

# Bioaktivni materijali za punjenje korijenskih kanala

---

**Brestovac, Maja**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*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:127:254235>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-20**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
STOMATOLOŠKI FAKULTET

Maja Brestovac

**BIOAKTIVNI MATERIJALI ZA PUNJENJE  
KORIJENSKIH KANALA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2016.

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

Voditelj rada:

prof.dr.sc. Ivana Miletić, dr.med.dent.

Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju

Stomatološki fakultet

Sveučilište u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Sanja Grgurević, prof. hrvatskog jezika i  
književnosti

Lektor engleskog jezika: Duško Pijuko, dipl. anglist i povjesničar  
umjetnosti

Rad sadrži:

- 33 stranice
- 6 slika
- 1 CD.

Zahvaljujem se obitelji i svima koji su vjerovali u mene.

Zahvalnost dugujem i mentorici, prof.dr.sc. Ivani Miletić, na trudu, strpljenju i razumijevanju.

## SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	SVRHA RADA .....	5
3.	BIOAKTIVNI MATERIJALI ZA PUNJENJE KORIJENSKIH KANALA .....	6
3.1.	MINERAL TRIOKSID AGREGAT (MTA) .....	7
3.1.1.	Sastav i struktura MTA-a .....	7
3.1.2.	Stvrđnjavanje MTA-a i adhezija na dentin .....	9
3.1.3.	Biološke karakteristike MTA-a .....	10
3.1.4.	Klinička primjena MTA-a.....	11
3.2.	BIODENTIN.....	12
3.2.1.	Sastav Biodentina.....	12
3.2.2.	Stvrđnjavanje Biodentina i adhezija na dentin .....	13
3.2.3.	Fizikalna i biološka svojstva Biodentina .....	13
3.2.4.	Klinička primjena Biodentina.....	14
3.3.	BIOKERAMIKA .....	14
3.3.1.	Sastav i stvrđnjavanje biokeramičkih materijala u endodonciji.....	15
3.3.2.	Primjena biokeramičkih materijala u endodonciji.....	16
4.	RASPRAVA.....	18
5.	ZAKLJUČCI.....	21
6.	SAŽETAK .....	22
7.	SUMMARY .....	23
8.	LITERATURA .....	24
9.	ŽIVOTOPIS .....	33

**Popis kratica:**

MTA - engl. **M**ineral **T**rioxide **A**ggregate – mineral trioksid agregat

GMTA - engl. **G**ray **M**ineral **T**rioxide **A**ggregate – sivi mineral trioksid agregat

WMTA - engl. **W**hite **M**ineral **T**rioxide **A**ggregate – bijeli mineral trioksid agregat

PCL - engl. **P**olycaprolacetone – polikaprolaceton

## 1. UVOD

Endodontsko liječenje zuba u svojoj doktrini podrazumijeva eliminaciju svih iritansa, nekrotičnog tkiva, patogenih mikroorganizama i/ili ostataka zubne pulpe. U slučaju neodgovarajućeg punjenja korijenskog kanala, potrebno je ukloniti ostatke punila i gutaperke pravilnom mehaničkom instrumentacijom te dobro dezinficirati endodontski prostor. Svrha ispiranja korijenskog kanala jest ukloniti debris nastao tijekom mehaničke instrumentacije te djelovati na zaostale mikroorganizme. Dokazano je da sama mehanička instrumentacija nije dostatna da bi se postigao uspjeh endodontskog liječenja (1). Tijekom instrumentacije korijenskog kanala potrebno je zadržati dužinu i izvorni oblik kanala kako bi se osigurala pravilna opturacija endodontskog prostora. Punjenje korijenskog kanala zadnja je faza endodontskog liječenja zuba koja ima svrhu trodimenzionalno zabrtviti korijenski kanal. Materijal za punjenje korijenskog kanala treba hermetički zabrtviti apeksni otvor i korijenski kanal s koronarne strane te akcesorne i lateralne kanale kako bi spriječio reinfekciju endodontskog prostora (2).

Načela koja bi trebali zadovoljavati materijali za punjenje korijenskih kanala postavio je Grossman 1967. godine. Grossmanova načela su (3):

- 1.) Jednostavno unošenje materijala u korijenski kanal
- 2.) Lateralno i apikalno brtvljenje korijenskog kanala
- 3.) Neskupljanje materijala nakon unošenja u korijenski kanal
- 4.) Neosjetljivost materijala na vlagu

- 5.) Baktericidno djelovanje ili nepoticanje rasta bakterija
- 6.) Radiokontrastnost
- 7.) Da ne uzrokuje obojenje zubnih struktura
- 8.) Materijal ne smije utjecati na strukturu zuba i ne smije uzrokovati iritaciju periapikalnog tkiva
- 9.) Mora biti sterilan ili se može sterilizirati
- 10.) Mogućnost lakog uklanjanja iz korijenskog kanala.

Poželjno je da se materijalima za punjenje korijenskog kanala lako manipulira kako bi se olakšalo njihovo unošenje u korijenski kanal. To zahtijeva njihovu dobru ljepljivost i adhezivnost za stijenku dentina te polagano stvrdnjavanje. Tim je načinom omogućeno dovoljno radno vrijeme. Materijali bi trebali imati stalan volumen pri čemu se ekspanzija pri stvrdnjavanju smatra poželjnom, a kontrakcija nepoželjnom pojavom. Materijal bi trebao biti netopiv u tkivnim tekućinama da ne bi podraživao periapikalno tkivo i time uzrokovao produljen upalni odgovor periapiksa, koji bi kompromitirao njegovo cijeljenje. Materijal mora biti topiv u otapalima radi olakšanog potencijalnog odstranjivanja iz korijenskog kanala. Radiokontrastnost materijala potrebna je da bi se na rendgenskoj snimci mogla ustanoviti kvaliteta punjenja korijenskog kanala. U estetskom smislu, materijali ne bi smjeli mijenjati postojeću boju zubnog tkiva. Svojstva biokompatibilnosti i baktericidnosti smatraju



se beskompromisnim zahtjevima koji se očekuju od materijala za punjenje. Njihov se razvoj temelji upravo na poboljšanju bioloških aspekata.

Danas se za punjenje najčešće koristi kombinacija polutvrdog punila – gutaperke i cementa. Gutaperka je termoplastični materijal uveden u kliničku praksu prije 160 godina. Dobiva se iz osušenih sokova stabala porodice *Sapotaceae*, odnosno koagulacijom mliječnog soka egzotičnog drveta *Isonandra guttae*. Izomer je kaučuka. Postoji u dva kristalična oblika ( $\alpha$  i  $\beta$  gutaperka) i u amorfnom obliku koji mogu prelaziti jedan u drugi (2, 4). Zabilježene su samo male razlike u kemijskim i fizikalnim svojstvima između ta dva kristalična oblika (5). Gutaperka dobivena iz drveta najčešće je u  $\alpha$ -fazi i koristi se pri suvremenim termoplastičnim postupcima punjenja korijenskih kanala. U  $\beta$ -fazi nalaze se rafinirani kolčići gutaperke dostupni na tržištu, koji zagrijavanjem na temperaturu od 41 do 49 °C prelaze u  $\alpha$ -fazu. Stalnim zagrijavanjem na temperaturu od 53 do 59 °C gutaperka prelazi u amorfno stanje. Promjena faze gutaperke praćena je promjenom njezinog volumena (2). Na sobnoj je temperaturi kruta i crvenkaste boje. Otapa se u kloroformu, eteru, ksilolu i eteričnim uljima (2). Primarni sastav gutaperka štapića je cink-oksidi (+/-75 %), 20 % čini sama gutaperka, a ostali su sastojci veziva (vosak, smola), opakeri (metalni sulfat) i pigmenti boje (3). Smatra se da pri kontaktu gutaperke i periapikalnog tkiva cinkov oksid iz gutaperke uzrokuje iritaciju periapeksnog tkiva (4). Neki proizvođači sastavu gutaperka štapića dodaju i antiseptike poput kalcijeva hidroksida, klorheksidina ili jodoforma zbog antiseptičkih svojstava (5). Gutaperka štapići na tržištu su dostupni u dva osnovna oblika: standardizirani, koji imaju istu veličinu i konicitet kao endodontski instrumenti, te klasični, odnosno nestandardizirani, koji u

pravilu imaju manji vrh s relativno širim tijelom u odnosu na standardizirane štapiće. S obzirom na tehniku punjenja, gutaperke se nalaze u različitim oblicima. Prednosti gutaperke relativno su dobro prilagođavanje stijenkama instrumentiranog kanala, jednostavno rukovanje i lako uklanjanje iz korijenskog kanala, a nedostaci su neadhezivnost za dentin i mala elastičnost. U kombinaciji s cementom gutaperka je najbliža idealnom materijalu (2). Cementi se u mekanoj konzistenciji unose u korijenski kanal, a nakon određenog se vremena stvrdnjavaju. U prošlosti su se korijenski kanali punili kloroperkom i eukaperkom, odnosno gutaperkama otopljenim u kloroformu i eukalptolu, jodoform punilima ili punilima temeljenim na paraformaldehidu. Ti se materijali danas više ne koriste zbog svojih loših svojstava i kancerogenih učinaka. Zamijenila su ih punila temeljena na cink oksid eugenolu, kalcijevom hidroksidu, umjetnim kompozitnim smolama i, u novije vrijeme, bioaktivni materijali temeljeni na kalcij silikatnoj osnovi.

## **2. SVRHA RADA**

Svrha rada bila je prikazati bioaktivne materijale za punjenje korijenskih kanala uz kratki osvrt na njihovu primjenu u kliničkom radu.

### **3. BIOAKTIVNI MATERIJALI ZA PUNJENJE KORIJENSKIH KANALA**

U suvremenoj dentalnoj medicini, poštujući Grossmanova načela idealnog materijala, istraživanja su usmjerena na svojstva bioaktivnosti i biokompatibilnosti materijala za punjenje korijenskih kanala. Biokompatibilnost podrazumijeva sposobnost materijala da postigne odgovarajući i povoljniji odgovor domaćina pri određenim primjenama (6, 7). Drugim riječima, biokompatibilnost je sposobnost materijala da pri kontaktu s tkivom ne uzrokuje njegovo oštećenje, toksičnu reakciju, iritaciju, upalu, alergiju ili kancerogenost (8). Najveći broj studija biokompatibilnost procjenjuje putem ispitivanja citotoksičnosti (9). Idealni bi bioaktivni materijal trebao poticati reparaciju i regeneraciju tkiva, uz očuvanje vitaliteta i tkivne cjelovitosti, osiguravati dobru opturaciju korijenskog kanala kako bi onemogućio prodor mikroorganizama te spriječio posljedični neuspjeh endodontske terapije.

Bioaktivni materijali su mineral trioksid agregat (MTA), Biodentin i biokeramika.

### **3.1. MINERAL TRIOKSID AGREGAT (MTA)**

Povijest mineral trioksid agregata započinje 1824. godine u Engleskoj otkrićem Portland cementa. Dr. Witte u Njemačkoj 1878. godine objavljuje prvi prikaz punjenja korijenskog kanala zuba Portland cementom. U ranim 90-im godinama Dr. Mahmoud Torabinejad zajedno sa svojim suradnikom Deanom Whiteom patentira materijal za punjenje korijenskog kanala pod nazivom Mineral Trioksid Agregat (MTA). FDI 1998. godine odobrava upotrebu MTA u endodonciji.

#### **3.1.1. Sastav i struktura MTA-a**

MTA čini mješavina Portland cementa i bizmutovog oksida. Bizmutov oksid dodaje se radi postizanja radiokontrastnosti (10). Prvotni MTA materijali bili su sive boje i ograničene kliničke primjene. Koristili su se u slučajevima gdje je bilo otežano održavanje suhog radnog polja, primjerice pri retrogradnom punjenju i reparaciji perforiranih korijenskih kanala. S vremenom su na tržište pristizale nove, poboljšane verzije MTA-a koje su proširivale indikacije za primjenu. Materijal se počeo primjenjivati pri apeksifikaciji, prekrivanju pulpe i punjenju korijenskih kanala. Smanjenjem udjela željeza u Portland cementu, razvijen je bijeli MTA cement. Portland cement ubrzo je zamijenjen trikalcijevim silikatom, a bizmutov oksid drugim radioopakerima. Danas dostupni MTA cementi sadrže 50 – 80 % Portland cementa. Kemijski im sastav čini dikalcijev silikat, trikalcijev silikat, trikalcijev aluminat, tetrakalcijev aluminoforit, kalcijev sulfat dehidrat, bizmutov oksid, a tvori

koje se pojavljuju u tragovima su silicijev oksid, kalcijev oksid, magnezijev oksid, kalcijev i natrijev sulfat (11).

Dolaze kao dvokomponentni sustavi u obliku praška i tekućine ili u obliku dviju pasta. Komercijalno dostupni MTA materijali su ProRoot MTA (Dentsply, Tulsa, SAD) (slika 1), MTA Fillapex (Angelus Solucoes Odontologicas, Londrina, Brazil) (slika 2) i CPM Sealer (EGEO SRL, MTM Argentina SA, Buenos Aires, Argentina).



**Slika 1.** ProRoot MTA. Preuzeto iz: (12)



Slika 2. MTA FillapeX. Preuzeto iz: (13)

### 3.1.2. Stvrdnjavanje MTA-a i adhezija na dentin

Stvrdnjavanje materijala započinje reakcijom hidratacije dikalcijeva i trikalcijeva silikata, pri čemu se stvara kalcijev hidroksid i hidrirani oblik kalcijeva silikata. Oni čine koloidnu gel-masu nakon koje minerali otopljeni u vodi i njihovi hidrirani produkti stvaraju mrežu kristala. Stvrdnjavanje je završeno nakon četiri do šest sati, a otpornost prema lomu postiže se i do 21 dan (14). MTA je hidrofilan i zahtijeva vlažan medij čime je olakšana manipulacija u usnoj šuljini. Radno vrijeme manje od četiri minute i vrlo teško uklanjanje MTA cementa iz korijenskog kanala ograničavaju njegovu primjenu.

Materijal je visokoadhezivan za dentin i dimenzijski stabilan. U kontaktu s dentinom, uz prisustvo fosfata, stvara hidroksiapatit i prodire u dentinske tubuluse. Otpuštanje kalcijevih iona iz kalcijeva hidroksida uzrokuje izrazitu antimikrobnu

aktivnost pri pH 12,5 na bakterije *E. faecalis*, *S. aureus* i *P. aeruginosa* (15). Pri stvrdnjavanju blago ekspandira što poboljšava brtvljenje korijenskog kanala (16).

Dostupna su dva tipa MTA-a, bijeli (engl. White MTA, WMTA) čije su čestice manjeg promjera (od jedan do 30  $\mu\text{m}$ ) i sivi (engl. Gray MTA, GMTA) čije su čestice većeg promjera (od jedan do 10  $\mu\text{m}$ ). GMTA pokazuje bolje rubno brtvljenje uz dentinske zidove korijenskog kanala i manju propusnost od WMTA-a (17, 18).

### **3.1.3. Biološke karakteristike MTA-a**

MTA je biokompatibilan i bioaktivan materijal koji djeluje na metabolizam stanica, potiče cementogenezu, osteogenezu i proliferaciju svih stanica, ne izazivajući upalni odgovor organizma (19-24). Stimulira imunološke stanice na oslobađanje limfokina potrebnih za reparaciju i regeneraciju cementa te koštane faktore rasta za remineralizaciju koštanih periapikalnih defekata (25). Nije toksičan, ali zbog prisutnosti željezovog iona izaziva obojenja zubnih struktura. Nema štetnih učinaka na mikrocirkulaciju iako može uzrokovati kontrakciju krvnih žila (26).



#### **3.1.4. Klinička primjena MTA-a**

Kliničke indikacije za primjenu MTA-a su: indirektno i direktno prekrivanje pulpe, zatvaranje perforacija i otvorenih furkacija korijena, u pedodonciji pri postupcima apeksogeneze i apeksifikacije, u endodontskoj kirurgiji za retrogradno punjenje korijena, kod interne i eksterne resorpcije te pri ortogradnom punjenju korijenskih kanala. MTA je materijal izbora za prekrivanje vertikalnih ili horizontalnih fraktura korijenova (27).

U kliničkom radu preporučuje se izbjegavati kontakt MTA-a i poliakrilne ili ortofosforne kiseline jer iste uzrokuju otapanje kristala u strukturi. Time dolazi do smanjenja kompresivne čvrstoće i mikrotvrdoće te povećanja poroznosti materijala (28).

### 3.2. BIODENTIN

Biodentin, odnosno bioaktivna dentinska zamjena (engl. „one for all“), materijal je na kalcij silikatnoj osnovi koji se na tržištu pojavljuje od 2009. godine (Septodont, Saint Maur des Fosses, Francuska) (slika 3).



Slika 3. Biodentin. Preuzeto iz: (29)

#### 3.2.1. Sastav Biodentina

Biodentin se sastoji od praha i tekućine. Glavnu komponentu praha čine trikalcijev i dikalcijev silikat uz dodatak kalcijeva karbonata i cirkonijeva dioksida.

Trikalcijev silikat dodaje se za reakciju stvrdnjavanja, kalcijev karbonat za mehanička svojstva, dok je cirkonijev dioksid radiokontrastno sredstvo. Tekućina sadrži kalcijev klorid kao akcelerator i hidrosolubilni polimer koji reducira količinu vode u cementu (30).

### **3.2.2. Stvrđnjavanje Biodentina i adhezija na dentin**

Stvrđnjavanje započinje reakcijom hidratacije trikalcijsilikata čiji su produkti hidratizirani kalcijev silikatni gel i kalcijev hidroksid. Kalcijev silikatni gel taloži se na površini čestica praha i postupno dovodi do zasićenja te stvaranja kristala. Pri inicijalnom stvrđnjavanju, koje traje 6 - 12 minuta, nastaju poroznosti koje mogu utjecati na mehanička svojstva cementa. Poroznosti nestaju konačnim stvrđnjavanjem materijala nakon dva tjedna (31). Aktivnom biosilikatnom tehnikom skraćuje se vrijeme stvrđnjavanja materijala na način da se sintetizira kalcijev silikat optimalne čistoće i visoke mehaničke čvrstoće (32). Pri kontaktu Biodentina i tvrdog zubnog tkiva dolazi do precipitacije hidroksiapatita i prodora precipitata u dentinske tubuluse. Time se stvara kemijska veza između dentina i cementa. Dubina prodora Biodentina u dentin značajno je veća u odnosu na MTA materijale (33). Wang i sur. (2012) zaključili su da trikalcijsilikatni cementi pokazuju visoki stupanj zaštite tvrdog zubnog tkiva od demineralizacije, pogotovo ako su korišteni u kombinaciji s preparatima na bazi fluora (34).

### **3.2.3. Fizikalna i biološka svojstva Biodentina**

Biodentin i dentin imaju približno jednaku kompresivnu čvrstoću, a tim da Biodentin može imati i veću (35). Budući da u svom sastavu ne sadrži organsku komponentu, smatra se da je dimenzionalno stabilan. Pokazuje i stabilnost boje te dobro rubno zatvaranje. Prema istraživanju Gunsera i sur. (36), Biodentin u odnosu na MTA materijale pokazuje izvrsna svojstva, čak i nakon izlaganja različitim

irigirajućim otopinama kao što su NaOCl, klorheksidin i slina. Kontakt Biodentina i krvi ne utječe na njegova fizikalna svojstva (37). Ne zahtijeva prethodnu pripremu zuba i uklanjanje zaostatnog sloja čije prisustvo pozitivno utječe na jačinu veze kalcij-silikatnih materijala (38). Biodentin je antimikrobni bioaktivni materijal čija je zadaća očuvanje vitaliteta pulpe reakcionarnom genezom dentina. On inducira diferencijaciju fibroblasta u odontoblaste i formiranje reparatornog dentina na mjestima defekata (39, 40, 41).

#### **3.2.4. Klinička primjena Biodentina**

Biodentin se primjenjuje u endodonciji i restaurativnoj stomatologiji kao materijal za privremene ispune u trajanju od šest mjeseci, zamjena za dentin pri sendvič-tehnici, materijal za indirektno i direktno prekrivanje pulpe, kod perforacija kavuma pulpe i korijenskog kanala, pulpotomija, apeksifikacija, internih i eksternih resorpcija i u endodontskoj kirurgiji za retrogradno punjenje korijenskog kanala.

Nedostatak Biodentina njegova je slaba uočljivost na rendgenskim slikama, stoga je radioopaktnost i dalje predmet brojnih istraživanja.

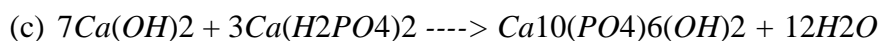
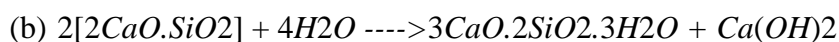
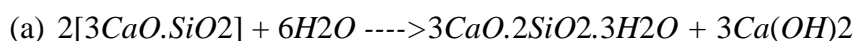
### **3.3. BIOKERAMIKA**

Biokeramika podrazumijeva materijale temeljene na keramici koji su proizvedeni za primjenu u medicini i stomatologiji. Sastoji se od aluminijske i cirkonijske, bioaktivnog stakla, staklo-keramike, kompozita, hidroksiapatita, resorptivnog kalcijevog fosfata i kalcijevog silikata (42, 43). Biokompatibilna je,

bioaktivna i biorazgradiva, netoksična i dimenzijski stabilna te kemijski stabilna unutar biološkog okoliša. Zahvaljujući izvrsnim svojstvima, uz primjenu u maksilofacijalnoj i oralnoj kirurgiji, dentalnoj implantologiji i parodontologiji, svoju primjenu posljednjih 30 godina pronašla je i u endodonciji.

### 3.3.1. Sastav i stvrdnjavanje biokeramičkih materijala u endodonciji

Biokeramika primijenjena u endodonciji sadrži cirkonijev dioksid, kalcijev silikat, kalcijev fosfat, kalcijev hidroksid i ostala punila. Hidrofilna je i ima sposobnost stvaranja hidroksiapatita te stvara kemijsku vezu između dentinskih zidova i punila (44). Stvrdnjavanje započinje procesom hidratacije čestica kalcijeva silikata pri čemu nastaje kalcijev silikatni gel i kalcijev hidroksid. Kalcijev hidroksid reagira s fosfatnim ionima i stvara hidroksiapatit te vodu koja iznova reagira s česticama kalcijeva silikata i precipitira hidrirani kalcijev silikatni gel (slika 4). Voda ima odlučujuću ulogu u kontroli stupnja hidratacije i vremenu stvrdnjavanja koje iznosi četiri sata (47).



**Slika 4.** a) i b) Reakcija hidratacije kalcijeva silikata; c) Reakcija precipitacije kalcijeva fosfata. Preuzeto iz: (45, 46)

Biokeramički materijali imaju veliku kompresivnu čvrstoću (50 - 70 MPa) i dobre mehaničke karakteristike. Pokazuju izrazito visoki antibakterijski i antimikotični učinak (pH 12,9) tijekom 24 sata nakon postavljanja u korijenski kanal (48, 49, 50).

### **3.3.2. Primjena biokeramičkih materijala u endodonciji**

Materijali na bazi biokeramike dolaze u tvornički pripremljenom homogenom obliku, veličine nanočestica manje od dva mikrometra, pohranjenom u špicama s kanilom što uvelike pojednostavljuje kliničku primjenu. Primjenjuju se za direktno prekrivanje pulpe, ortogradno i retrogradno punjenje korijenskih kanala, brtvljenje perforacija korijena, internu i eksternu resorpciju te apeksifikaciju. Pri punjenju korijenskog kanala tehnikom simultane hidraulične kondenzacije (engl. *synchronized hydraulic condensation*), biokeramički cementi koriste se u kombinaciji s gutaperka štapićima impregniranim česticama biokeramike koji pospješuju stvaranje monobloka između cementa i dentina te cementa i gutaperka štapića. Ghoneim i sur. (51) u svom *in vitro* istraživanju pokazali su da tako stvoreni monoblok cementa i zuba povećava otpornost korijena na frakturu. Kod prepunjenja korijenskog kanala ne izazivaju bol ni upalnu reakciju periapikalnog tkiva (44, 52). U slučaju potrebe za revizijom korijenskog kanala, napunjenog biokeramičkim materijalom i gutaperka štapićem, uz mehaničku instrumentaciju preporučuje se primjena ultrazvučnih nastavaka.

Na tržištu su dostupni biokeramički materijali EndoSequence BC Sealer (Brasseler SAD) (slika 5), koji najbolje rezultate pokazuje zajedno s gutaperka štapićima Activ GP, infiltriranim biokeramičkim česticama, te materijal TotalFill® BC Sealer (FGK) (slika 6).



Slika 5. EndoSequence BC Sealer. Preuzeto iz: (53)



Slika 6. TotalFill BC Sealer. Preuzeto iz: (54)

#### 4. RASPRAVA

U skupinu bioaktivnih materijala za punjenje korijenskih kanala svrstavaju se MTA, Biodentin i biokeramika. Zajedničko svojstvo bioaktivnih materijala je da potiču regeneraciju i reparaciju defekata tvrdog zubnog tkiva te teže očuvanju vitaliteta tkiva. MTA potiče diferencijaciju i proliferaciju stanica odgovornih za reparaciju i regeneraciju cementa i remineralizaciju koštanih periapikalnih defekata. Inhibira osteoklastičnu aktivnost stanica (55, 56). Biodentin potiče diferencijaciju fibroblasta u odontoblaste i formiranje reparatornog dentina (39, 40, 41). Biokeramički materijali povećavaju otpornost korijena na frakturu stvaranjem monobloka cementa i zuba (51). Istraživanja citotoksičnosti materijala pokazuju da su svi materijali za punjenje korijenskih materijala u određenoj mjeri citotoksični (57). Svježe zamiješani EndoSequence BC, iRoot SP i MTA Fillapex pokazuju umjerenu citotoksičnost koja se smanjuje stvrdnjavanjem materijala (58, 59, 60). Stoga kod prepunjenja korijenskog kanala bioaktivnim materijalom ne dolazi do upalnog odgovora periapikalnog tkiva.

Zahvaljujući alkalnom karakteru materijala i sposobnosti otpuštanja kalcijevih iona, bioaktivni materijali imaju visoki antimikrobni učinak. Morgental i sur. (61) ispitivali su antibakterijski učinak MTA Fillapexa i Endo CPM-a na *Enterococcus faecalis* neposredno nakon miješanja materijala „agar-testom“ i „direktnim kontaktnim testom“. Utvrdili su da Endo CPM ima veći pH u odnosu na MTA Fillapex (> 11). Bakterijska zona inhibicije MTA Fillapexa bila je veća u usporedbi s Endo CPM-om. Antibakterijska aktivnost MTA Fillapexa objašnjava se prisutnošću smole, glavnog sastojka materijala. Unatoč početnim visokim pH-vrijednostima,



nijedan materijal nije bio u mogućnosti održati svoje antibakterijsko djelovanje nakon postavljanja u korijenski kanal.

Nadalje, uvođenjem materijala temeljenih na kalcijevom silikatu nastojali su se riješiti problemi koji nastaju tijekom punjenja zbog izrazito nepovoljnog konfiguracijskog faktora (C-faktor) u korijenskom kanalu (62, 63). Konfiguracijski faktor predstavlja omjer slobodnih i vezanih površina. Materijal koji se unosi u plastičnom obliku tijekom stvrdnjavanja prolazi kroz dimenzionalne promjene te u kombinaciji s nepovoljnim C-faktorom dolazi do odvajanja od stijenki dentina. Materijali temeljeni na kalcijevom fosfatu, a posebno biokeramika, tijekom stvrdnjavanja ostvaruju kemijsku vezu s dentinom stvaranjem i precipitacijom kristala hidroksiapatita. Također, da bi se poboljšao spoj između cementa i polutvrdog punila bioaktivne čestice (*polycaprolacton*) ugrađene su u matriks polutvrdog punila (64). Međutim, PCL je biorazgradiv (65). Noviji pokušaj u razvoju stabilnijeg polutvrdog punila je uporaba nanometričkih čestica bioaktivnog stakla 45S5 koje se dodaju sastavu gutaperke (66). U usporedbi s klasičnom termoplastičnom gutaperkom, ovaj je materijal pokazao trenutno dobro brtvljenje korijenskog kanala nakon unošenja u zagrijanom obliku. Polineni i sur. (67) u svom su *in vitro* istraživanju uspoređivali tri materijala za punjenje korijenskih kanala: punilo temeljeno na umjetnoj smoli (MM-Seal), MTA punilo (MTA Fillapex) i biokeramičko punilo (EndoSequence BC punilo). Istraživanje je provedeno pomoću pretražnog elektronskog mikroskopa i utvrđena je najbolja marginalna adaptacija za punilo temeljeno na umjetnoj smoli, dok je najveća marginalna pukotina pronađena kod punila temeljenog na mineral trioksidu. Također je pronađeno slabije prodiranje

sva tri ispitivana punila u apikalnom dijelu korijenskog kanala što je objašnjeno manjim promjerom dentinskih tubulusa u apikanom dijelu. Al-Haddad A. i sur. (68) ispitivali su debljinu i adaptaciju biokeramičkih punila na stijenku korijenskog dentina pomoću konfokalnog laserskog mikroskopa. Ispitivani materijali bili su: Sankine Apatite III, MTA Fillapex i EndoSequence BC punilo u usporedbi s AH Plus punilom. Prema rezultatima njihovog rada, EndoSequence BC punilo imalo je statistički značajno manju debljinu sloja na stijenci dentina u usporedbi s ostalim punilima, što posljedično utječe i na dobro brtvljenje materijala u korijenskom kanalu. EndoSequence BC punilo po svom kemijskom sastavu istovjetno je MTA Fillapexu, osim što još sadrži kalcijev fosfat. Međutim, za razliku u debljini sloja dvaju punila na stijenci dentina s istim sastavom smatra se odgovornim visoki sadržaj kalcijeva silikata u EndoSequence BC punilu, zbog čega ne dolazi do skvrčavanja za vrijeme stvrdnjavanja (68).

Bioaktivni materijali MTA, Biodentin i biokeramika hidrofilni su i stvrdnjavaju se uz prisutnost vlage. Stoga se u endodonciji primjenjuju kod direktnog i indirektnog prekrivanja pulpe, brtvljenja perforacija i otvorenih furkacija korijena, interne i eksterne resorpcije te kao materijali pri ortogradnom punjenju korijenskih kanala. U endodontskoj kirurgiji primjenjuju za retrogradno punjenje korijenskih kanala, a u pedodonciji se koriste pri postupcima apeksogeneze i apeksifikacije. Biokeramika se koristi i u maksilofacijalnoj i oralnoj kirurgiji, dentalnoj implantologiji te parodontologiji.

## 5. ZAKLJUČCI

1. U skupinu bioaktivnih materijala za punjenje korijenskih kanala ubrajaju se MTA, Biodentin i biokeramika.
2. Prednost bioaktivnih materijala njihova je biokompatibilnost, odnosno sposobnost poticanja regeneracije i reparacije defekata tvrdog zubnog tkiva te očuvanje vitaliteta tkiva.
3. Pri prepunjenju korijenskog kanala ne izazivaju upalnu reakciju periapikalnog tkiva.
4. Bioaktivni materijali su hidrofilni i pri stvrdnjavanju zahtijevaju prisutnost vlage.
5. Ostvaruju kemijsku vezu s dentinom stvaranjem i precipitacijom kristala hidroksiapatita.
6. Zbog visokog udjela kalcijeva silikata ne kontrahiraju za vrijeme stvrdnjavanja.
7. Alkalnog su karaktera, otpuštaju kalcijeve ione i imaju izraziti antimikrobni učinak.

## 6. SAŽETAK

Endodontska se terapija sastoji u uklanjanju patološki promijenjenog tkiva, mikroorganizama i ostalih iritansa mehaničko-kemijskom obradom korijenskog kanala. Posljednja faza liječenja je opturacija korijenskog kanala materijalima za punjenje. Iako postoji čitav spektar različitih materijala za punjenje korijenskog kanala, u posljednje su se vrijeme na tržištu pojavili bioaktivni materijali za punjenje korijenskih kanala s poboljšanim fizičko-mehaničkim i biološkim svojstvima. Mineral trioksid agregat, Biodentin i biokeramika potiču regeneraciju i reparaciju defekata tvrdog zubnog tkiva i teže očuvanju vitaliteta tkiva. Pri kontaktu s tkivom ne izazivaju upalnu reakciju. Alkalni su i imaju izrazito antimikrobni učinak. Kemijski se vežu s dentinom, a pri stvrdnjavanju ekspandiraju čime osiguravaju dobro brtvljenje korijenskog kanala. Materijali su hidrofilni i za stvrdnjavanje im je potreban vlažan medij. Bioaktivni se materijali u endodonciji primjenjuju kod direktnog i indirektnog prekrivanja pulpe, zatvaranja perforacija i otvorenih furkacija korijena, interne i eksterne resorpcije te pri ortogradnom punjenju korijenskih kanala. U endodontskoj kirurgiji primjenjuju se za retrogradno punjenje korijenskih kanala, a u pedodonciji pri postupcima apeksogeneze i apeksifikacije. Osim u endodonciji, biokeramički materijali koriste se u maksilofacijalnoj i oralnoj kirurgiji, dentalnoj implantologiji i parodontologiji.

## **7. SUMMARY**

### **BIOACTIVE ROOT CANAL FILLING MATERIALS**

Endodontic therapy includes mechanical and chemical treatment of the root canal whereby pathologically altered tissue, microorganisms and other irritants are removed from the root canal. The last phase of endodontic treatment is obturation of the root canal with filling materials. Although there is a whole range of different materials available for root canal filling, bioactive materials with improved physical, mechanical and biological properties have recently appeared on the market. Mineral trioxide aggregate, Biodentine and bioceramics induce regeneration and reparation of hard tissue defects and aim to preserve tissue vitality. They do not cause inflammation in contact with vital tissue. They are alkaline and have a high antimicrobial effect. They form chemical bonds with the root canal dentinal walls and expand during the setting-time to ensure appropriate sealing of the root canal. The materials are hydrophilic and need moisture to harden. Bioactive material in endodontics is used for both direct and indirect pulp capping, repair of root perforations, open bifurcations, internal and external resorption and for orthograde filling of root canals. In endodontic surgery they are applied for retrograde root canal filling and in pediatric dentistry they are used for apexogenesis and apexification. Aside from endodontics, bioactive ceramics are used in maxillofacial and oral surgery, dental implantology and periodontology.

## 8. LITERATURA

1. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriological evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 1981 Aug;89(4):321-8.
2. Zjača K, Prskalo K. Materijali za punjenje korijenskog kanala. Sonda. Dostupno na:  
<http://sonda.sfzg.hr/wp-content/uploads/2015/04/Zja%C4%8Da-K-et-al.-%E2%80%93Materijali-za-punjenje-korijenskog-kanala.pdf>
3. Torabinejad M, Walton ER. *Endodoncija*. Zagreb: Naklada Slap; 2009. p. 298-322.
4. Cohen S, Burns RC. *Pathways of the dental pulp*. Toronto; Mosby; 1984.
5. Ørstavik D. Materials used for root canal obturation; technical, biological and clinical testing. *Endod Topics.* 2005 Nov;12:25–38.
6. Hench LL. Future developments and applications of biomaterials: an overview. *Biomater Med Devices Artif Organs.* 1979;7(2):339-50.
7. Williams DF. Definitions in biomaterials: Proceedings of a consensus conference of the European Society for Biomaterials; 1986 March 3–5; Chester, England. vol. 4 of *Progress in Biomedical Engineering*; Amsterdam: Elsevier; 1987.
8. Sun ZL, Wataha JC, Hanks CT. Effects of metal ions on osteoblast-like cell metabolism and differentiation. *J Biomed Mater Res.* 1997 Jan;34(1):29-37.
9. Schmalz G. Use of cell cultures for toxicity testing of dental materials- advantages and limitations. *J Dent.* 1994;22 Suppl 2:S6-11.

10. Camilleri J. Mineral trioxide aggregate: present and future developments. Endod Topics. 2015 May;32(1):31-46.
11. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-part I: chemical, physical and antibacterial properties. J Endod. 2010 Jan;36(1):16-27.
12. ProRoot MTA. Dostupno na:  
[https://www.google.hr/search?q=proroot+mta&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjrQWwvefOAhUHXBQKHVehDXUQ\\_AUICCgB#imgrc=eeSNvKrs0y78mM%3A](https://www.google.hr/search?q=proroot+mta&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjrQWwvefOAhUHXBQKHVehDXUQ_AUICCgB#imgrc=eeSNvKrs0y78mM%3A)
13. MTA Fillapex. Dostupno na:  
[https://www.google.hr/search?q=mta+fillapex&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwi1-Yucv-fOAhUMNxQKHfMQDxsQ\\_AUIBigB#tbn=isch&q=mta+fillapex+sealer&imgdii=gPM53Xgp2VUZUM%3A%3BgPM53Xgp2VUZUM%3A%3BEhm9NHCAT2-RwM%3A&imgrc=gPM53Xgp2VUZUM%3A](https://www.google.hr/search?q=mta+fillapex&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbn=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwi1-Yucv-fOAhUMNxQKHfMQDxsQ_AUIBigB#tbn=isch&q=mta+fillapex+sealer&imgdii=gPM53Xgp2VUZUM%3A%3BgPM53Xgp2VUZUM%3A%3BEhm9NHCAT2-RwM%3A&imgrc=gPM53Xgp2VUZUM%3A)
14. Sluyk SR, Moon PC, Hartwell GR. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation material. J Endod. 1998 Nov;24(11):768-71.
15. Divya D, Vedavathi B, Roopa R, Nadig, Preeti M. All is well that ends well. A review on root end filling materials. J Dent Sci Res. 2014 Sep;5(2):12-5.
16. Silva HFD, Andrade VLM, Mendez GV, Medellin RFJ, Benavidez GMV, Gonzalez BV. Physicalchemical analysis of mineral trioxide aggregate (MTA) by x-rays diffraction, calorimetry and electronic microscopy. Rev ADM. 2000;17(2):125-31.

17. Matt GD, Thorpe JR, Strother JM, McClanahan SB. Comparative study of white and gray mineral trioxide aggregate (MTA) simulating a one-or two-step apical barrier technique. *J Endod.* 2004 Dec;30(12):876-9.
18. Baranwal AK, Paul ML, Mazumdar D, Adhikari HD, Vyavahare NK, Jhajharia K. An ex-vivo comparative study of root-end marginal adaptation using grey mineral trioxide aggregate, white mineral trioxide aggregate, and Portland cement under scanning electron microscopy. *J Conserv Dent.* 2015 Sep-Oct;18(5):399-404.
19. 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 Dec;21(12):603-8.
20. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP. Tissue reaction to implanted Super-EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: A preliminary report. *J Endod.* 1995 Nov;21(11):569-71.
21. Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995 Jun;79(6):756-63.
22. Economides N, Pantelidou O, Kokkas A, Tzaifas D. Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide (MTA) as root-end filling material. *Int Endod J.* 2003 Jan;36(1):44-8.
23. Yaltirik M, Ozbas H, Bilgic B, Issever H. Reactions of connective tissue to mineral trioxide aggregate and amalgam. *J Endod.* 2004 Feb;30(2):95-9.



24. Baek SH, Plenk H Jr, Kim S. Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, Super-EBA, and MTA as root-end filling materials. *J Endod.* 2005 Jun;31(6):444-9.
25. Bogen G, Kuttler S. Mineral trioxide aggregate obturation: a review and case series. *J Endod.* 2009 Jun;35(6):777-90.
26. Manjusha R, Kavita V, Shweta S, Swapna M, Sheeba K. MTA-Root canal based sealers. *J Orofac Res.* 2013 Jan;3(1):16-21.
27. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999 Mar;25(3):197-205.
28. Kayahan MB, Nekoofar MH, Kazandag M, Canpolat C, Malkondu O, Kaptan F, et al. Effect of acid-etching procedure on physical properties of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2009 Oct;42(11):1004–14.
29. Biodentin. Dostupno na:  
[https://www.google.hr/search?q=CPM+sealer+EGO+SRL,+MTM+ARGENTINA&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjYid\\_8wOfOAhWEbhQKHbJNCpYQ\\_AUIBigB#tbm=isch&q=biodentine+septodont&imgc=S70\\_kd27xgRukM%3A](https://www.google.hr/search?q=CPM+sealer+EGO+SRL,+MTM+ARGENTINA&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjYid_8wOfOAhWEbhQKHbJNCpYQ_AUIBigB#tbm=isch&q=biodentine+septodont&imgc=S70_kd27xgRukM%3A)
30. Malkondu O, Kazandag MK, Kazazoglu E. A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *Biomed Res Int.* 2014 Jun; 2014:1-10.
31. Wang X, Sun H, Chang J. Characterization of Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>/CaCl<sub>2</sub> composite cement for dental application. *Dent Mater.* 2008 Jan;24(1):74-82.
32. Goldberg M, Pradelle-Plasse N, Tran X, Colon P, Laurent P, Aubut V, et al. Emerging trends in (bio)material researches. In: Goldberg M, editor.

- Biocompatibility or cytotoxic effects of dental composites. Oxford: Coxmoor Publishing; 2009. pp.181-203.
- 33.** Han L, Okiji T. Uptake of calcium and silicon released from calcium silicatebased endodontic materials into root canal dentine. *Int Endod J.* 2011 Dec;44(12):1081-7.
- 34.** Wang Y, Li X, Chang J, Wu C, Deng Y. Effect of tricalcium silicate (Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>) bioactive material on reducing enamel demineralization: an in vitro pH-cycling study. *J Dent.* 2012 Dec;40(12):1119-26.
- 35.** Craig RG, Peyton FA. Elastic and mechanical properties of human dentin. *J Dent Res.* 1958 Aug;37(4):710-8.
- 36.** Guneser MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *J Endod.* 2013 Mar;39(3):380-4.
- 37.** Aggarwal V, Singla M, Miglani S, Kohli S. Comparative evaluation of push-out bond strength of ProRoot MTA, Biodentine, and MTA Plus in furcation perforation repair. *J Conserv Dent.* 2013 Sep-Oct;16(5):462–5. Corrected and republished from: *J Conserv Dent.* 2014 Jan;17(1):95.
- 38.** El-Ma'aitha AM, Qualtrough AJ, Watts DC. The effect of smear layer on the push-out bond strength of root canal calcium silicate cements. *Dent Mater.* 2013 Jul;29(7):797-803.
- 39.** Tran XV, Gorin C, Willig C, Baroukh B, Pellat B, Decup F, et al. Effect of a calcium-silicate-based restorative cement on pulp repair. *J Dent Res.* 2012 Dec;91(12):1166-71.

40. Zanini M, Sautier JM, Berdal A, Simon S. Biodentine induces immortalized murine pulp cell differentiation into odontoblast-like cells and stimulates biomineralization. *J Endod.* 2012 Sep;38(9):1220-6.
41. Laurent P, Camps J, About I. Biodentine (TM) induces TGF-beta1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *Int Endod J.* 2012 May;45(5):439-48.
42. Best SM, Porter AE, Thian ES, Huang J. Bioceramics: Past, present and for the future. *J Eur Ceram Soc.* 2008;28:1319–27.
43. Hench L. Bioceramics: From concept to clinic. *J Am Ceram Soc.* 1991 Jul;74(7):1487–510.
44. Kossev D, Stefanov V. Ceramics-based sealers as new alternative to currently used endodontic sealers. *Roots.* 2009 Mar;1:42-8.
45. Richardson IG. The calcium silicate hydrates. *Cem Concr Res.* 2008 Feb;38(2):137-58.
46. Yang Q, Troczynski T, Liu D. Influence of apatite seeds on the synthesis of calcium phosphate cement. *Biomaterials.* 2002 Aug;23(13):2751-60.
47. Koch KA, Brave DG, Nasseh AA. Bioceramic technology: closing the endo-restorative circle, Part I. *Dent Today.* 2010 Feb;29(2):100–5.
48. Koch K, Brave D, Nasseh AA. A review of bioceramic technology in endodontics. 2012 Nov;(4):6-12.
49. Dohaithem A, Al-Nasser A, Al-Badah A, Al-Nazhan S, Al-Maflehi N. An in vitro evaluation of antifungal activity of Bioaggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011 Oct;112(4):e27-30.

- 50.** Lovato KF, Sedgley CM. Antibacterial activity of EndoSequence root repair material and ProRoot MTA against clinical isolates of *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2011 Nov;37(11):1542-6.
- 51.** Ghoneim AG, Lutfy RA, Sabet NE, Fayyad DM. Resistance to fracture of roots obturated with novel canal-filling systems. *J Endod.* 2011 Nov;37(11):1590-2.
- 52.** Koch K, Brave D. Bioceramic technology - the game changer in endodontics. *Endodontic Practice.* 2009 Apr;12:7–11.
- 53.** EndoSequence BC Sealer. Dostupno na:  
[https://www.google.hr/search?q=endosequence+bc+sealer+brasseler+usa&espv=2&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjII8Xgz-fOAhXC6RQKHfNQC14Q\\_AUIBygC#imgrc=uK-Dn3yp3paYDM%3A](https://www.google.hr/search?q=endosequence+bc+sealer+brasseler+usa&espv=2&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjII8Xgz-fOAhXC6RQKHfNQC14Q_AUIBygC#imgrc=uK-Dn3yp3paYDM%3A)
- 54.** Total Fill BC Sealer FGK. Dostupno na:  
[https://www.google.hr/search?q=total+fill+bc+sealer+fgk&espv=2&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwifxsCg0efOAhUFvBQKHWrkCYkQ\\_AUIBigB#imgrc=zUmuaTrRT45WM%3A](https://www.google.hr/search?q=total+fill+bc+sealer+fgk&espv=2&biw=1366&bih=623&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwifxsCg0efOAhUFvBQKHWrkCYkQ_AUIBigB#imgrc=zUmuaTrRT45WM%3A)
- 55.** Hashiguchi D, Fukushima H, Yasuda H, Masuda W, Tomikawa M, Morikawa K, et al. Mineral trioxide aggregate inhibits osteoclastic bone resorption. *J Dent Res.* 2011 Jul;90(7):912-7.
- 56.** Maeda T, Suzuki A, Yuzawa S, Baba Y, Kimura Y, Kato Y. Mineral trioxide aggregate induces osteoblastogenesis via Atf6. *Bone Reports.* 2015 Jun;2:36-43.

57. Gutmann JL, Dumsha TC, Lovdahl PE. Problem solving in endodontics. 4th edition. St Louis: Mosby-Elsevier, Chapter 1; 2006.
58. Salles LP, Gomes-Cornélio AL, Guimarães FC, Herrera BS, Bao SN, Rossa-Junior C, et al. Mineral trioxide aggregate-based endodontic sealer stimulates hydroxyapatite nucleation in human osteoblast-like cell culture. *J Endod.* 2012 Jul;38(7):971-6.
59. Zoufan K, Jiang J, Komabayashi T, Wang YH, Safavi KE, Zhu Q. Cytotoxicity evaluation of GuttaFlow and EndoSequence BC sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011 Nov;112(5):657–61.
60. Mukhtar-Fayyad D. Cytocompatibility of new bioceramic-based materials on human fibroblast cells (MRC-5). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011 Dec;112(6):e137-42.
61. Morgental RD, Vier-Pelisser FV, Oliveira SD, Antunes FC, Cogo DM, Kopper PM. Antibacterial activity of two MTA-based root canal sealers. *Int Endod J.* 2011 Dec;44(12):1128-33.
62. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater.* 2003 May;19(3):199-205.
63. Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. *J Endod.* 2005 Aug;31(8):584–9.
64. Alani A, Knowles JC, Chrzanowski W, Ng YL, Gulabivala K. Ion release characteristics, precipitate formation and sealing ability of a phosphate glass-

polycaprolactone-based composite for use as a root canal obturation material. Dent Mater. 2009 Mar;25(3):400-10.

- 65.** Tay FR, Pashley DH, Yiu CK, Yau JY, Yiu-fai M, Loushine RJ, et al. Susceptibility of a polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. II. Gravimetric evaluation of enzymatic hydrolysis. J Endod. 2005 Oct;31(10):737-41.
- 66.** Mohn D, Bruhin C, Luechinger NA, Stark WJ, Imfeld T, Zehnder M. Composites made of flame-sprayed bioactive glass 45S5 and polymers: bioactivity and immediate sealing properties. Int Endod J. 2010 Nov;43(11):1037-46.
- 67.** Polineni S, Bolla N, Mandava P, Vemuri S, Mallela M, Gandham VM. Marginal adaptation of newer root canal sealers to dentin: A SEM study. J Conserv Dent. 2016 Jul-Aug;19(4):360-3.
- 68.** Al-Haddad A, Abu Kasim NH, Che Ab Aziz ZA. Interfacial adaptation and thickness of bioceramic-based root canal sealers. Dent Mater J. 2015 Aug;34(4):516-21.

## 9. ŽIVOTOPIS

**Maja Brestovac** rođena je 18. rujna 1990. godine u Slavonskom Brodu. Osnovnu i glazbenu školu završila je 2005. godine u Slavonskom Brodu, gdje zatim upisuje Prirodoslovno-matematičku gimnaziju. Godine 2009. upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Rektorovu nagradu za znanstveni rad naslova „Istraživanje subjektivnosti određivanja boje zubi vizualnom metodom“ osvaja u lipnju akademske godine 2014./2015. U listopadu iste godine sa znanstvenim postignućem sudjeluje na Međunarodnom kongresu „Minimalno invazivni pristup u dentalnoj medicini“ gdje osvaja 3. mjesto za najbolju poster-prezentaciju. Član je udruge za edukaciju djece o oralnom zdravlju i oralnoj higijeni „Zubić vila“.