

Biokermički materijali u endodonciji

Kramberger, Aleksandra

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:127:778883>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-10**



Repository / Repozitorij:

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





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
STOMATOLOŠKI FAKULTET

Aleksandra Kramberger

BIOKERAMIČKI MATERIJALI U ENDODONCIJI

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

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

Mentor rada: prof. dr. sc. Ivica Anić, Stomatološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

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

Lektor engleskog jezika:, prof. engleskog jezika i književnosti.

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 31 stranica
 5 tablica
 14 slika
 CD

Osim ako nije drukčije 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

Velika hvala mom mentoru i uzoru, prof. dr. sc. Ivici Aniću na uloženom trudu, pozitivnoj energiji i vječitoj inspiraciji.

Najveća hvala mojim roditeljima, jer su uvijek vjerovali u mene i bili mi neopisiva potpora za vrijeme studiranja.

Hvala Niki, Mariu i mojim kolegama, bez vas bi ovaj put bio puno teži.

Biokeramički materijali u endodonciji

Sažetak

Endodontsko liječenje zubi je postupak obrade korijenskog kanala kojime uklanjamo bakterije, ostatke pulpe te patološki promijenjeno tkivo. Korijenski kanal zatim punimo nadomjesnim materijalom koji brtvi prostor korijenskoga kanala ne dopuštajući ponovno naseljavanje mikroorganizama. U tu svrhu najčešće se koriste gutaperka i različiti cementi za punjenje korijenskih kanala, a u posljednje vrijeme i biokeramički materijali. Biokeramičke materijale dijelimo u dvije skupine: kalcij-fosfatno-silikatne biokeramike, te kalcij-silikatne biokeramike. Njihova svojstva biokompatibilnosti, sposobnost stvaranja hidroksiapatita te reparacija i regeneracija tkiva bitni su čimbenici kod izbora što kompatibilnijeg materijala za endodontsko punjenje korijenskoga kanala.

Ključne riječi: biokeramički materijali; biokompatibilnost; biokeramike; endodontsko punjenje

Bioceramics in endodontic treatment

Summary

Endodontic treatment of the teeth is a process in which with root canal instrumentation, bacteria, pulp residues and pathologically changed tissues are removed. The root canal is then filled with a substitute material that seals the entire root canal for the purpose of protecting it from bacteria penetration. The most commonly used materials are gutta-percha, various root canal filling cements, and recently, bio-ceramic materials. We divide them into two groups, calcium phosphate-silicate bioceramics, and calcium-silicate bioceramics. Their properties of biocompatibility, the ability to produce hydroxyapatite, tissue reparation and regeneration are essential factors in choosing the most compatible material for endodontic filling of the root canal.

Key words: bioactive materials; MTA; Biodentine; bioceramics; retrograde filling

Sadržaj

1. UVOD	1
2. BIOKERAMIČKI MATERIALI	4
2.1. SVOJSTVA BIOKERAMIČKIH MATERIJALA	4
2.1.1. Biokompatibilnost	4
2.1.2. Vrijeme stvrdnjavanja biokompatibilnih materijala	5
2.1.3. Viskoznost materijala	6
2.1.4. Topljivost materijala	6
2.1.5. Radioopacitet	7
2.1.6. Antimikrobna svojstva	7
2.1.7. Adhezija biokeramičkih punila	8
2.2. BIOKERAMIČKI MATERIJALI DOSTUPNI NA TRŽIŠTU	9
2.2.1. Biokeramike bazirane na kalcij-silikatnim spojevima	9
2.2.2. Biokeramike bazirane na kalcij-fosfatno-silikatnim spojevima	20
3. RASPRAVA	23
4. ZAKLJUČAK	26
5. LITERATURA	27
6. ŽIVOTOPIS	31

Popis skraćenica:

MTA – mineral trioksid agregat, eng. Mineral Trioxide Aggregate

ISO - eng. International Organization for Standardization

1. UVOD

Endodontsko liječenje zuba zahvat je kojim uklanjamo iritanse, patogene mikroorganizme, nekrotično tkivo te ostatke zubne pulpe u svrhu očuvanja funkcije zuba. Ishod endodontskog liječenja, između ostalog, ovisi o stanju zubne pulpe i periapikalnog tkiva prije endodontskog liječenja (1). Punjenje korijenskog kanala je završna faza postupka, a materijal kojim punimo kanal osigurava trajno brtvljenje glavnoga kanala, apikalnih otvora, lateralnih te akcesornih kanala. Materijali koji se koriste kao punilo moraju biti biokompatibilni, radiokontrastni, bakteriostatični, moraju se lako unositi u kanal, dobro adherirati uz stijenku dentina, polako se stvrdnjavati te moraju biti netopljivi u tkivnim tekućinama (2).

Dosad je proveden velik broj istraživanja sastava materijala za punjenje korijenskih kanala zuba. Istraživali su se materijali temeljeni na cink oksid eugenolu, kalcijevom hidroksidu, silikonu, staklenoionomernim cementima, kao i najnoviji biokeramički materijali (3).

Biokeramički materijali su biokompatibilni spojevi dobiveni *in situ* i *in vivo*, postupkom različitih kemijskih procesa. Pokazuju odlična biokompatibilna svojstva koja su produkt njihove sličnosti s prirodnim hidroksiapatitom, koji također stvaraju u kemijskoj reakciji s vodom. U doticaju s dentinom uzrokuju regenerirajući proces stvaranja hidroksiapatita, a u kontaktu s kosti dovode do osteoindukcije koja rezultira stvaranjem nove kosti. U slučaju da se u blizini biokeramičkih materijala u tkivu nalazi već postojeći proces zacjeljivanja kosti, ti materijali će apsorbirati osteoinduktivne supstance te započeti svoj proces osteoindukcije. Uz dobru biokompatibilnost, posjeduju antibakterijska svojstva koja nastaju precipitacijom i sekvestracijom okolnih bakterija, *in situ*, nakon procesa stvrdnjavanja materijala. Nanokristali veličine 1-3 nm preveniraju adheziju bakterija, dok fluorid, koji je dio hidroksiapatitnih kristala, ima antibakterijska svojstva (4).

Termin „biokeramički materijali“ odnosi se na materijale koji u osnovi sadržavaju keramiku kao jednu od komponenti. Prema njihovoj mikrostrukturi i svojstvima dijelimo ih na: bioinertne, bioaktivne i bioresorbirajuće materijale. Bioinertni predstavnici, koji sadrže aluminij i cirkonij, ne djeluju osteoinduktivno ili osteokonduktivno. Nasuprot njima, bioaktivni predstavnici imaju navedenu sposobnost zbog svoje poroznosti i dobre adhezije na tvrda zubna tkiva. Među njih ubrajamo hidroksiapatit, bioaktivno staklo te staklene keramike. Bioresorbirajuće keramike djeluju prema principu zamjenske resorpcije, a predstavnici te

skupine materijala su trikalcij-silikati te kalcij-fosfati (5). Prvi biokeramički materijal uspješno upotrijebljen u endodontskom liječenju bio je mineral trioksid agregat (MTA, eng. mineral trioxide aggregate) cement u Kaliforniji (SAD) 1993. godine. Prvotna namjena bila mu je retrogradno punjenje korijenskih kanala te zatvaranje perforacija korijena zuba (6). Danas, osim MTA-a, na tržištu su i drugi biokompatibilni materijali kao što su: ProRoot MTA, Biodentine (slike 1 i 2), Endosequence BC sealer, Bioaggregate te Generex A (7).



Slika 1. Biodentin (Septodont)



Slika 2. Pakiranje praha i tekućine biokeramičkog materijala »Biodentin«, Septodont.

Iako su svojstva tih materijala potaknula njihovu primjenu u dentalnoj medicini, upotreba biokeramičkih proizvoda još uvijek je česta te komercijalni materijali nisu poznati većini današnjih doktora dentalne medicine.

SVRHA RADA

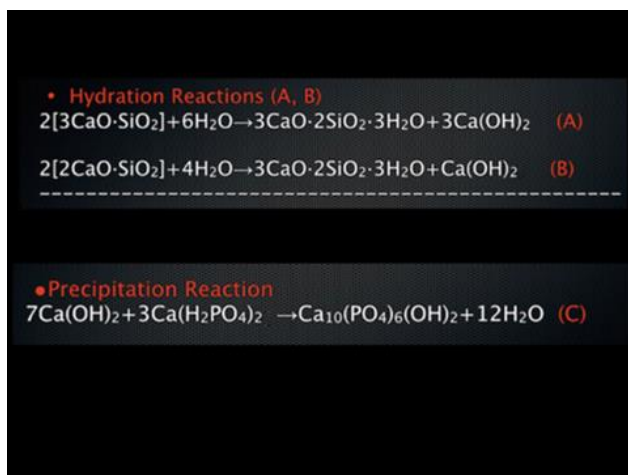
Svrha rada je prikazati različite biokeramičke materijale te njihova svojstva i upotrebu u endodontskom liječenju zuba i usporediti ih s dosadašnjim materijalima za punjenje korijenskog kanala.

2. BIOKERAMIČKI MATERIALI

2.1. SVOJSTVA BIOKERAMIČKIH MATERIJALA

2.1.1. Biokompatibilnost

Biokompatibilnost je jedna od najbitnijih značajki u izboru materijala za endodontsko punjenje korijenskih kanala. Definira se kao sposobnost materijala da postigne pravilan i povoljan odgovor tkiva domaćina u specifičnim situacijama (8). Drugim riječima, materijal se smatra biokompatibilnim kad u kontaktu s tkivom ne izazove toksičnu, upalnu, alergijsku ili karcinogenu reakciju (9). Istraživanja se većinom provode kroz *in vitro* ispitivanja citotoksičnosti i mutagenog djelovanja materijala, odnosno, njegova utjecaja na preživljenje i sposobnost razmnažanja stanica bez promjena DNK stanice. Stanice koje se najčešće koriste za tu svrhu su humani i mišji osteoblasti, te stanice humanog periodontnog ligamenta (10, 11). Većina biokeramičkih materijala se pokazala kao biokompatibilna, što se može pripisati kalcij-fosfatu u samome punilu, kao i stvaranju hidroksiapatita tijekom stvrdnjavanja (slika 3). Kalcij-fosfat je glavna građevna, anorganska supstanca tvrdih tkiva kao što su kosti i zubi. Zbog tog svojstva je, u znanstvenoj literaturi, nađeno da su biokeramička punila sposobna potaknuti regeneraciju kosti djelovanjem kroz apikalni foramen ili mjesta perforacije korijena, jer na tim mjestima materijal može difundirati i doći u bliski kontakt s koštanim tkivom (12).



Slika 3. Kemijska reakcija biokeramike i vode pri čemu nastaje spoj kalcij hidroksiapatit.

Preuzeto (13).

2.1.2. Vrijeme stvrdnjavanja biokompatibilnih materijala

Idealan materijal za punjenje korijenskih kanala trebao bi pružiti terapeutu dovoljno vremena za rukovanje i trebao bi se brzo stvrdnuti nakon unošenja u korijenski kanal zuba. Predugo stvrdnjavanje punila može izazvati iritaciju okolnog tkiva. Svaki od biokeramičkih materijala podvrgnutih ispitivanju je pokazao određeni stupanj toksičnosti. Prisustvo vode ubrzava proces stvrdnjavanja pa se pretpostavlja da se kod pacijenata s izrazito suhim kanalima vrijeme stvrdnjavanja materijala može znatno produžiti (14). Potrebno je razlikovati pojmove kao što su «inicijalno vrijeme stvrdnjavanja» i «završno vrijeme stvrdnjavanja». Primjerice, proizvođač navodi da se Biodentin stvrdnjava u roku od 9 do 12 minuta (tablica 1) (15), dok autori Grech i sur. (16) navode da je vrijeme stvrdnjavanja Biodentina 45 minuta.

Tablica 1. Vrijeme stvrdnjavanja i poroznost MTA i Biodentina. Preuzeto(15).

Materijal	Početno vrijeme stvrdnjavanja u minutama	Završno vrijeme stvrdnjavanja u minutama	Poroznost gustoća (g/cm ²)
MTA (ProRoot)	70	175	1.882 (0,002)
Biodentine	6	10,1	2,260 (0,002)

Iz rezultata je vidljivo da je vrijeme stvrdnjavanja Biodentina oko 6 minuta, dok završno stvrdnjavanje traje do 10 minuta. Vrijeme stvrdnjavanja Biodentina je usporedivo s vremenom stvrdnjavanja amalgama.

2.1.3. Viskoznost materijala

Viskoznost je esencijalno svojstvo koje dozvoljava ili ne dozvoljava materijalu za punjenje ulazak u teško dostupna mjesta kao što su dentinske nepravilnosti, suženja, akcesorni kanali, uska mjesta između glavne i sekundarnih gutaperki te lateralnih kanala. Prema ISO 6876/2001 standardu, materijal ne bi trebao imati viskoznost manju od 20mm (17). Faktori koji utječu na svojstvo viskoznosti su veličina čestica, temperatura, stopa smicanja te vrijeme miješanja. Kod procjenjivanja se u obzir uzima širina dentalnih tubulusa te način unosa, a mjeri se reometrijskom metodom (3).

2.1.4. Topljivost materijala

Topljivost je gubitak mase nekog materijala u vodi u određenom vremenu. Prema ANSI/ADA specifikaciji materijal ne bi smio izgubiti više od 3% svoje mase (18). Jako topljiv materijal bi omogućavao formiranje prostora između dentina te punila korijenskog kanala i tako stvarao prostor za mikropropuštanje iz kaviteta te periapikalnog prostora (3). Grech i sur (16) navode negativnu topljivost za Biodentin i Bioaggregate objašnjavajući to taloženjem hidroksiapatita na površini materijala u kontaktu sa sintetičkom tkivnom tekućinom (slika 3).

2.1.5. Radioopacitet

Materijal za punjenje korijenskih kanala bi trebao biti dovoljno nepropustan za RTG zrake da se može razlikovati od susjednih anatomskih struktura. To omogućava procjenu kvalitete punjenja na radiografskoj slici (19). Prema ISO 6876/2001, minimalni radioopacitet za punila korijenskih kanala temeljen je na standardu 3 mm debljine aluminijske folije. Za biokeramiku (Biodentin i Bioagregat), Grech i suradnici (16) nalaze da je vrijednost radioopaciteta za navedene materijale veća od kontrastnosti 3 mm aluminija.

2.1.6. Antimikrobna svojstva

Antimikrobna aktivnost endodontskih punila povećava uspješnost endodontskog liječenja eliminacijom zaostalih intraradikularnih mikroba, ili pak eliminacijom bakterija koje su invadirale duboko u kanal procesom mikropropuštanja. Visoki pH (>11) uzrokuje raspad vodikovih veza u DNA-u bakterija (20). Prema literaturi, antimikrobno svojstvo biokeramičkih punila leži u njihovoj bazičnosti i sposobnosti otpuštanja iona kalcija, koji potiču cijeljenje depozicijom otpuštenih iona u mineralizirano tkivo (21).

Enterococcus faecalis je najčešće izolirana bakterija iz korijenskih kanala zuba i periapikalnih područja zahvaćenog zuba. Zbog toga i zbog svoje velike otpornosti se najčešće koristi za ispitivanje antibakterijskih svojstava biokeramičkih i svih ostalih materijala za punjenje. Druge bakterije, kao što su *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* te *Streptococcus mutans* također su bile upotrijebljene u istraživanjima (22). Autori Singh i sur. (23). su objavili da biokeramički materijali (u prvom redu EndoSequence BC) pokazuju bolja antibakterijska svojstva od smola i cink-oksida-eugenol cemenata.

2.1.7. Adhezija biokeramičkih punila

Adhezija biokeramičkih materijala/punila definira se kao adherencija materijala prema dentinskoj stijenci te sposobnost materijala da poveže gutaperke međusobno i s dentinom (24). Standardne metode koja se koristi za mjerenje mehaničke adhezije nema, ali se zato koristi mjerenje mikropropuštanja te jačine »lijepljenja«, da bi se utvrdila sposobnost adhezije nekog materijala. Sposobnost brtvljenja punila je povezana s njegovom topljivošću te adhezijom na dentin i gutaperku. Jačina adhezije je sila koja je na određenoj površini potrebna da se adhezivni materijal odlijepi od dentina. Istraživanjima se utvrdilo da je prisutnost takozvanog »monobloka«, koji stvaraju punilo, gutaperka te stijenka dentina, bitna u promatranju ponašanja biokeramičkih punila. Veza koja se ostvaruje je od esencijalne važnosti za održavanje integriteta punila pri daljnjoj preparaciji za nadogradnje, kao i za samu trajnost endodontski izliječenog zuba (25).

2.2. BIOKERAMIČKI MATERIJALI DOSTUPNI NA TRŽIŠTU

Ovisno o sastavu, biokeramičke materijale možemo podijeliti na kalcij-silikatne biokeramike i kalcij-fosfatno-silikatne biokeramike (tablica 2).

Tablica 2: Podjela biokeramičkih materijala prema sastavu (tvornička imena materijala).
Preuzeto: (26).

Kalcij-silikatni biokeramički materijali	Kalcij-fosfatno-silikatni biokeramički materijali
ProRoot MTA	Bioaggregate
MTA Angelus	Endosequence Root Repair Material
MTA Plus	Tech biosealer
Endocem	
Retro MTA	
Biodentine	
BioRoot RCS	
TotalFill	
MTA Fillapex	

2.2.1. Biokeramike bazirane na kalcij-silikatnim spojevima

Većina biokeramičkih materijala temelji se na trikalcij- i dikalcij-silikatnim spojevima. Sastoji se od krutog i tekućeg dijela, a sastav jednog i drugog ovisi o materijalu i proizvođaču. Kad silikati reagiraju s vodom, stvara se kalcij-silikatni gel (CSH), primarno koloidni gel koji se s vremenom stvrdnjava. Bioaktivnost tog materijala potječe i od otpuštanja kalcij hidroksida (CH) za vrijeme tog procesa (5).

ProRoot MTA

ProoRoot MTA (Denstplay Tulsa Dental, Tulsa, OK, USA) smatra se prototipom biokeramičkih materijala. Razvijen je 1993. godine (Loma Linda University), a patent je registriran dvije godine kasnije. U početku je materijal bio sive boje, a takozvani „bijeli“ oblik tog materijala javnosti je predstavljen 2002. godine. MTA je najčešće istraživani biokeramički materijal i dokazano je da je MTA jedan od najmanje toksičnih materijala s najmanje mikropropuštanja. Kompresivna snaga MTA-a je oko 40 Mpa u 24 sata pod pritiskom od 67.3 Mpa kroz tri tjedna. Klinička upotreba svodi se na direktno i indirektno prekrivanje pulpe, prekrivanje perforacija i resorpcija korijenskog kanala, apeksifikaciju, te punjenje korijenskih kanala kod endodontskog liječenja i apikotomije (13).

MTA Angelus

MTA Angelus (Angelus, Londrina, Brazil) (slika 4) komercijalni je oblik MTA materijala koji sadržava 80% Portland cementa te 20% bizmut oksida. Kalcij sulfat je uklonjen iz tekućeg dijela da bi se skratilo vrijeme stvrdnjavanja na manje od 14 minuta. MTA Angelus pokazuje odličnu biokompatibilnost te sposobnost brtvljenja i formiranja kosti, no istraživanje koje je proveo J. Camilleri (27) pokazalo je da nedovoljno dobar proces sinteriranja dovodi do nepravilnosti u mineralnom sastavu. MTA Angelus je pokazao manji udio trikalcij silikata te veći udio kalcija, aluminijskih i silikonskih oksida od Biodentina. Veća proizvodnja kalcijevog hidroksida kao nusprodukta rezultira većom poroznošću i manje kompaktnom mikrostrukturom (28).



Slika 4. MTA Angelus biokeramika. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.

MTA Plus

MTA Plus (Avalon Biomed Inc. Bradenton, FL, USA) je sličan originalnom MTA-u s dvije važne razlike. Prah MTA Plus-a je finiji, a druga razlika je da se preporučuje prah miješati s gel-otopinom kada se koristi kao punilo nakon endodontskog liječenja. Gel sadržava polimere koji, tijekom miješanja, stvaraju specifičan film oko čestica i ne sadržava soli. Na tržištu su dostupne tri varijante tog materijala: Gray MTA Plus, MTA Plus i NeoMTA Plus.

- Gray MTA Plus dolazi u obliku praha i tekućine ili gela. Prah se sastoji od finih anorganskih čestica, sastava sličnog kao kod ProRoot MTA, a gel, na bazi vode, sadrži topljiva sredstva za zgušnjavanje i polimere. Gel pridonosi bržem stvrdnjavanju, a proizvođač preporučuje da se koristi konzistencija sirupa kad se koristi kao punilo nakon endodontskog liječenja (29).
- NeoMTA Plus je također sustav koji se sastoji od krute baze te tekućeg aktivatora. Komponente praha, većinom, dikalcij- i trikalcij-silikat, ali je promijenjen primarni sastava bijelog MTA-a. NeoMTA Plus ne sadrži bizmutov oksid koji uzrokuje pigmentaciju zubi. Umjesto bizmutovog oksida, dodan je tantalov oksid kao radioopaker. Radno vrijeme ovog materijala je 20 minuta, a vrijeme stvrdnjavanja je 50 minuta kad je zamiješan do gumaste (eng. putty) konzistencije. Vrijeme stvrdnjavanja se produžuje na 128 minuta u suhom okruženju, a u kontaktu s fiziološkom otopinom

na 1052 minute. Tlačna čvrstoća je bitno manja u usporedbi s MTA Plus-om (slika 5), (30).



Slika 5. MTA Plus. Preuzeto: (31).

Endocem

Endocem (Maruchi, Wonju, Korea) je skupina proizvoda dostupna u četiri različita oblika: Endocem MTA, Endocem Zr, Endoseal i Endoseal MTA.

- Endocem MTA je materijal koji sadržava fine čestice *pozzolana*. *Pozzolan* je materijal koji sadržava silikate i silikate s udjelom aluminija, koji imaju jako malo cementne vrijednosti, ali koji će u finom obliku i u prisutnosti vode kemijski reagirati s kalcijevim hidroksidom te tako stvoriti materijal s dobrim cementnim svojstvima. Ostali udio sličnog je sastava kao i ProRoot MTA. Proizvođač tvrdi da *pozzolan* blokira dentinske tubuluse te tako prevenira obojenje zubnih struktura. Vrijeme stvrdnjavanja je dvije do četiri minute (32).
- Endocem Zr sadržava cirkonij kao sastavni dio. Upotreba tog materijala slična je kao i kod bijelog MTA, no valja izbjegavati primjenu materijala na području direktne okluzalne sile jer je zabilježena manja vlačna čvrstoća nego kod standardnog MTA. Vrijeme stvrdnjavanja Endocem Zr je četiri minute.
- Endoseal je materijal koji sadržava smolu, a osnova je ista kao kod MTA.
- Endoseal MTA je materijal koji dolazi već izmiješan u šprici. Sadržava *pozzolan*, kalcij silikat, kalcij aluminat, kalcij aluminoforit, kalcij sulfat, radioopaker te sredstvo za zgušnjavanje. Vrijeme stvrdnjavanja je oko 12 minuta.

Otpuštanje iona kalcija iz otopine Endocem MTA te Endocem Zr je znatno manje u usporedbi s bijelim MTA, a kad su uronjeni u otopinu zasićenu fosfatima kroz 14 dana, nastali kristali su slični apatitu, ali s manjim udjelom kalcija i fosfata (31). Kod Endocem Zr je uočena citotoksičnost koja se s vremenom smanjuje, a razine vaskularnog endotelnog faktora rasta te angiogenina su bile niže nego kod ProRoot MTA (33).

Retro MTA i Ortho MTA

Retro MTA i Ortho MTA (BioMTA, Seoul, Korea) su materijali koji nisu puno istraživani, a svi podaci u većini slučajeva potječu od proizvođača. Glavni sastojak Ortho MTA je sličan ProRoot MTA-u, a to su trikalcij silikat, dikalcij silikat, trikalcij aluminij, tetrakalcij aluminoforit, kalcij oksid te bizmut oksid. Preporučuje se kao materijal kojim, nakon apikotomije, punimo retrogradne kavitete na apeksu korijena.

Retro MTA je prah koji sadrži fine hidrofilne čestice kalcijevog karbonata, silicijevog dioksida, aluminijevog oksida, a kao radioopaker se koristi kalcij-cirkonij kompleks. Retro MTA je više granuliran od Ortho verzije te brže stvrdnjava što je pogodno kod prekrivanja eksponirane pulpe. Vrijeme stvrdnjavanja je oko 1,5 do 2,5 minute. U istraživanju gdje su uspoređivali citotoksičnost ta dva materijala, te stakleno-ionomerne cemente, dokazalo se da je stakleno-ionomerni cement više biokompatibilan (34).

BioRoot RCS (Septodont)



Slika 6. BioRoot RCS, biokeramički materijal za punjenje korijenskih kanala zuba. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.

Endodontska biokeramika nije osjetljiva na kontaminaciju vlagom ili krvlju i nije osjetljiva na tehniku kojom se koristi. Dimenzijski je stabilna, ali malo expandira tijekom stvrdnjavanja. Tvrdna je i netopljiva, a zbog hidratacijske reakcije ima visoki pH 12. Stvoreni kalcijev hidroksid se kasnije disocira na kalcijeve i hidroksilne ione. Zbog visokog pH i posljedičnog antibakterijskog učinka, u kliničkoj primjeni može potaknuti cijeljenje tkiva nakon endodontskog zahvata (slike 7,8,9)



Slika 7. način miješanja praha i tekućine BioRoot RCS biokeramičkog materijala . Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.



Slika 8. Ortopantomogram čeljusti. Na zubu 45 vidljivo je nepotpuno punjenje korijenskog kanala i patološko prosvjetljenje periradikularnog tkiva. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.



Slika 9. Na zubu 45 napravljena je revizija punjenja i korijenski kanal ispunjen je biokeramičkim materijalom (BioRoot) i gutaperkom. Nakon godine i pol vidljivo je cijeljenje periradikularne lezije na zubu 45. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.

Total Fill

Total Fill, Endosequence BC Sealer (Brassler, Savannah, SAD), (slike 10, 11) je već zamiješana pasta bijele boje koja je po sastavu biokeramika. Sastoji se od trikalcij-silikata, dikalcij-silikata, koloidnog silicijevog dioksida, kalcijevog fosfata, kalcijevog hidroksida te sredstva za zgušnjavanje. Kao radioopaker je korišten cirkonijev oksid, a materijal je, navodno, netopljiv, ne sadržava aluminij te se ne kontrahira tijekom stvrdnjavanja. Vrijeme stvrdnjavanja ovisi o vlažnosti za vrijeme primjene, najčešće je to oko četiri sata. Ako je dentin jako suh, stvrdnjavanje može trajati i 10 sati. Tijekom stvrdnjavanja pH može biti viši od 12, što pridonosi antibakterijskim svojstvima (35).



Slika 10. TotalFill biokeramička pasta za reparaciju stijenke korijenskih kanala i dentina.
Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.



Slika 11. TotalFill biokeramičko punilo za korijenskih kanala zuba. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.

MTA Fillapex

MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Brazil), (slika 12) je materijal koji se sastoji od dvije paste koje su umetnute u jednu tubu ili se nalaze zasebno u tubama. Pasta A se sastoji od silikatne mase te bizmutovog trioksida kao radioopakera. Pasta B se sastoji od smole kao baze, MTA u omjeru od 13.2%, silicijevog dioksida, te titanijevog dioksida kao punila. Vrijeme stvrdnjavanja je oko 4,5 sata, a materijal je, navodno viskoziji, manje topljiv i apsorbira manje vode od AH Plus-a (36).



Slika 12. MTA-Fillapex.

Biodentine

Biodentin (Septodont, Saint Maur des Fosses, France) je razvila Septodont grupa kao novu vrstu materijala koji spaja visoka mehanička svojstva s biokompatibilnošću te bioaktivnošću. Prema ISO standardima, Biodentin je jedan od najboljih materijala za nadomještanje dentina.

Septodont je razvio novu tehnološku platformu zvanu Active Biosilicate Technology kod koje se prati svaki stadij proizvodnje materijala, počevši od čistoće sirovina koje se koriste (tablice 3 i 4). U ostalim silikatnim cementima je najzastupljeniji »Portland cement« koji se dobiva iz građevinske industrije, što znači da svi ti produkti sadržavaju nečiste smjese kalcij-silikata, kalcij-aluminata, kalcij-aluminoferita te kalcij-sulfata, uz male koncentracije metalnih nečistoća iz prirodnih minerala korištenih u proizvodnji. Jedini način da se dobije materijal bez nečistoća je da se sintetizira, što je Septodont i uspio (37).

Reakcija stvrdnjavanja odvija se pod utjecajem vode, što znači da trikalcij-silikat reakcijom hidracije stvara kalcij-silikatni gel te kalcijev hidroksid. Proces disolucije se zbiva na površini svake granule kalcij-silikata, a višak kalcijevog hidroksida precipitira na površinu čestica te u pore praha. Preostali trikalcij-silikat, koji nije reagirao, okružen je slojevima kalcij-silikatnog gela koji su nepropusni za vodu, što znatno usporava daljnje reakcije.

Da bi se postigla formula s kratkim vremenom stvrdnjavanja (12 minuta) te mehaničkim svojstvima sličnim prirodnom dentinu, kalcij-silikat se mora miješati s drugim sirovinama kao što je dikalcij-silikat, dikalcij-karbonat, željezov oksid te cirkonijev oksid.

Tablica 3: Sastav praha Biodentina. Preuzeto: (38).

Sastav praha	
Tri-kalcij silikat (C3S)	Glavni materijal
Dikalci-j silikat (C2S)	Potporni materijal
Kalcijev karbonat i oksid	Punilo
Željezov oksid	Nijansa
Cirkonijev oksid	Radioopaker

Tablica 4: Sastav tekućeg dijela Biodentina. Preuzeto: (38).

Sastav tekućine	
Kalcijev klorid	Akcelerator
Hidrofilni polimer	Sredstvo za redukciju vode

Gustoća i porozitet

Mehanička rezistencija uvelike ovisi o niskoj razini poroziteta, što je niži porozitet, to je veća mehanička tvrdoća. Mjeri se intruzijom žive u pore, gdje je tlak potreban za intruziju elementa određen promjerom pora.

Tablica 5: porozitet biokeramičkih materijala (tvornička imena). Preuzeto: (38).

Materijal	Karakteristike poroziteta		
	Gustoća g/cm ³	Pore V.cm ³ /g	Porozitet %
PMTA	1.882	0.120	22.6
FUJI IX	2.320	0.033	7.2
BIODENTINE	2.26	0.031	6.8

Vidljivo je da Biodentin ima manju poroznost nego Pro Root MTA, a gustoća i poroznost Biodentina i Fuji IX su skoro jednake.

Biokompatibilnost

Citotoksični testovi koji su izvođeni na ljudskim fibroblastima su pokazali da Biodentin ne pokazuje citotoksičnost ni genotoksičnost, ne podražuje ni oči ni kožu. S fosfatom iz tjelesnih tekućina, Biodentin formira hidroksiapatitne precipitate koji penetriraju u dentinske tubuluse (38).

2.2.2. Biokeramike bazirane na kalcij-fosfatno-silikatnim spojevima

BioAggregate

BioAggregate (Innovative Bioceramics Inc., Vancouver, Canada) je bijeli nanomaterijal, čije čestice nisu veće od 2 mikrona. Sastoji se od trikalcij-silikata i dikalcij-silikata, te ne sadrži aluminij. Umjesto bizmutovog oksida, kao radioopaker korišten je tantalov pentoksid, što znatno smanjuje diskoloraciju zuba (39). Biokompatibilnost je slična onoj kod MTA i Biodentina, ali kompresivna snaga tog materijala znatno je niža. Vrijeme stvrdnjavanja je do 4 sata (40).

Endosequence

Endosequence (Brassler USA, Savannah, GA, USA), (slike 13 i 14) je materijal napravljen za trajno punjenje kanala s dužim vremenom rukovanja te kraćim vremenom stvrdnjavanja. Sadrži kalcij-silikate, cirkonijeve okside te tantalov oksid. Pojavljuje se pod različitim imenima, ovisno o državi proizvodnje (Iroot injectable sealer i iRoot BP u Kanadi te TotalFill u Švicarskoj). Oblici u kojima dolazi mogu biti više tekući te se injektirati u kanal, a TotalFill Putty je u obliku paste koja se oblikuje prema želji, unosi se i utiskuje u kanale. Vrijeme stvrdnjavanja je otprilike dva sata za injektabilne oblike punila, a 20 minuta za TotalFill Fast-Set Putty (41).



Slika 13. EndoSequence gutaperke obložene nano česticama biokeramike. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.



Slika 14. EndoSequence biokeramičko punilo korijenskih kanala. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Ivice Anića.

Tech Biosealer

Tech Biosealer (Isasan SRL, Rovellor Porro, Italy) ima četiri varijacije: Biosealer Endo, Tech Biosealer Root End, Tech Biosealer Apex i Tech Biosealer Capping. Točne razlike između materijala nisu poznate, a bazirani su na filosilikatima, trikalcij-silikatima, kalcij-sulfatima, kalcij-kloritima, bizmutovom trioksidu te natrijevom fluoridu (42).

3. RASPRAVA

Biokeramički materijali su biokompatibilni keramički spojevi dobiveni i *in situ* i *in vivo*, različitim kemijskim procesima. Biokeramika pokazuje izvrsna svojstva biokompatibilnosti zbog njihove sličnosti s biološkim hidroksiapatitom. Tijekom procesa hidratacije proizvode različite spojeve, npr. hidroksiapatite, s mogućnošću induciranja regenerativnog odgovora u ljudskom tijelu (4). Biokeramika također posjeduje antibakterijska svojstva. Ta svojstva se javljaju kao rezultat taloženja *in situ* nakon postavljanja ili unosa materijala, što je fenomen koji dovodi do sekvenciranja bakterija. Biokeramiku tvore porozni prašak koji sadrži nanokristale promjera 1-3 nm, koji sprječavaju bakterijsku adheziju. Konzistencija materijala, slična pasti, dozvoljava biokeramici da u cijelosti ispuni korijenski kanal te se, nakon stvrdnjavanja, ne kontrahira i ne stvara pukotine u punilu, što znatno pridonosi konačnom rezultatu (43).

Ostali materijali koji su se koristili ili se još koriste kao punilo u endodontskom postupku su cink-oksidi eugenol paste, epoksidne smole, kompoziti, paste kalcijevog hidroksida te stakleno-ionomerni cementi.

Kod pasta baziranih na cink-oksidi eugenolu dolazi do sprečavanja polimerizacije bonda i kompozita. Naime, u istraživanju koje su proveli Carvalho, Bauer i Reis (University of São Paulo, São Paulo, Brazil) (44) dokazano je da eugenol utječe na samu polimerizaciju kompozita te mijenja i otapa zaostatni sloj. Polimerizaciju smole inhibira eugenol, što rezultira prekinutim i oslabljenim vezama u polimerima te tako smanjuje kvalitetu i čvrstoću samog ispuna. Zaostatni sloj koji je promijenjen djelovanjem eugenola utječe na vezu između dentina i bonda. Takva veza je slaba i sprečava kvalitetno vezanje tih dviju komponenti (44).

U usporedbi s biokeramičkim materijalima za punjenje kanala, cink-oksidi eugenolni cementi znatno utječu na postendodontsku opskrbu zuba kompozitnim materijalima pa je prednost biokeramike neupitna.

Epoksidne smole je u endodociju uveo A. Schroeder 1981. godine. Danas se smole u raznim oblicima i modifikacijama i dalje koriste u endodonciji (45). Ju Kyung Lee je 2017. objavio rad u kojemu je uspoređivao tri biokeramička punila s tri vrste punila bazirana na epoksidnim smolama (46).

Ispitivana su tri biokemijska sredstva za brtvljenje (EndoSequence BC sealant, EndoSeal MTA i MTA Fillapex) i tri brtvila na bazi epoksidne smole (AH-Plus, AD Seal i Radic-Sealer) kako bi se procijenile fizikalno-kemijske osobine: viskoznost, dimenzijska stabilnost i promjena pH. Biokeramički MTA Fillapex imao je najbolju viskoznost dok je BC Sealer pokazao znatno manju viskoznost od ostalih. EndoSeal MTA imao je najduže vrijeme među

Commented [IA1]: Nema ove reference. Pod brojem 46 je drugi autor

mjerljivim materijalima. BC Sealer je pokazao najvišu pH vrijednost u svim mjerenjima. Tri brtvila temeljena na epoksidnoj smoli i EndoSeal MTA pokazala su značajno povećanje vrijednosti pH tijekom eksperimenta (četiri tjedna) (47). Zaključno, biokeramike i brtvila na bazi epoksidnih smola pokazali su klinički prihvatljive rezultate biokompatibilnosti dok epoksidne smole pokazuju citotoksičnost do sedam dana nakon unosa u kanal. Temeljem toga, uporaba biokeramike za punjenje kanala je bolje rješenje u pogledu biokompatibilnosti u odnosu na epoksidne smole (48).

U istraživanju provedenom 1995. godine u Torontu, Kanada, S. Friedman i sur. (49) istraživani su stakleno-ionomerne cemente (Ketac-Endo) kao punila u korijenskom kanalu. Materijali temeljeni na staklenom ionomeru korišteni su uz gutaperku i pokazali su dobro brtvljenje kanala, posebno u srednjoj trećini i u apikalnom dijelu. Mjerenja su provedena odmah nakon zahvata. Međutim, stakleno-ionomerni cementi s vremenom kontrahiraju, što dovodi do stvaranja mikro-prostora te pukotina u samom materijalu i između stakleno-ionomernog cementa te stijenki korijenskog kanala. Za razliku, biokeramički materijali ne kontrahiraju već blago ekspandiraju.

Problem može predstavljati otežano uklanjanje stakleno-ionomernih cemenata iz korijenskog kanala u slučaju potrebe za revizijom endodontskog punila (49). Suprotno tome, biokeramički materijali se jednako ili znatno lakše uklanjaju iz korijenskog kanala, ako se za time ukaže potreba.

Kalcijev hidroksid se već desetljećima koristi u endodontskim zahvatima kao materijal za poticanje apeksifikacije i apeksogeneze kod mladih pacijenata, kao materijal za indirektno i direktno prekrivanje pulpe ili kao punilo za korijenske kanale. Njegova viskoznost pridonosi lakoći rukovanja i lakšoj primjeni, međutim, njegova topljivost te loša mehanička svojstva predstavljaju klinički problem. Kalcijev hidroksid se u prisustvu vode te ostalih tjelesnih tekućina (slina, krv) otapa, što smanjuje njegovu mehaničku čvrstoću i mogućnost brtvljenja (50). U istraživanjima toksičnosti pokazao je određenu citotoksičnost nakon primjene za razliku od biokeramike (51).

Biokeramički materijali su vrlo dobar, ako ne i najbolji materijal koji možemo koristiti za punjenje korijenskog kanala, zatvaranje probijene stijenke zuba ispod razine gingive i kosti te za direktno i indirektno prekrivanje zubne pulpe. Nijedan materijal zasad ne postiže tako dobra biokompatibilna svojstva, a sposobnost stvaranja hidroksiapatita kod ostalih materijala još nije otkrivena. Ne kontrahira za vrijeme rukovanja ni kasnije tijekom vremena u korijenskom kanalu pa volumen punila ostaje gotovo nepromijenjen (pokazuju laganu ekspanziju). Ne interferiraju s drugim materijalima i ne ometaju polimerizaciju materijala kao što su stakleno-ionomerni

cementi ili kompoziti koji se koriste u postendodontskoj opskrbi. Ne pokazuju citotoksičnost, imaju antibakterijsko djelovanje, a stupanj mikropropuštanja je neznatan. Kod potencijalnih revizija mogu se relativno lako ukloniti iz korijenskog kanala. Danas se na tržištu može naći širok izbor biokeramičkih materijala. U svrhu usavršavanja već postojećih materijala provode se različita istraživanja.

4. ZAKLJUČAK

Biokeramički materijali su materijali izbora i najkompatibilniji materijal za punjenje korijenskih kanala koji se trenutačno mogu naći na tržištu. Njihova sposobnost stvaranja hidroksiapatita te iznimna biokompatibilnost nije zabilježena ni kod jednog drugog materijala. Jednostavno rukovanje te unos u korijenski kanal apsolutna su prednost za doktora dentalne medicine. Biokeramički materijali većinom dolaze kao već pripremljena masa ili u tubi s dvije paste koje se miješaju prije primjene, što dodatno olakšava rad.

5. LITERATURA

1. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod.* 1990;16(10):498-504.
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%93-Materijali-za-punjenje-korijenskog-kanala.pdf>
3. Orstavik D. Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endodontic Topics.* 2005;12(1):25-38.
4. Cheng L, Ye F, Yang R, Lu X, Shi Y, Li L. Osteoinduction of hydroxyapatite/beta-tricalcium phosphate bioceramics in mice with a fractured fibula. *Acta Biomater.* 2010;6(4):1569-74.
5. Niu LN, Jiao K, Wang TD, Zhang W, Camilleri J, Bergeron BE, Feng HL, Mao J, Chen JH, Pashley DH, Tay FR. A review of the bioactivity of hydraulic calcium silicate cements. *J Dent.* 2014; 42:517-33.
6. Funteas UR, Wallace JA, Fochtman EW. A comparative analysis of Mineral Trioxide Aggregate and Portland cement. *Aust Endod J.* 2003;29:43-4.
7. Schreerer 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.
8. Williams D. F. Definitions in Biomaterials : Proceedings of a Consensus Conference of the European Society for Biomaterials, Chester, England, March 3-5, 1986.
9. Sun ZL, Wataha JC, Hanks CT. Effects of metal ions on osteoblast-like cells metabolism and differentiation. *J Biomed Mater Res.* 1997;34(1):29-37.
10. Salles LP, Gomes-Cornelio AL, Guimaraes FC, et al. Mineral trioxide aggregate based endodontic sealers stimulates hydroxyapatite nucleation in human osteoblast-like cell culture. *J Endod.* 2012; 38:971-6.
11. Bae WJ, Chang SW, Lee SI, Kum KY, Bae KS, Kim EC. Human periodontal ligament cell response to a newly developed calcium phosphate-based root canal sealer. *J Endod.* 2010;36(10):1658-63.
12. Bryan TE, Khechen K, Brackett MG, et al. In vitro osteogenic potential of an experimental calcium silicate-based root canal sealer. *J Endod.* 2010;36(7):1163-9.
13. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995. July;21(7):349-353.

Commented [IA2]: Vidi gore

14. Paque F, Luder HU, Sener B, Zehnder M. Tubular sclerosis rather than the smear layer impedes dye penetration into the dentine of endodontically instrumented root canals. *Int Endod J* 2006;39(1):18-25.
15. Septodont Biodentine™ Active Biosilicate Technology™ Scientific file 2010
16. Grech L, Malliq B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement based- root-end filling materials. *Dent Mater.* 2013; 29:20-8.
17. International organisation of Standardisation ISO 6876:2001. Dental root canal sealing materials. Geneva, Switzerland; 2001.
18. ANSI/ADA. Specification No 57 Endodontic Sealing Material. Chicago, Ill, USA; ADA Publinsing: 2000.
19. Imai Y, Komabayashi T. Properties of a new injectable type of root canal fillings resin with adhesiveness to dentin. *J Endod.* 2003;29(1):20-3.
20. Sjogren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J.* 1997;30(5):297-306.
21. Tanomaru-Filho M., Tanomaru JMG, Barros DB, Watanabe E, Ito IY. In vitro antimicrobial activity of endodontic sealers, MTA based cements and Portland cement. *J Oral Sci.* 2007;49(1):41-5.
22. Mohammadi Z., Giardino L, Palazzi F, Shalavi S. Antibacterial activity of a new mineral trioxide aggregate-based root canal sealer. *Int Dent J.* 2012;62(2):70-3.
23. Singht G, Gupta I, Elshammy FMM, Boreak N, Homeida HE. In vitro comparison of antibacterial properties of bioceramics-based sealer, resin-based sealer and zinc oxide eugenol based sealer and two mineral oxide aggregates. *Eur J Dent.* 2016;10(3):366-9.
24. Sousa-Neto MD, Silva Coelho FI, Marchesan MA, Alfredo E, Silva-Sousa YTC. Ex vivo study of the adhesion of an epoxy based root canal sealer. *Int Dent J.* 2012;62(2):70-3.
25. Huffman B, Mai S, Pinna L, et al. Dislocation resistance of ProRoot Endo Sealer, a calcium silicate based root canal sealer, from radicular dentine. *Int Endod J* 2009;42(1):34-46.
26. Haapasalo M, Parhar M, Huang X, Wei X, Lin J, Shen Y. Clinical use of bioceramic materials. *Endod Topics.* 2015;32:97-117.
27. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dent Mater.* 2013;(39)893-6.

28. Lolayekar N, Bhat SS, Hegde S. Sealing ability of ProRoot MTA and MTA Angelus simulating a one step apical barrier technique- an in vitro study. *J Clin Ped Dent.* 2009;(33):305-10.
29. Formosa LM, Mallia B, Camilleri J. Mineral trioxide aggregate with anti-washout-gel properties and microstructure. *Dent Mater.* 2013;(29):294-306.
30. Walsh RM., Woodmansey KF, Glickman GN, He J. Evaluation of compressive strength of hydraulic silicate-based root-end filling materials. *J Endod.* 2014;(40):969-72.
31. Sunny Dental medical supply; <https://sunnydms.com/product/mta-plus/>
32. Han L, Kodama S, Okiji T. Evaluation of calcium-releasing and apatite-forming abilities of fast setting calcium silicate-based endodontic materials. *Int Endod J.* 2015;(48):124-30.
33. Chung CJ, Kim E, Song M, Park JW, Shin SJ. Effects of two fast setting calcium-silicate cements on cell viability and angiogenic factor release in human pulp-derived cells. *Odontol.* 2016;(104):143-51.
34. Lee BN, Son HJ, Noh HJ, Koh JT, Chang HS, Hwang IN, et al. Citotoxicity of newly developed ortho MTA root-end filling materials. *J Endod.* 2012;(38):1627-30.
35. Neelakantan P, Nandagopal M, Shemesh H, Wesselink P. The effects of root dentin conditioning protocols on the push-out bond strength of three calcium silicate root canal sealers. *J Endod.* 2011; 37:673-7.
36. Vitti RP, Prati C, Silva EJ, Sinhoreti MA, Zanchi CH, de Souza e Silva MG. Physical properties of MTA Fillapex sealer. *J Endod.* 2013;39:915-8.
37. Golberg M, Pradelle-plasse N, Tran X, Colon P, Laurent P. Abut V, Boukpepsi T. Emerging trends in biomaterial researches. *Coxmoor publishing company.* 2009;181-203.
38. Athmeh AR, Chong EZ, Richard G, Festy F, Watson TF. Dentin cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *J Dent Res.* 2012;91:454-9.
39. Camilleri J. Color stability of white material trioxide aggregate in contact with hypochlorite solution. *J Endod.* 2014;40:436-40.
40. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater.* 2013;29:20-8.
41. Jiang Y, Zheng Q, Zhou X, Gao Y, Huang D. A comparative study on root canal repair materials: a cytocompatibility assesment in L929 and MG63 cells. *Sci World J.* 2014;463:826.

Commented [IA3]: Jesu li ovi brojevi točni?

42. Neelakantan P, Nandagopal M, Shemesh H, Wesselink P. The effect of root dentin conditioning protocols on the push-out bond strength of three calcium silicate sealers. *Int J Adhes and Adhesiv.* 2015;60:104-8.
43. Hermansson L. *Nanostructural bioceramics: Advances in Chemically Bonded Bioceramics.* CRC Press; 2014.
44. Carvalho CN, de Oliveira Bauer JR, Loguercio AD, Reis A. Effect of ZOE temporary restoration on resin-dentin bond strength using different adhesive strategies, *J Esthet Restor Dent.* 2007;19(3):144-52.
45. Schroeder A, *Endodontics: Science and Practice—A Textbook for Student and Practitioner,* Quintessence, Chicago, Ill, USA, 1981.
46. JuKyung Lee Sang, Won Kwak, Jung-HongHa, WooCheol Lee, Hyeon-Cheol Kim, *Physicochemical Properties of Epoxy Resin-Based and Bioceramic-Based Root Canal Sealers. Bioinorganic Chemistry and Applications. Volume 2017, Article ID 2582849.*
47. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M, Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod.* 2013; 39 (10):1281–86.
48. Peter K., *Toxicity studies of Cured Epoxy Resins,* Temple University School of Dentistry, Philadelphia, Pennsylvania, Research 1960.
49. Friedman S, Claus L, Zarabian M, Trope M, Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *Toronto* 1995. 21;7:384-90.
50. Whitworth JM, Boursin EM 2000 Dissolution of root canal sealer cements in volatile solvents. *Int Endod J.* 33; 19–24.
51. Beltes P, Koulaouzidou E, Kotoula V, Kortsaris AH. 1995 In vitro evaluation of the cytotoxicity of calcium hydroxibased root canal sealers. *Endodo & Dent Traumatol.* 11;245–9.

6. ŽIVOTOPIS

Aleksandra Kramberger rođena je 12. lipnja 1991. u Zagrebu. Pohadala je Osnovnu školu 1 u Murskoj Soboti u Sloveniji, koju je završila 2006. g. Iste godine upisuje Gimnaziju Franca Miklošiča u Ljutomeru, koju završava 2010. godine te upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom studija radi kao asistent u privatnoj stomatološkoj poliklinici u Zagrebu.