnim tkivom potiče stvaranje novog cementa na površini reseciranog korijena, formiranje parodontalnog ligamenta i cijeljenje kosti (73). Ovakav odgovor periradikularnog tkiva jedinstven je za MTA, što ga čini vodećim materijalom za retrogradno punjenje kaviteta (72, 73).

U kratkotrajnim istraživanjima, topivost MTA pokazala se nikakvom ili vrlo malom (11, 74-76), dok se u dukotrajnim pokazala značajnijom (77). Topivost ovisi o omjeru tekućina/prah, te se povećanjem vode uzrokuje veća topivost materijala (77) zbog veće poroznosti strukture (67). Smatra se da je poroznost posljedica otpuštanja kalcijeva hidroksida (67).

Također, provedena su mnoga istraživanja koja ispituju sposobnost brtvljenja MTA u usporedbi s ostalim tradicionalnim materijalima u endodontskoj kirurgiji. U nekim istraživanjima, MTA je imao veću sposobnost brtvljenja od amalgama (55, 68, 78-80), cink oksid eugenola (55, 68, 78-80) i staklenoionomernog cementa (81), dok u drugim istraživanjima, nije bilo značajne razlike u brtvljenju između MTA-a, cink oksid eugenol cementa (81-84) i staklenoionomernog materijala (68). U istraživanju Torabinejada i sur. (85), MTA je pokazao bolju marginalnu adaptaciju i manju sklonost nastanku rubnih pukotina u usporedbi s amalgamom, Super EBA-om i IRM-om. Minimalna debljina punila potrebna da bi se spriječilo propuštanje materijala iznosi 3 mm (86).

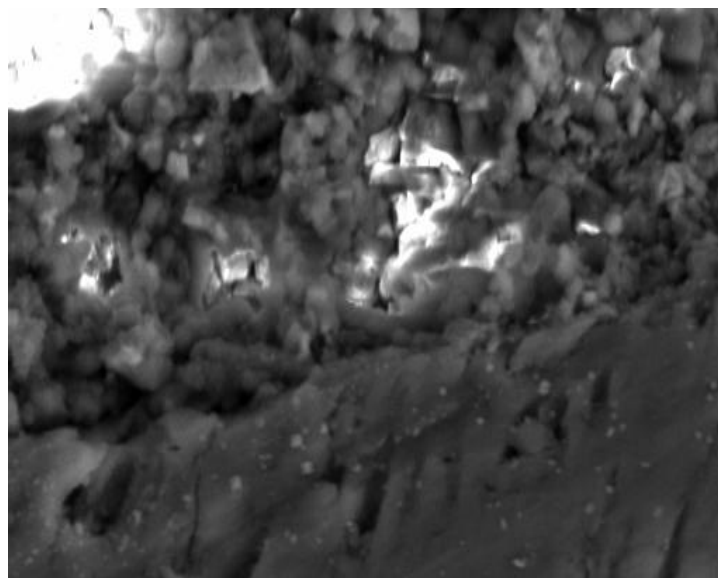
Biokompatibilnost, bioinduktivnost, mogućnost rada u vlažnoj sredini i dobro rubno zatvaranje, čine MTA vodećim materijalom u punjenju retrogradnih kaviteta. Ipak, visoka cijena, otežano rukovanje materijalom, dugo vrijeme stvrdnjavanja i obojenje tkiva razlog su potražnji novih punila kojima bi se olakšao rad u kliničkoj praksi (60).

3.3. Sastav i fizikalna svojstva biokeramičkih materijala

Biokeramički materijali sastoje se od kalcij fosfata, kalcij silikata, cirkona, aluminijskog oksida, bioaktivnog stakla, staklokeramike (87, 88). Privukla su pažnju u endodonciji zbog svojih fizikalnih i bioloških svojstava kao što su visoka pH vrijednost, kemijska stabilnost u biološkom okruženju i jer se ne skupljaju nakon stvrdnjavanja (89).

Svojstva biokeramičkih materijala su slična svojstvima MTA-a (90). Stvrdnjavaju se reakcijom hidracije kalcijevog silikata, pri čemu nastaju kalcij silikatni hidrogel i kalcijev hidroksid. Povišenjem lokalnog pH, oslobođeni kalcijevi ioni reagiraju s fosfatima iz tkivnih tekućina i formiraju hidroksiapatit i vodu (91). Zahvaljujući alkalnoj sredini, biokeramički materijali djeluju antimikrobno (90).

Precipitacijom hidroksiapatita na površini dentina, biokeramički materijali stvaraju kemijsku vezu s dentinom (92) (Slika 11.). Formiraju novi mineralni sloj koji štiti od curenja bakterija i toksina iz okolnog tkiva (90).



Slika 11. SEM snimka sveze biokeramičkog materijala i dentina.

3.4. Podjela biokeramičkih materijala za retrogradno punjenje kaviteta

3.4.1. Biodentine

Biodentine (Septodont, Saint Maur des Fosses, Francuska) je dvokomponentni biokeramički materijal druge generacije, predstavljen 2009. godine kao materijal za nadoknadu dentina. Prah se sastoji od trikalcijevog i dikalcijevog silikata, kalcijeva karbonata (punilo) i cirkonijevog dioksida (radioopaktnost), a tekući dio čine vodena otopina kalcijevog klorida koja ubrzava vrijeme stvrdnjavanja i polimer za redukciju vode u cementu. U odnosu na MTA, konvencionalni kalcij silikatni materijal ima brže vrijeme stvrdnjavanja, 9 – 12 minuta (89), i pogodni su za upotrebu u estetskim zonama jer ne uzrokuju bojenje tkiva (90). Osim za retrogradno punjenje kaviteta, Biodentine se koristi i za direktno i indirektno prekrivanje pulpe, za zatvaranje perforacija, apeksifikaciju i kod interne resorpcije korijena (91).

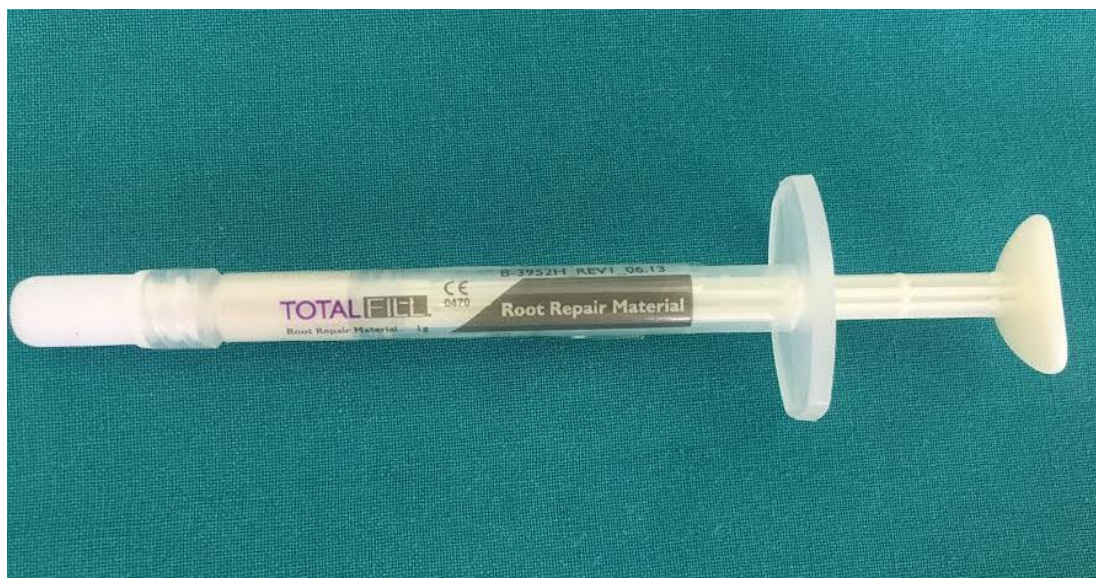
Naik i sur. (93) uspoređivali su utjecaj uklanjanja zaostatnog sloja s otopinom doksiciklina, kiseline i detergenta (MTAD) na kvalitetu brtvljenja Biodentina i MTA u ultrazvučno izrađenim retrogradnim kavitetima. Rezultati su pokazali da je Biodentine bolje brtvio nakon uklanjanja zaostatnog sloja, dok je ispiranje kaviteta s MTAD-om loše utjecalo na brtvljenje MTA-a. Također, Biodentine se pokazao boljim od MTA i u kavitetima ispranim samo fiziološkom otopinom (93). S druge strane, istraživanje Mandave i sur. (94) pokazalo je veće propuštanje Biodentina u odnosu na MTA u retrogradnim kavitetima izrađenim ultrazvukom i svrdlom. Biodentine pokazuje bolja svojstva ukoliko se prethodno ukloni zaostali debris i njegovi loši rezultati u ovom radu mogu se objasniti neuklonjenim zaostatnim slojem koji nastaje pri preparaciji ultrazvukom i svrdlom (93). Tehnika izrade kaviteta u ovom istraživanju nije imala značajniji utjecaj na uspješnost brtvljenja pojedinog materijala (94).

3.4.2. “Pre-mixing“ biokeramički materijali za retrogradno punjenje kaviteta

„Pre-mixing“ biokeramički materijali za retrogradno punjenje kaviteta su jednokomponentni materijali koji se direktno unose na mjesto primjene. Na taj način sprječava se nastanak nehomogene smjese koja bi rezultirala lošijom kvalitetom i fizikalnim svojstvima materijala. Sastoje se od kalcijeva silikata, cirkonijeva oksida, kalcijeva monofosfata i punila. Stvrdnjavaju u prisutnosti vode iz kanala i dentinskih tubulusa. Hidrofilni su, netopivi u tkivnim tekućinama, radioopakni, visokog pH i ne sadrže aluminij. Radno vrijeme iznosi 30 minuta, a vrijeme stvrdnjavanja oko 4 sata, ovisno o vlažnosti dentina (95). Na tržište dolaze u obliku materijala kitaste konzistencije i paste, Tablica 1. „Pre-mixing“ materijali za punjenje retrogradnih kaviteta su TotalFill BC Root Repair Material Paste (Slika 12.), TotalFill BC Root Repair Material Putty (Slika 13.) i nedavno predstavljen TotalFill BC Root Repair Material Fast Set Putty (Brasseler USA Dental LLC), čije je vrijeme stvrdnjavanja samo 20 minuta.

Tablica 1. Biokeramički materijali.

| Materijal | Brand | Sastav | Proizvođač |
|--|-------------------------|---|--|
| Biokeramička punila | iRoot Root Canal Sealer | trikalcij silikat dikalcij silikat | Innovative Bioceramix Inc. Vancouver, Kanada |
| | EndoSequence BC Sealer | kalcij hidroksid cirkonij oksid | |
| | Total Fill BC Sealer | kalcij fosfat punila | Brasseler USA, Savannah, GA |
| Bioceramic Root Repair Material (RRM) u šprici | iRoot Injectable RRM | trikalcij silikat dikalcij silikat | Innovative Bioceramix Inc. Vancouver, Kanada |
| | EndoSequence RRM Paste | cirkonij oksid kalcij fosfat | |
| | TotalFill RRM Paste | tantal pentoksid | Brasseler USA, Savannah, GA |
| Bioceramic Root Repair Material Putty | Endosequence RRM Putty | trikalcij silikat dikalcij silikat cirkonij oksid | Innovative Bioceramix Inc. Vancouver, Kanada |
| | TotalFill RRM Putty | kalcij fosfat tantal pentoksid | Brasseler USA, Savannah, GA |



Slika 12. TotalFill BC Root Repair Material Paste.



Slika 13. TotalFill BC Root Repair Material Putty.

U jednogodišnjem praćenju pacijenata, „pre-mixing“ biokeramički materijali pokazali su se pogodnima za punjenje retrogradnih kaviteta nakon apikotomije s 92% uspješnosti, čija procjena se temeljila na kliničkim i radiografskim nalazima (96). Isto tako, u istraživanju gdje se pod skenirajućim elektornskim mikroskopom pratila rubna prilagodba materijala u kavitetima izrađenim ultrazvukom, ovi su se materijali pokazali jednako dobrima kao i MTA (97). Leal i sur. (98) dobili su jednake rezultate modelom propusnosti glukoze. Također, nije bilo razlike u kvaliteti brtvljenja tih dvaju materijala ni u studiji Nair i sur. (99) gdje se brtvljenje proučavalo na temelju modela propuštanja bakterija. S druge strane, istraživanje Hirschberga i sur. (100) pokazalo je da u čak 93% uzoraka, čiji su retrogradni kaviteti bili punjeni „pre-mixing“ materijalom, došlo do curenja bakterija, za razliku od MTA kod kojeg je procurilo 20% uzoraka. Kao i u prethodnom istraživanju, retrogradni kaviteti izrađeni su ultrazvučnom tehnikom te se u oba ispitivanja radilo istom bakterijom, *Enterococcus faecalis*.

4. RASPRAVA

Uspjeh apikotomije s retrogradnim punjenjem ovisi o kutu zakošenja prilikom resekcije vrška korijena, obliku retrogradnog kaviteta, tehnici izrade retrogradnog kaviteta i o materijalu za retrogradno punjenje (6). Kod konvencionalne izrade retrogradnih kaviteta svrdlom, potrebno je izraditi zakošenje korijena do 45 stupnjeva kako bi se osigurala bolja vidljivost kanala anguliranih zubi i lakši pristup svrdlom (16). Međutim, zakošenjem korijena zuba slabi se struktura korijena i izlaže veći broj dentinskih tubulusa, čime je omogućen prolaz mikroorganizmima prema okolnom tkivu, odnosno hranjivim tvarima do bakterija u korijenu, što može kompromitirati liječenje (6). Zbog toga, u izradi retrogradnih kaviteta, prednost se daje ultrazvučnim i laserskim nastavcima (17, 18). Ultrazvučnim nastavcima može se izraditi idealni kavitet klase 1 s potrebnom dubinom od minimalno 3 mm i paralelnim stijenkama koje prate tijek korijenskog kanala (17, 18). Laser zbog fleksibilnosti fiber optičkih nastavaka lako pristupa korijenskom kanalu, ali je teža kontrola izrade dubine kaviteta zbog nedostatka taktilnog osjećaja kliničara (101). Camargo Villela Berbert i sur. (102) objavili su veće uklanjanje dentina laserom nego ultrazvučnim nastavcima, pa je potrebno pripaziti na preostalu debljinu zida kaviteta i mogući nastanak perforacija. Laser, u usporedbi s ultrazvukom i svrdlom, uklanja zaostatni sloj (8, 46) i ostavlja nepravilnu površinu kaviteta s otvorenim tubulusima. Takva mikroretentivna površina bi mogla utjecati na povećanje mikromehaničke veze između retrogradnog materijala i stijenki kaviteta (46). Također, rad laserom ne uzorkuje mikropukotine koje bi mogle uzrokovati dezintegraciju apikalnog punjenja i ugroziti uspješnost terapije (44, 45). Stvaranje mikropukotina značajnije je kod primjene ultrazvuka zbog vibracija tijekom rada (20). Za izradu retrogradnog kaviteta najčešće se rabe erbij laseri: Er:YAG i Er,Cr:YSGG laser. Valne duljine Er:YAG lasera bolje se apsorbiraju u tvrdim zubnim tkivima, pa imaju veći učinak ablacije od Er,Cr:YSGG lasera (103).

Koçak i sur. (48) istraživali su utjecaj različitih tehnika izrade retrogradnih kaviteta na kvalitetu brtvljenja MTA-a. Otkrili su da punjenje u kavitetima izrađenim Er,Cr:YSGG laserom značajno manje propušta tekućinu u odnosu na one izrađenim svrdlom, dok nije bilo razlike u propuštanju između kaviteta izrađenih laserom i ultrazvukom. Međutim, MTA je bolje brtvio u kavitetima izrađenim Er,Cr:YSGG laserom naspram ultrazvučnih kaviteta u

studiji Roghanizada i sur. (47), modelom prodora metilenskog modrila. Çalışkan i sur. (45) dobili su znatno veće propuštanje kompozita u kavitetima izrađenim Er,Cr:YSGG laserom u usporedbi s konvencionalnim tehnikama modelom propuštanja tekućine. Laser se nije se pokazao uspješnijim ni u kavitetima punjenim Super EBA cementom (101). Autori su rezultat objasnili nepravilnim oblikom kaviteta dobivenog laserom koji sprječava odgovarajuću adheziju cementa u konzistenciji paste. S obzirom da se ne veže kemijski na dentin, prednost lasera u uklanjanju zaostatnog sloja nema učinka u radu s ovakvim materijalima (101).

Dosad je objavljeno samo nekoliko radova o kvaliteti brtvljenja novijih biokeramičkih punila u retrogradnom kavitetu. Retrospektivne studije dokazale su visok stupanj cijeljenja periradikularnih tkiva nakon primjene biokeramičkih materijala (96). Istraživanja o kvaliteti njihovog brtvljenja pokazuju različite rezultate u usporedbi s MTA-om (100), što je najvjerojatnije posljedica korištenja različitih modela propuštanja u navedenim studijama. U ispitivanju kvalitete brtvljenja pojedinih materijala, koriste se modeli: curenje bakterija, protok tekućine, prodor boje i propusnost molekula glukoze. Ni jedan od modela nije univerzalno prihvaćen zbog različitih ograničenja u prezentaciji stvarnih kliničkih uvjeta (104).

Godine 2016., Antunes i sur. (105) objavili su rad u kojem su koristili novi model u istraživanju kvalitete brtvljenja retrogradnih materijala: model propuštanja bakterijskog hranilišta. Prema autorima, temelji se na analizi prolaza hranjivih tvari kroz retrogradni materijal u kavitet s bakterijama te je prema tome bliži kliničkoj situaciji (perkolacija). Rezultati rada nisu pronašli značajne razlike u brtvljenju između MTA i EndoSequence RRM punila u retrogradnim kavitetima izrađenim ultrazvukom.

5. ZAKLJUČAK

U kliničkoj praksi retrogradni kaviteti najčešće se izrađuju ultrazvučnim nastavcima. Prednost erbij lasera u izradi retrogradnih kaviteta dokazana je u više istraživanja sa superiornom kvalitetom brtvljenja MTA-a u usporedbi sa svrdlom.

MTA, vodeći je materijal za punjenje retrogradnih kaviteta zahvaljujući biokompatibilnosti, bioinduktivnosti, mogućnosti rada u vlažnoj sredini i dobrom rubnom zatvaranju. Zbog dugog vremena stvrdnjavanja i otežanog rukovanja s MTA-om, razvijene su nove generacije biokeramičkih materijala koje, osim kalcij silikata, u svom sastavu imaju i kalcij fosfate. Prema našim saznanjima, nema puno objavljenih radova o kvaliteti brtvljenja biokeramičkih materijala u retrogradnim kavitetima, a dosadašnji rezultati pokazuju slična svojstva kao i MTA (bioinduktivnost, biokompatibilnost i antimikrobno djelovanje). Međutim, zahvaljujući jednostavnom rukovanju, nebojanju tvrdih zubnih tkiva i otpornosti na ispiranje u vlažnom tkivnom mediju, biokeramički materijali predstavljaju budućnost u primjeni u endodontskoj kirurgiji.

6. LITERATURA

1. Friedman S. Management of post-treatment endodontic disease: a current concept of case selection. *Aust Endod J.* 2000;26:104-9.
2. Rud J, Andreasen JO. A study of failures after endodontic surgery by radiographic, histologic and stereomicroscopic methods. *Int J Oral Surg.* 1972;1:311-28.
3. Siqueira JF Jr., Rôças IN, Ricucci D, Hülsmann M. Causes and management of post-treatment apical periodontitis. *Br Dent J.* 2014;216:305-12.
4. De Deus Q. Frequency, location, and direction of the lateral, secondary and accessory canals. *J Endod.* 1975;1:361-6.
5. Seltzer S, Soltanoff W, Bender IB, Ziontz M. Biologic aspects of endodontics. Part 1: histological observations of the anatomy and morphology of root apices and surroundings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1996;22:375-85.
6. Cohen S, Burns RC. *Pathway of the pulp: Apicoectomy.* 8th ed. St. Louis: CV Mosby; 2002. 683-725.
7. Gorman MC, Steiman HR, Gartner AH. Scanning electron microscopic evaluation of root-end preparations. *J Endod.* 1995;21:113-7.
8. Paghdiwala AF. Root resection of endodontically treated teeth by erbium: YAG laser radiation. *J Endod.* 1993;19:91-4.
9. Chong BS, Pitt Ford TR. Root-end filling materials: rationale and tissue response. *Endod Topics.* 2005;11:114-30.
10. Abedi HR, Ingle JJ. Mineral trioxide aggregate: a review of a new cement. *J Calif Dent Assoc.* 1995;23:36-9.
11. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995;21:349-53.
12. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999;25:197-205.
13. Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement. *J Endod.* 2006;32:193-7.
14. Funteas UR, Wallace JA, Fochtman EW. A comparative analysis of Mineral Trioxide Aggregate and Portland cement. *Aust Endod J.* 2003;29:43-4.

15. Haapasalo M, Parhar M, Huang X, Wei X, Lin J, Shen Y. Clinical use of bioceramic materials. *Endodontic Topics*. 2015;32:97-117.
16. Fragiskos D. *Oral Surgery*. Schröder GM, editor; Tsitsogianis H, translator. Berlin: Springer; 2007. 312. p.
17. Carr GB. Ultrasonic root end preparation. *Dent Clin North Am*. 1997;41:541-54.
18. Lin CP, Chou HG, Kuo JC, Lan WH. The quality of ultrasonic root-end preparation: a quantitative study. *J Endod*. 1998;24:666-70.
19. Wuchenich G MDTM. A comparison between two root end preparation techniques in human cadavers. *J Endod*. 1994;20:279-82.
20. Layton CA, Marshall JG, Morgan LA, Baumgartner JC. Evaluation of cracks associated with ultrasonic root-end preparation. *J Endod*. 1996;22:157-60.
21. Rainwater A, Jeansonne BG, Sarkar N. Effects of ultrasonic root-end preparation on microcrack formation and leakage. *J Endod*. 2000;26:72-5.
22. Min MM, Brown CE Jr, Legan JJ, Kafrawy AH. In vitro evaluation of effects of ultrasonic root-end preparation on resected root surfaces. *J Endod*. 1997;23:624-8.
23. Navarre SW, Steiman HR. Root-end fracture during retropreparation: a comparison between zirconium nitride-coated and stainless steel microsurgical ultrasonic instruments. *J Endod*. 2002;28:330-2.
24. Morgan LA, Marshall JG. A scanning electron microscopic study of in vivo ultrasonic root-end preparations. *J Endod*. 1999;25:567-70.
25. Calzonetti KJ, Iwanowski T, Komorowski R, Friedman S. Ultrasonic root end cavity preparation assessed by an in situ impression technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998;85:210-5.
26. Frank RJ, Antrim DD, Bakland LK. Effect of retrograde cavity preparations on root apexes. *Endod Dent Traumatol*. 1996;12:100-3.
27. Walmsley AD, Lumley PJ, Johnson WT, Walton RE. Breakage of ultrasonic root-end preparation tips. *J Endod*. 1996;22:287-9.
28. Peters CI, Peters OA, Barbakow F. An in vitro study comparing root-end cavities prepared by diamond-coated and stainless steel ultrasonic retrotips. *Int Endod J*. 2001;34:142-8.
29. Ishikawa H, Sawada N, Kobayashi C, Suda H. Evaluation of root-end cavity preparation using ultrasonic retrotips. *Int Endod J*. 2003;36:586-90.

30. Brent PD, Morgan LA, Marshall JG, Baumgartner JC. Evaluation of diamond-coated ultrasonic instruments for root-end preparation. *J Endod.* 1999;25:672-5.
31. Nicoll BK, Peters RJ. Heat generation during ultrasonic instrumentation of dentin as affected by different irrigation methods. *J Periodontol.* 1998;69:884-8.
32. T B. Laseri u znanosti i tehnologiji. Državni seminar za učitelje i nastavnike fizike u osnovnim i srednjim školama, Zadar 25.-28. ožujka 2008. .
33. Weichman JA, Johnson FM. Laser use in endodontics. A preliminary investigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;31:416-20.
34. Kimura Y, Wilder-Smith P, Matsumoto K. Lasers in endodontics: a review. *Int Endod J.* 2000;33:173-85.
35. Coluzzi DJ. An overview of laser wavelengths used in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2000;44:753-65.
36. Dederich DN. Laser/tissue interaction. *Alpha Omegan.* 1991;84:33-6.
37. Bago I, Anić I. The Use of Lasers in Disinfection and Cleanliness of Root Canals: a Review. *Acta Stomatol Croat.* 2014;48:6-15.
38. Nelson DG, Wefel JS, Jongebloed WL, Featherstone JD. Morphology, histology and crystallography of human dental enamel treated with pulsed low-energy infrared laser radiation. *Caries Res.* 1987;21:411-26.
39. Anić I, Tachibana H, Masumoto K, Qi P. Permeability, morphologic and temperature changes of canal dentine walls induced by Nd: YAG, CO₂ and argon lasers. *Int Endod J.* 1996;29:13-22.
40. Franzen R, Esteves-Oliveira M, Meister J, Wallerang A, Vanweersch L, Lampert F, et al. Decontamination of deep dentin by means of erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser irradiation. *Lasers Med Sci.* 2009;24:75-80.
41. Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelik N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med.* 2004;35:111-6.
42. Winik R, Araki AT, Negrão JA, Bello-Silva MS, Lage-Marques JL. Sealer penetration and marginal permeability after apicoectomy varying retrocavity preparation and retrofilling material. *Braz Dent J.* 2006;17:323-7.

43. Ishizaki NT, Matsumoto K, Kimura Y, Wang X, Kinoshita J, Okano SM, Jayawardena JA. Thermographical and morphological studies of Er,Cr:YSGG laser irradiation on root canal walls. *Photomed Laser Surg.* 2004;22:291-7.
44. Wallace JA. Effect of Waterlase laser retrograde root-end cavity preparation on the integrity of root apices of extracted teeth as demonstrated by light microscopy. *Aust Endod J.* 2006;32:35-9.
45. Çalışkan M, Parlar NK, Oruçoğlu H, Aydın B. Apical microleakage of root-end cavities prepared by Er, Cr: YSGG laser. *Lasers Med Sci.* 2010;25:145-50.
46. Karlovic Z, Pezelj-Ribaric S, Miletic I, Jukic S, Grgurevic J, Anic I. Erbium:YAG laser versus ultrasonic in preparation of root-end cavities. *J Endod.* 2005;31:821-3.
47. Roghanizad N, Fekrazad R, Kalhori KA, Khalilak Z, Esmaili MA, de Fatima Zanirato Lizarelli R. A comparison of Er, Cr: YSGG laser with ultrasonic preparation on the seal of retrograde cavities. *Laser Ther.* 2015;24:33-7.
48. Koçak MM, Koçak S, Aktuna S, Görücü J, Yaman S. Sealing ability of retrofilling materials following various root-end cavity preparation techniques. *Lasers Med Sci.* 2011;26:427-31.
49. Andreasen J. Cementum repair after apicoectomy in humans. *Acta Odontol Scand.* 1973; 31:211-21.
50. Torabinejad M, Pitt Ford TR. Root end filling materials: a review. *Endod Dent Traumatol.* 1996;12:161-78.
51. Vasudev SK, Goel BR, Tyagi S. Root end filling materials - A review. *Endodontology.* 2003;15:12-8.
52. Gartner AH, Dorn SO. Advances in endodontic surgery. *Dent Clin North Am.* 1992;36:357-78.
53. Baek SH, Plenk H Jr, Kim S. Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA, and MTA as root-end filling materials. *J Endod.* 2005. 2005;31:444-9.
54. Bozeman TB, Lemon RR, Eleazer PD. Elemental analysis of crystal precipitate from gray and white MTA. *J Endod.* 2006;32:425-8.
55. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing Ability of a Mineral Trioxide Aggregate When Used As a Root End Filling Material. *J Endod.* 1993;19:591-5.

56. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Pitt Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater.* 2005;21:297-303.
57. Sarkar NK, Caidedo R, Tirwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral. *J Endod.* 2005;31:97-100.
58. Dammaschke T, Gerth HUV, Züchner H, Schäfer E. Chemical and physical surface and bulk material. *Dent Mater.* 2005;21:731-8.
59. Shah PM, Chong BS, Sidhu SK, Ford TR. Radiopacity of potential root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1996;81:476-9.
60. Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: A review of the literature. *Dent mater.* 2008;24:149-64.
61. Abdullah D, Pitt Ford TR, Papaioannou S, Nicholson J, McDonald F. An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. *Biomaterials.* 2002;23:4001-10.
62. Duarte MA, Demarchi AC, Yamashita JC, Kuga MC, Fraga Sde C. pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:345-7.
63. Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Brink F. Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2005;31:101-3.
64. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod.* 1993;19:541-4.
65. Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod.* 2006;32:569-72.
66. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new rooted filling material. *J Endod.* 1995;21:349-53.
67. Fridland M, Rosado R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *J Endod.* 2003;29:814-7.
68. Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod.* 1999; 24:557-560.
69. Kettering JD, Torabinejad M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21:537-42.
70. Lin CP, Chen YJ, Lee YL, Wang JS, Chang MC, Lan WH, et al. Effects of root-end filling materials and eugenol on mitochondrial dehydrogenase activity and cytotoxicity

- to human periodontal ligament fibroblasts. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2004;71:429-40.
71. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kaiyawasam SP. Tissue reaction to implanted super-EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary report. *J Endod.* 1995;21:569-71.
72. Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod.* 1995;21:603-8.
73. Economides N, Pantelidou O, Kokkas A, Tziafas D. Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate (MTA) as root-end filling material. *Int Endod J.* 2003;36:44-8.
74. Shie MY, Huang TH, Kao CT, Huang CH, Ding SJ. The Effect of a Physiologic Solution pH on Properties of White Mineral Trioxide Aggregate. *J Endod.* 2009;35:98-101.
75. Danesh G, Dammaschke T, Gerth HU, Zandbiglari T, Schäfer E. A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. *Int Endod J;*39:213-9.
76. Poggio C, Lombardini M, Alessandro C, Simonetta R. Solubility of root-end-filling materials: a comparative study. *J Endod.* 2007;33:1094-7.
77. Fridland M, Rosado R. MTA solubility: a long term study. *J Endod.* 2005;31:376-9.
78. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root end filling materials: effects of blood contamination. *J Endod.* 1994;20:159-63.
79. Aqrabawi J. Sealing ability of amalgam, super EBA cement, and MTA when used as retrograde filling materials. *Br Dent J.* 2000;188:266-8.
80. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 1995;21:109-12.
81. De Bruyne MA, De Bruyne RJ, Rosiers L, De Moor RJ. Longitudinal study on microleakage of three root-end filling materials by the fluid transport method and by capillary flow porometry. *Int Endod J.* 2005;38:129-36.
82. Bates CF, Carnes DL, del Rio CE. Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 1996;22:575-8.

83. Adamo HL, Buruiana R, Schertzer L, Boylan RJ. A comparison of MTA, Super-EBA, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. *Int Endod J.* 1999;32:197-203.
84. Scheerer SQ, Steiman HR, Cohen J. A comparative evaluation of three root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Prevotella nigrescens*. *J Endod.* 2001;27:40-2.
85. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21:295-9.
86. Lamb EL, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH. Effect of root resection on the apical sealing ability of mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95:732-5.
87. Hench L. Bioceramics: from concept to clinic. *J Amer Ceram Soc.* 1991;74:1487-510.
88. Best SM, Porter AE, Thian ES, Huang J. Bioceramics: past, present and for the future. *J Eur Ceram Soc.* 2008;28:1319-27.
89. Shen Y, Peng B, Yang y, Ma J, Haapasalo M. What do different tests tell about the mechanical and biological properties of bioceramic materials? *Endod Topics.* 2015;32:47-85.
90. Wang Z. Bioceramic materials in endodontics. *Endod Topics.* 2015;32:3-30.
91. Richardson IG. The calcium silicate hydrates. *Cem Conc Res.* 2008;38:137-58.
92. Liu Y, Kim YK, Dai L, Li N, Khan SO, Pashley DH, et al. Hierarchical and non-hierarchical mineralisation of collagen. *Biomaterials.* 2011;32(5):1291-300.
93. Naik MM, Ataide I, Fernandes M, Lambor R. Assessment of apical seal obtained after irrigation of root end cavity with MTAD followed by subsequent retrofilling with MTA and Biodentine: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2015;18(2):132-5.
94. Mandava P, Bolla N, Thumu J, Vemuri S, Chukka S. Microleakage evaluation around retrograde filling materials prepared using conventional and ultrasonic techniques. *J Clin Diagn Res.* 2015;9(2):43-6.
95. Trope M, Bunes A, Debelian G. Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? *Endod Topics.* 2015;32:86-96.

96. Shinbori N, Grama AM, Patel Y, Woodmansey K, He J. Clinical outcome of endodontic microsurgery that uses EndoSequence BC root repair material as the root-end filling material. *J Endod.* 2015;41(5):607-12.
97. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Ashoftehyazdi K, Zahraee S, Khoshkhounejad M. Marginal adaptation of new bioceramic materials and mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscopy study. *Iran Endod J.* 2014;9(2):144-8.
98. Leal F, De-Deus G, Brandão C, Luna AS, Fidel SR, Souza EM. Comparison of the root-end seal provided by bioceramic repair cements and White MTA. *Int Endod J.* 2011;44(7):662-8.
99. Nair U, Ghattas S, Saber M, Natera M, Walker C, Pileggi R. A comparative evaluation of the sealing ability of 2 root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Enterococcus faecalis*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(2):74-7.
100. Hirschberg CS, Patel NS, Patel LM, Kadouri DE, Hartwell GR. Comparison of sealing ability of MTA and EndoSequence Bioceramic Root Repair Material: a bacterial leakage study. *Quintessence Int.* 2013;44(5):157-62.
101. Karlović Z, Grgurević L, Verzak Z, Modrić VE, Sorić P, Grgurević J. Effectiveness of Er:YAG laser in cavity preparation for retrograde filling - in vitro study. *Acta Clin Croat.* 2014;53(2):184-9.
102. Camargo Villela Berbert FL, de Faria-Júnior NB, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Bonetti-Filho I, Leonardo Rde T, et al. An in vitro evaluation of apicoectomies and retropreparations using different methods. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;110:57-63.
103. De Moor RJ, Delmé KI. Laser-assisted cavity preparation and adhesion to erbium-lased tooth structure: part 1. Laser-assisted cavity preparation. *J Adhes Dent.* 2009;11:427-38.
104. Jafari F, Jafari S. Importance and methodologies of endodontic microleakage studies: A systematic review. *J Clin Exp Dent.* 2017;9:812-9.
105. Antunes HS, Gominho LF, Andrade-Junior CV, Dessaune-Neto N, Alves FR, Rôças IN et al. Sealing ability of two root-end filling materials in a bacterial nutrient leakage model. *Int Endod J.* 2016;49:960-5.

7. ŽIVOTOPIS

Janja Sačić rođena je 3. ožujka 1993. godine u Varaždinu. Osnovnu školu Vidovec završava 2007. godine, nakon čega upisuje opći smjer Prve gimnazije Varaždin. Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisuje 2011. godine.