

Uloga biokeramike u postendodontskoj opskrbi zuba

Pavlović, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:127:190962>

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

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



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Ana Pavlović

ULOGA BIOKERAMIKE U POSTENDODONTSKOJ OPSKRBI ZUBA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

Rad je ostvaren u: Zavodu za endodonciju i restaurativnu dentalnu medicinu
Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Mentorica rada: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago, Zavod za endodonciju i restaurativnu
dentalnu medicinu

Lektor hrvatskog jezika: Katarina Cukovečki, mag. educ. philol. croat.

Lektor engleskog jezika: Ivana Kačavenda, magistra primarnog obrazovanja i engleskog
jezika

Rad sadrži: 36 stranica

0 tablica

8 slika

Rad je vlastito autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. 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.

Zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Ivoni Bago na pomoći i savjetima tijekom pisanja ovog diplomskog rada.

Najveća hvala mojim roditeljima, bratu i sestri na ljubavi i podršci koju su mi pružili tijekom studiranja.

Hvala mojim prijateljima i kolegama koji su mi uljepšali studentske dane.

ULOGA BIOKERAMIKE U POSTENDODONTSKOJ OPSKRBI ZUBA

Sažetak

Postendodonska sanacija vrlo je važan korak u liječenju zuba i očuvanju njegove dugotrajnosti u usnoj šupljini. Pravilnom restauracijom prethodno izgubljenog zubnog tkiva, povratit ćemo funkciju zuba, a ujedno ga i zaštititi od daljnjeg propadanja. Biokeramički materijali nametnuli su se kao odličan odabir u mnogim kliničkim situacijama. Zahvaljujući svojstvu biokompatibilnosti i bioaktivnosti djeluju povoljno na cijeljenje zubnog tkiva, a antimikrobno svojstvo sprječava rast i razmnožavanje bakterija. Neosjetljivost na tkivne tekućine i krv tijekom stvrdnjavanja čine biokeramike materijalom izbora u slučaju kada nije moguće očuvati suhog radno polje. Dobra mehanička svojstva, kao što su odlična sposobnost brtvljenja i kompresivna čvrstoća, još su neke od prednosti koje biokeramički materijali posjeduju u odnosu na svoje prethodnike.

Ključne riječi: biokeramike, biokeramički materijali, bioaktivnost, biokompatibilnost, postendodonska opskrba zuba

THE ROLE OF BIOCERAMICS IN POSTENDODONTIC TOOTH RESTORATION

Summary

Postendodontic restoration is a crucial step in treating teeth and preserving their longevity in the oral cavity. By properly restoring previously lost tooth tissue, we can restore tooth function and at the same time protect it from further decay. Bioceramic materials have emerged as an excellent choice in many clinical situations. Due to their biocompatibility and bioactivity, they have a positive impact on dental tissue healing, while their antimicrobial properties prevent bacterial growth and reproduction. The insensitivity of bioceramics to tissue fluids and blood during curing makes them the material of choice when a dry working field cannot be maintained. Good mechanical properties, such as excellent sealing ability and compressive strength, are some of the advantages that bioceramic materials have over their predecessors.

Keywords: bioceramics, bioceramic materials, bioactivity, biocompatibility, postendodontic restoration of the tooth

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. BIOKERAMIČKI MATERIJALI.....	3
2.1. Povijesni razvoj biokeramičkih materijala	5
2.2. Mineral trioksid agregat (MTA)	6
2.3. Suvremeni biokeramički materijali	8
2.3.1. Prethodno zamiješani biokeramički materijali	10
2.3.2. Biokeramički materijali koji zahtijevaju miješanje	12
3. KLINIČKA PRIMJENA BIOKERAMIKE.....	13
3.1. Primjena biokeramičkih materijala u endodontskom liječenju	14
3.1.1. Punjenje apikalnog dijela kanala.....	14
3.1.2. Punjenje korijenskih kanala.....	15
3.1.3. Terapija vitalne pulpe	16
3.1.4. Apeksifikacija i regenerativni endodontski postupci	17
3.1.5. Liječenje perforacija i resorpcija korijena	19
3.2. Biodentine™	20
3.2.1. Fizikalno-mehanička svojstva	22
3.2.2. Bioaktivno svojstvo Biodentina.....	23
3.2.3. Primjena Biodentina u postendodontskoj opskrbi zuba.....	23
4. RASPRAVA.....	26
5. ZAKLJUČAK.....	29
6. LITERATURA	31
7. ŽIVOTOPIS.....	35

Popis skraćenica

MTA- mineral trioksid agregat

MTA-HP- mineral trioksid agregat- Repair High Plasticity

WMTA- bijeli mineral trioksid agregat

GMTA- sivi mineral trioksid agregat

1. UVOD

Svrha opskrbe zuba nakon uspješno provedenog endodontskog liječenja prvenstveno je nadoknaditi izgubljeno tvrdo zubno tkivo te time poboljšati otpornost i trajnost zuba unutar usne šupljine. Uz apikalno i koronarno brtvljene materijalima za punjenje korijenskih kanala, pravilna postendodonska sanacija spriječit će daljnji prodor bakterija i kompromitaciju prethodno provedenog endodontskog postupka. S ciljem postizanja boljih rezultata u kliničkom radu težilo se stvaranju materijala koji će biti što sličniji biološkom tkivu zuba i time osigurati bolju prognozu liječenog zuba. Biokeramički materijali primjenu pronalaze upravo u ovom području dentalne medicine zbog svoje biokompatibilnosti, to jest sličnosti s prirodnim hidroksiapatitom, te nizom drugih svojstava kao što su netoksičnost, hidrofilnost, kemijska stabilnost i antibakterijsko djelovanje. Termin „biokeramika“ odnosi se na materijale koji u svom sastavu sadrže keramiku kao zajedničku komponentu (1). Zbog rezultata dosadašnjih kliničkih istraživanja i prednosti koje nudi naspram ostalih materijala, danas se koristi kao punilo za korijenske kanale, u liječenju perforacija i resorpcija korijena, za direktno prekrivanje pulpe, apeksogenezu te restauraciji zuba.

Svrha rada je opisati dosadašnje biokeramičke materijale, njihov povijesni razvoj, svojstva te primjenu u endodontskoj i postendodontskoj opskrbi zuba.

2. BIOKERAMIČKI MATERIJALI

Biokeramički materijali zbog svojih su izvrsnih svojstava sve češći izbor kliničara prilikom sanacije oštećenih zubnih tkiva. Jedno od najznačajnijih je svojstvo biokompatibilnosti koje postižu stvaranjem hidroksiapatita, što posljedično dovodi do stvaranja kemijske veze između materijala i dentina te regeneracije samoga tkiva. Uz biokompatibilnost, ovi materijali imaju još mnogo prednosti, a neke od njih su netoksičnost, odlično hermetičko brtvljenje, hidrofilnost te kemijska i dimenzijska stabilnost (2). Antibakterijsko svojstvo rezultat je precipitacije i sekvestracije bakterija nakon što se materijal stvrdnuo te stvaranja nanokristala koji sprječavaju adheziju mikroorganizama na zub. U doticaju s kosti biokeramika djeluje osteoinduktivno, to jest potiče stvaranje nove kosti, zbog čega primjenu pronalazi u vrlo širokom području obnove organa muskuloskeletalnog sustava (3).

Biokeramika se sastoji od aluminijske i cirkonijske, bioaktivnog stakla, kompozita, staklo-keramike, resorptivnog kalcijeva fosfata i hidroksiapatita, a može se podijeliti na: bioinertnu, bioaktivnu i bioresorbirajuću. Bioinertni materijali, čiji su predstavnici aluminij i cirkon, ne dolaze u interakciju s biološkim tkivima i nemaju isti učinak kakav imaju bioaktivne keramike, a to je poticanje rasta okolnih tkiva. Staklo-keramika i kalcij fosfat spadaju u ovu skupinu interaktivnih materijala. Bioresorbirajući su oni materijali koji bivaju zamijenjeni ili ugrađeni u tkivo. Osim prethodno opisane podjele, biokeramike se prema sastavu dijele na: kalcij-silikatne i kalcij-fosfatno-silikatne (4). Uza sva prethodno opisana saznanja o biokeramici, način svezivanja za dentin još uvijek je nepoznanica (1). Ipak, predlažu se slijedeća tri mehanizma:

1. Difuzija čestica materijala u dentinske tubuluse što dovodi do stvaranja mikromehaničke sveze (1).
2. Infiltracija mineralnog sadržaja materijala u intertubularni dentin i stvaranje zone mineralne infiltracije, kao rezultat visoke pH vrijednosti i denaturacije kolagenih vlakana (1).
3. Djelomična reakcija fosfata s kalcij-silikat hidrogelom i kalcijevim hidroksidom, nakon čega dolazi do odlaganja precipitata hidroksiapatita u zonu mineralne infiltracije (1).

Kada govorimo o biokeramičkim materijalima mislimo na mineral trioksidni agregat (MTA), i novije biokeramičke materijale koji se temelje na kalcij-silikatu i kalcij-fosfatu.

2.1. Povijesni razvoj biokeramičkih materijala

Razvoj biokeramike počeo je 1960-ih i 1970-ih godina s ciljem proizvodnje materijala koji će funkcionirati kao ljudsko tkivo ili se resorbirati i regenerirati prirodna tkiva. U medicini se upotrebljavala kod operacije zamjene zglobova te kao koštana ploča i cement. L.L. Hench je 1969. godine predstavio novi materijal biostaklo te je primijetio da se nekoliko vrsta stakala i keramike može uspješno vezati s kosti čovjeka (1). Nakon niza značajnih otkrića u vezi ovog inovativnog materijala, biokeramika se počela koristiti u stomatologiji. Iako u biokeramičke materijale u užem smislu spadaju sve keramike osim mineral trioksidnog agregata i Biodentina, kada se govori o počecima njihova razvoja MTA se ipak navodi kao njihov predvodnik. Mineral trioksidni agregat bio je prvi biokeramički materijal koji se počeo koristiti 1990-ih kao punilo za korijenske kanale, a nakon toga su se indikacije za njegovu primjenu dodatno proširile i s vremenom je zbog svojih izvrsnih svojstava postao zlatni standard za primjenu u različitim kliničkim situacijama (2). Tijekom 2000-ih i 2010-ih godina došlo je do razvoja materijala čija su biološka svojstva, kao što su antibakterijski učinak i niska citotoksičnost, bila slična onima koje posjeduje i MTA. Međutim, mehaničke su karakteristike bile poboljšane. Godine 2009. predstavljen je Biodentine™ (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Francuska), proizvod koji služio kao zamijena za dentin, a pokazivao je bolju mehaničku snagu i kraće stvrdnjavanje nasuprot svog prethodnika. EndoSequence root repair material (ERRM; Brasseler USA, Savannah, GA) i BioAggregate (Innovative Bioceramics Inc. Vancouver, BC, Kanada) još su neki od materijala koji su proizvedeni s ciljem stvaranja što savršenijeg materijala. 2011. godine na tržište dolazi i TheraCal LC, kompozitom modificiran kalcij silikatni cement koji posljedično zahtijeva svjetlosno stvrdnjavanje (5). Daljnjim razvojem predstavljeno je još nekoliko vrsta materijala i hibrida koji se uz mnoge sličnosti razlikuju jedni od drugih svojim mehaničkim

svojstvima. Iako su noviji materijali uspjeli nadići neka ograničenja prijašnjih, idealan biokeramički materijal još uvijek ne postoji (2,4).

2.2. Mineral trioksid agregat (MTA)

Originalnu strukturu MTA-a predstavila je Dentsply International grupa (Dentsply-Tulsa Dental, Johnson City, Usa) 1990-ih godina (2). Sastav ovog materijala bazira se na sastavu Portland cementa s dodatkom bizmutovog oksida u omjeru 4:1 (6), ali nikako mu nije identičan. MTA ima manju veličinu čestica i sadrži manje toksičnih teških metala zbog toga što prolazi dodatno pročišćavanje i obradu (7). Sastoji se od glavnih komponenti trikalcij silikata, dikalcij silikata i trikalcij aluminata uz dodatak gipsa, silikona, kalcija i aluminija (6, 8).

Priprema se miješanjem praška sa sterilnom vodom u omjeru 3:1, u korist praška. Reakcija stvrdnjavanja naziva se hidratacija i započinje kontaktom hidrofilnih čestica praška s vodom, a podijeljena je u pet faza. U prvoj fazi, procesu miješanja, dolazi do brzog otapanja gipsa i nakon reakcije s vodom disocirani aluminati stvaraju sloj sličan gelu oko čestica praška. Taj sloj sprječava brzo stvrdnjavanje cementa. Prvu fazu slijedi faza mirovanja tijekom koje cement može biti obrađivan i transportiran, a vodena komponenta se zasićuje s kalcijevim i hidroksilnim ionima. Treća faza je proces stvrdnjavanja i u njemu je voda unutar cementa prezasićena ionima te dolazi do stvaranja novog hidratacijskog produkta koji okružuje čestice cementa i međusobno ih povezuje. Tijekom ove faze cement se počinje stvrdnjavati i ne smije se obrađivati, jer će to trajno narušiti njegovu formu. Slijedeći je proces hlađenja u kojem cement dobiva čvrstoću i snagu. Posljednja je faza koncentracije ili kondenzacije tijekom koje se produkt nastavlja polagano stvarati, a cement doseže maksimalnu čvrstoću i rigidnost koju može imati. Reakcija stvrdnjavanja MTA-a traje 3 do 4 sata i predstavlja problem u kliničkom radu (8). Vrijednost pH ovog materijala je visoka zbog otpuštanja kalcijevih iona i stvaranja

kalcijevog hidroksida te na početku iznosi 10.2, a 3 sata nakon miješanja naraste i do 12.5 (2).

Prvi MTA materijal bio je sive boje (engl. gray MTA, GMTA) i imao je potencijal obojenja dentina zbog visokog udjela iona željeza, aluminijskih i magnezija. Kako bi se ispravili ti nedostaci, 2002. godine (6) razvijena je nova vrsta bijelog MTA-a, a pokazivala je bolju radioopaknost i, unutar 60 minuta od miješanja, znatno viši pH. Međutim, bijela varijanta (engl. white MTA, WMTA) je također pokazivala određeni stupanj obojenja zubnog tkiva, ali i lošije brtvljenje te veću propusnost od sivog MTA-a (9). ProRoot MTA (Dentsply, Sirona, SAD) bio je prvi komercijalno dostupan pripravak predstavljen 1999. godine i dolazio je u pakiranjima za jednokratnu upotrebu, a bio je namjenjen za punjenje korijenskih kanala. MTA Angelus (Angelus, Londrina, PR, Brazil) predstavljen je 2001. godine u Brazilu s ciljem poboljšanja svojstava tradicionalne verzije materijala (7). Pakiran je u bočicama, što omogućuje doziranje materijala prema potrebi i sigurnu pohranu neiskorištenog ostatka. U odnosu na tradicionalni ProRoot MTA, koji se stvrdnjava 2 do 3 sata, MTA Angelus ima kraće vrijeme stvrdnjavanja u iznosu od 24-83 minute (10) zahvaljujući smanjenoj koncentraciji kalcijevog sulfata koji je odgovoran za produljeno vrijeme stvrdnjavanja (7). Jedan od najnovijih kalcij silikatnih cemenata na tržištu je MTA-HP (engl. Repair High Plasticity). Njegov se sastav temelji na klasičnom mineral trioksid agregatnom cementu, a iako je još uvijek u fazi istraživanja mogu se potvrditi određene prednosti u vidu smanjenog vremena stvrdnjavanja od 15 minuta, bolje radioopaknosti i odsustva diskoloracija (11). Na tržištu se nalaze u obliku praška i tekućine ili dvije paste, a trenutno komercijalno dostupni materijali su ProRoot MTA (Dentsply Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK SAD), MTA Angelus (Angelus, Londrina, PR, Brazil), Retro MTA (BioMTA, Seoul, Južna Koreja), MTA Fillapex (Angelus, Londrina, PR, Brazil), BioAggregate (Innovative Bioceramics Inc., Vancouver, Kanada), Endo CPM sealer (Egeo, Buenos Aires, Argentina) i drugi (12). Jedna od prednosti MTA-a u odnosu na mnoge druge materijale u stomatološkoj praksi je stvrdnjavanje u vlažnoj okolini, a to ga čini pogodnim za korištenje kod postupaka gdje nije moguće osigurati u potpunosti suho radno polje. Kada dođe u kontakt s vlagom kalcijev oksid iz cementa prelazi u kalcijev hidroksid, što rezultira visokim pH i antibakterijskim djelovanjem (7, 11). Ima odličnu sposobnost brtvljenja i biokompatibilan

je s prirodnim tkivima. Njegovo bioaktivno djelovanje potiče diferencijaciju stanica pulpe i mineralizaciju, to jest regeneraciju tkiva, bez izazivanja upalnog odgovora (2, 13). Uz prethodno navedena dobra, težak je za rukovanje, ima dugo vrijeme stvrdnjavanja, otežano uklanjanje i obojenje zubnog tkiva.

Njegova inicijalna primjena bila je za liječenje perforacija korijena i retrogradna punjenja, ali se zbog dobrih kliničkih rezultata dodatno proširila. Zahvaljujući hidrofilnosti, biokompatibilnosti i sposobnosti brtvljenja, kao i svojstvu bioaktivnosti, ovaj je materijal osim u prethodno navedenim situacijama pronašao primjenu u postupcima prekrivanja pulpe, apeksifikacije, vitalne pulpotomije i apeksogeneze (14).

2.3. Suvremeni biokeramički materijali

Danas su na tržištu dostupni mnogi biokeramički materijali. Dolaze u obliku dvokomponentnih sustava kao tekućina koja se zasićuje praškom ili dvije paste, a oba zahtijevaju miješanje. Osim toga, postoje i materijali koji su prethodno zamiješani i time olakšavaju kliničaru rad te uklanjaju mogućnost pogreške nastale prilikom ručnog doziranja materijala i miješanja.

Osim materijala temeljenih na MTA-u navedenih u prethodnom poglavlju neki od novih biokeramičkih materijala su: BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Francuska), Endocem (Maruchi, Wonju, Južna Koreja), GuttaFlow bioseal (Coltene, Altstätten, Švicarska), EndoSequence BC Sealer (Brassler USA, Savannah, GA, SAD), CEM cement („calcium-enriched mixture“; Avalon Biomed Inc., Bradenton, FL, SAD), MTA Plus (Isasan SRL, Rovellor Porro, Italija), Biodentine (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Francuska), Tech biosealer (BioniqueDent company, Teheran, Iran) i mnogi drugi.

EndoSequence®

EndoSequence Root Repair(ESRRM; Brasseler USA, Savannah, GA) na tržištu je dostupan u obliku paste koja je pohranjena u štrcaljki ili kao materijal kitaste konzistencije te ne zahtijeva miješanje, a koristi se za popravljivanje perforacija korijena. Stvrdnjava se otprilike 4 sata u prisutnosti vlage. Mikrotvrdoća mu opada u prisutnosti

visokog pH koji dovodi do povećanja poroznosti i narušavanja kristalne strukture. Antibakterijska svojstva i sposobnost brtvljenja slična su kao kod MTA-a, ali je pH znatno niži. Pokazuje minimalnu citotoksičnost i prema nekim istraživanjima ima bolju sposobnost cijeljena tkiva od MTA-a (2). Ovaj materijal u kitastoj formi još je dostupan kao iRoot BP Plus, a još jedan iz te serije materijala je iRoot FS (Brassler USA, Savannah, GA) koji ima kraće vrijeme stvrdnjavanja i olakšano rukovanje (2).

BioAggregate®

BioAggregate (Innovative BioCeramix Inc, Canada) se također koristi za sanaciju defekata korijena, a na tržištu je dostupan i kao DiaRoot Root Canal Repair Filling Material (DiaDent, Kanada). Pokazuje odlična antibakterijska svojstva protiv *E. faecalis* i antifungicidna protiv *C. Albicans* (15). Sposobnost brtvljenja i biokompatibilnost slični su kao kod MTA (2).

EndoSequence® BC Sealer™

EndoSequence BC Sealer (Brassler USA, Savannah, GA) poznat je i kao iRoot SP root canal sealer (Innovative BioCeramix Inc., Vancouver, Canada). Stvrdnjava se ovisno o vlažnosti kanala otprilike od 4 do 10 sati, a pokazuje blagu citotoksičnost odmah nakon stvrdnjavanja koja nestaje nakon nekoliko dana (2).

MTA Fillapex

MTA Fillapex (Angelus Solucoes Odontologicas, Londrina, PR, Brazil) proizveden je kako bi spojio najbolja svojstva punila temeljenih na smoli i biološke karakteristike MTA-a. Ovaj materijal odlikuju adekvatno radno vrijeme, visoka radioopaknost i jednostavnije rukovanje. Dolazi upakiran u štrcaljki u kojoj su dvije komponente odvojene, a tako olakšava i racionalizira doziranje materijala, rezultira točnijim miješanjem materijala i povoljno utječe na njegova svojstva. Visoki pH i topljivost materijala utječu povoljno na njegova antibakterijska svojstva. Jedna od mana materijala je slabije vezanje na dentin u usporedbi s ostalim biokeramičkim materijalima, a

potencijalnim uzrokom se smatra upravo dodatak smole (16). Također, dokazana je smanjena radioopaknost i povećana citotoksičnost ovog materijala u usporedbi s prethodno nabrojanim biokeramikama (2).

BioRoot Root Canal Sealer

BioRoot Root Canal Sealer (BioRoot RCS, Septodont, Saint Maur des Fosses, Francuska) materijal je koji se primjenjuje za punjenje korijenskih kanala. Zahtijeva ručno miješanje prije upotrebe, a stvrdnjava se oko 4 sata. Sadrži biokompatibilni polimer koji mu omogućuje adheziju na štapić gutaperke što ga čini prikladnim materijalom za upotrebu kod „single-cone“ tehnike punjenja. Kao i ostali materijali, nije osjetljiv na vlagu koja ne utječe na njegova svojstva i ostvaruje fizikalno-mehaničku vezu za dentin. Neke od značajnih prednosti u kliničkom radu s ovim materijalom su njegovo uspješno uklanjanje iz korijenskog kanala u slučaju potrebe za revizijom te poticanje cijeljenja periapikalnog tkiva (17).

Total Fill BC Sealer

Total Fill BC Sealer (TFBC, FKG Dentaire, La Chaux-des-Fonds, Switzerland) je materijal koji ne zahtijeva prethodno miješanje, a stvrdnjavanje ovisi o vlažnosti kanala te iznosi od 4 do 10 sati. Ima dobra antibakterijska svojstva i radioopaknost. Još neka od dobrih svojstava materijala su dobra radioopaknost te činjenica da se ne kontrahira tijekom stvrdnjavanja (17).

2.3.1. Prethodno zamiješani biokeramički materijali

Ova suvremena i inovativna vrsta biokeramičkih materijala koja ne zahtijeva manualno miješanje sastoji se od kalcijeva silikata, cirkonij oksida, tanatalova oksida, monobazičnoga kalcijeva fosfata i punila. Ima odlična mehanička i biološka svojstva te je zbog jednostavnosti rukovanja sve češće materijal izbora u praksi. Kao i sve vrste biokeramika, hidrofилne su prirode i zahtijevaju vlažnu okolinu tijekom stvrdnjavanja.

Na temelju konzistencije klasificiraju se na:

1. Rjeđi oblik materijala koji dolazi u štrcaljki (eng. Syringe form)
2. Gušći materijal kitaste forme (eng. Putty form)
3. Gušći materijal kitaste forme s brzim vremenom stvrdnjavanja (eng. Fast-set putty form) (18).

Osim prednosti u vidu jednostavnosti rukovanja, biokeramika koju nije potrebno miješati osigurava homogenu konzistenciju materijala i mogućnost kontaminacije prije njegove aplikacije na mjesto primjene svodi na minimum. Zbog ekonomičnosti pakiranja u kojima dolazi, izbjegava se potrošnja materijala koja je veća od one potrebne u danom trenutku. Lako se kondenzira i primjenjuje na teško dostupnim mjestima. Dodatno svojstvo koje olakšava rad je neosjetljivost na krv i tkivne tekućine, a nakon stvrdnjavanja lagano ekspanira i dobiva određenu čvrstoću što rezultira dugotrajnim brtvljenjem (18). Danas se na tržištu nalaze određeni materijala koja pripadaju ovoj skupini biokeramike, a to su iRoot BP (Innovative Bioceramics, Vancouver, Canada), EndoSequence root repair (Brasseler USA, Savannah, GA) i TotalFill (FKG Dentaire SA, Switzerland) (18). Zahvaljujući svojstvu biokompatibilnosti i odličnim fizikalno-mehaničkim karakteristikama preporučuju se kao sredstvo za prekrivanje pulpe, kod pulpotomije, liječenja perforacija korijena, kod retrogradnog punjenja kanala i obturacija.

Prvi biokeramički materijali koji ne zahtijevaju miješanje stvrdnjavali su se 2 sata, a naknadno su razvijene brzo stvrdnjavajuće varijante kojima reakcija stvrdnjavanja traje 20 minuta. U početku je upotrebljavana tartarična kiselina kao akcelerator, međutim Xu i sur. (18) su je zbog visoke citotoksičnosti zamijenili glikoličnom kiselinom koja je u velikoj mjeri skratila vrijeme stvrdnjavanja. Iako ovi materijali trebaju vlagu, Loushine i sur. (18) dokazali su da pretjerano vlažno okruženje nepovoljno utječe na mikrotvrdoću materijala. Pokazuju odličnu marginalnu adaptaciju što se jednim dijelom pripisuje kitastoj konzistenciji materijala i posljedično boljoj adaptaciji na stijenke zuba, a nanočestice osiguravaju penetraciju u dentinske kanale te manju mikropropusnost (18, 19). Iako je ova vrsta biokeramičkog materijala relativno nova na tržištu i treba ostaviti prostora za dodatna istraživanja, uz sve prednosti koje posjeduje smatra se ravnopravnim, ako ne i boljim od svojih prethodnika (9).

2.3.2. Biokeramički materijali koji zahtijevaju miješanje

Prvi biokeramički materijali zahtijevali su miješanje prije upotrebe i dolazili su u obliku dvije komponente, tekućina i prašak ili dvije paste. Jedan od njihovih glavni nedostataka je zahtjevno rukovanje materijalom. To se odnosi na činjenicu da svojstva ove skupine materijala uvelike ovise o načinu njegova miješanja, to jest o točnom omjeru komponenti. Pogrešan omjer praška i tekućine dovest će do promjena unutar strukture biokeramike te narušiti njezinu dugotrajnost i kvalitetu unutar usne šupljine. Uz količinu vodene komponente u cementu i niski pH okoline, jedan od uzroka povećane poroznosti unutar materijala je zarobljavanje mjehurića zraka tijekom procesa miješanja, što posljedično nepovoljno utječe na njegovu mikrotvrdoću (2). Također, nedovoljno i neadekvatno izmiješan materijal rezultirat će nehomogenom teksturom materijala i narušavanjem fizikalno-mehaničkih svojstava. Iako biokeramike koje ne zahtijevaju miješanje imaju prednost u usporedbi s njima, prema određenim istraživanjima materijali koji uvjetuju miješanje pokazuju veću sposobnost bioaktivnog djelovanja, točnije povišenja pH okoline i otpuštanja kalcijevih iona (19).

Jedan od prisutnih materijala na tržištu koji zahtijevaju miješanje je AH Plus Bioceramic sealer (Dentsply Sirona USA, USA) koji dolazi u štrcaljki i ne zahtijeva miješanje, a upotrebljava se za punjenje korijenskih kanala. ProRoot ES (Dentsply Tulsa Dental Specialities, Johnson City, TN, USA) i BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, France) dolaze u oblik praška i tekućine te se također koriste kao endodonska punila (19).

3. KLINIČKA PRIMJENA BIOKERAMIKE

Biokeramički materijali su zahvaljujući svojim regenerativnim sposobnostima sve češće upotrebljavan materijal u stomatološkoj praksi. Tijekom reakcije stvrdnjavanja jedan od produkata koja nastane je hidroksiapatit, koji kada dođe u dodir s koštanim tkivom djeluje osteoinduktivno i potiče stvaranje nove kosti. Također, ako u blizini materijala postoji kost u cijeljenju, biokeramika će apsorbirati osteoinduktivne supstance te se zbog toga kaže da sam materijal ima intrinzični kapacitet za osteoinduktivno djelovanje (20). Zbog prethodno navedenih svojstava i zbog dobrih mehaničkih svojstava koriste se u endodontskoj i postendodontskoj sanaciji zuba.

3.1. Primjena biokeramičkih materijala u endodontskom liječenju

Biokeramike imaju široku primjenu u području endodontskog liječenja zuba. Materijali kao što su Biodentine, MTA i BioAggregate često se koriste za brtvljenje apikalnog dijela kanala, vitalnu pulpotomiju, liječenje perforacija i resorpcija korijena te apeksifikaciju i apeksogenezu. BioRoot RCS i BC Sealer su biokeramike u obliku paste koje svrhu pronalaze kao punila za korijenske kanale (3, 5).

3.1.1. Punjenje apikalnog dijela kanala

Idealan materijal za punjenje apikalnog dijela kanala trebao bi biti biokompatibilan s prirodnim tkivom, imati bioaktivno djelovanje te osigurati dugotrajno brtvljenje i nepropusnost za tkivne tkućine i bakterije (5). Može se izvesti ortogradnim putem gdje se materijal unosi u kanal iz koronarnog smjera i postavi tako da zatvara apeks. Najdugovječniji materijal koji se koristi u ovu svrhu je MTA i pokazao je odlične kliničke rezultate. Biodentine™ također služi za apikalno brtvljenje i pokazao je bolje rezultate u sprječavanju propusnosti i prodora mikroorganizama. Uz prethodno nabrojane MTA i Biodentine, CEM (Avalon Biomed Inc. Bradenton, FL, SAD) je materijal koji je korišten u istu svrhu i povećava otpornost zuba na lom, a što se tiče propusnosti vrlo je sličan MTA-u. Retrogradni način punjenja apikalnog dijela kanala zahtijeva kirurško ukljanjanje apikalnog dijela korijena do 3 mm i izradu retrogradnog kaviteta koji će biti napunjen određenim materijalom, a indiciran je u slučaju neuspjeha inicijalnog

endodontskog liječenja ili revizije. Upravo u ovim situacijama navedeni biokeramički materijali imaju prednost jer su neosjetljivi na vlagu tijekom stvrdnjavanja. Iako i MTA i Biodentine pokazuju odlične rezultate, prema nekim istraživanjima MTA se i dalje smatra zlatnim standardom zbog nedostatka podataka o kliničkim rezultatima postignutim upotrebom Biodentina (5, 21).

3.1.2. Punjenje korijenskih kanala

Idealan materijal za punjenje kanala prema Grossmanu trebao bi imati slijedeća svojstva:

1. Dobra adhezija na stijenke kanala.
2. Hermetičko brtvljenje.
3. Radiokontrast.
4. Prašak treba biti sastavljen od što finijih čestica kako bi miješanje s tekućom komponentom bilo jednostavno.
5. Ne smije se kontrahirati nakon stvrdnjavanja.
6. Ne smije uzrokovati obojenje zuba.
7. Trebao bi biti bakteriostatik ili u najmanju ruku ne poticati rast i razmnožavanje bakterija.
8. Polagano stvrdnjavanje.
9. Ne smije biti topljiv u tkivnim tekućinama.
10. U kontaktu s periapikalnim tkivom ne bi smio uzrokovati upalnu reakciju.
11. Treba biti topljiv u uobičajenim otapalima u slučaju potrebe za revizijom (22).

Jedna od prednosti biokeramičkih punila je njihova biokompatibilnost koja sprječava odbacivanje od strane tkiva domaćina i ne izaziva upalnu reakciju. Također, ovi materijali sadrže kalcijev fosfat koji poboljšava svojstva materijala i rezultira stvaranjem kristalne strukture slične onoj koju nalazimo u zubima i kosti, što poboljšava vezu između materijala i dentinskog tkiva (22). Biokeramike koje se koriste za punjenje kanala su:

BioRoot RCS, iRoot SP, EndoSequence BC Sealer, MTA-Fillapex, MTA-Angelus, ProRoot Endo Sealer i drugi (22). Određena istraživanja pokazala su odlične kliničke rezultate u slučajevima punjenja kanala „single-cone“ tehnikom u kombinaciji s biokeramičkim punilom (Slika 1) (5).



Slika 1. RTG snimka gornjih prednjih zuba s velikim upalnim procesima. (a) Zub 11 je instrumentiran i očišćen do veličine #110 i napunjen Biodentinom. (b) Zub 21 je napunjen s MTA u apikalnih 3 mm kanala, a srednja i koronarna trećina kanala su napunjeni injekcijskom tehnikom.

Preuzeto s dopuštenjem autora: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago.

3.1.3. Terapija vitalne pulpe

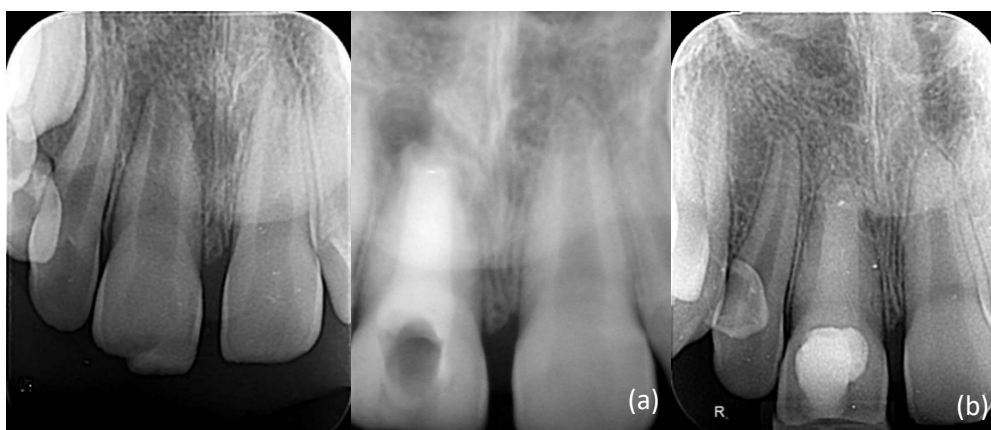
Cilj prekrivanja pulpe i vitalne pulpotomije je osigurati vitalnost i funkciju pulpe nakon što je bila izložena ozljedi uslijed frakture zuba, propadanja zubnog tkiva zbog karijesa ili ijatrogenog otvaranja uslijed preparacije kaviteta. Prekrivanje pulpe može biti direktno, kada je materijal u izravnom dodiru s tkivom pulpe, i indirektno, kada se između njih još uvijek nalazi dentin. MTA se i ovdje, kao u mnogim drugim situacijama, smatrao najprikladnijim materijalom (23). Međutim, daljnjim istraživanjima i razvojem novih

materijala dobio je konkurenciju, a to se najviše odnosi na Biodentine, Neki od materijala koji mogu poslužiti kao alternativa u direktnom prekrivanju pulpe su BioAggregate, koji pokazuje odličnu kompatibilnost sa stanicama pulpe, i EndoSequence BC Sealer, koji može potaknuti stvaranje dentinskog mostića. Debljina dentinskog mostića najveća je u slučaju upotrebe Biodentina, ali je i upala koja nastane veća nego kod njegovog prethodnika MTA-a. Iako ostale biokeramike nisu toliko proučavane, sigurna je činjenica da zahvaljujući poticanju stvaranja mineraliziranog zubnog tkiva i očuvanja vitaliteta pulpe, ovi materijali pokazuju bolje rezultate od prvog materijala namijenjenog ovoj svrsi, a to je bio kalcijev hidroksid (5). Kalcijev hidroksid se otapa tijekom vremena, nema zadovoljavajuću sposobnost brtvljenja te je primijećeno stvaranje tunelskih defekata ispod dentinskog mostića, a upravo ti nedostaci su ga svrgnuli s mjesta materijala prvog izbora (24). Kod postupka pulpotomije uklanja se upaljeni dio pulpe, a preostali prekriva kako bi se očuvao vitalitet i time preživljenje zuba. Pulpno tkivo može se ukloniti do samog ulaza u korijenske kanale i tu govorimo o potpunoj pulpotomiji, a kada se ukloni površinski dio, otprilike 1-2 mm tkiva, to se naziva djelomična pulpotomija ili pulpotomija po Cveku te se kao takva primjenjuje kod liječenja mladih trajnih zubi (25). Biodentine i MTA pokazuju slične rezultate nakon upotrebe u ovom postupku, uz manju vjerojatnost diskoloracije zuba za Biodentine. EndoSequence BC Sealer se pokazao potencijalno dobrim materijalom kod pulpotomije mladih trajnih zuba nakon traume, a uz njega se istaknuo i CEM. Iako je klasično endodotsko liječenje kanala još uvijek prvi i standardni izbor, dobra svojstva biokeramičkih materijala čine pulpotomiju učinkovitom alternativom (5, 25).

3.1.4. Apeksifikacija i regenerativni endodontski postupci

Zubi s nezavršenim rastom korijena imaju manju stabilnost zbog poremećaja omjera krune i korijena te će u budućnosti slučaju potrebe uključivanja u protetski rad biti izazov i potencijalni problem za kliničara. Također, potrebno je osigurati i zatvaranje apeksa kako bi se spriječio prodor bakterija u područje periapeksa, a prisutnost apiklanog stopa nužna je kako bi se osigurala dobra kompakcija materijala za punjenje kanala (26). Postupci apeksifikacije, apeksogeneze i revaskularizacije indicirani su kod mladih trajnih

zuba s nezavršenim rastom i razvojem korijena, a cilj im je potaknuti korijen na završetak rasta i razvoj te zatvaranje apeksa. Apeksifikacija je postupak gdje se nastoji postići završetak rasta korijena stimulacijom apeksogenog kompleksa. Provodi se u slučajevima gdje je pulpa zuba avitalna zbog gangrene ili nekroze, a isto tako je rezervna metoda u slučaju neuspjele apeksogeneze, to jest postupka gdje se potiče fiziološki završetak razvoja korijena u situacijama gdje je dio pulpe ostao vitalan (27). Prvi materijal koji se koristio u ovu svrhu bio je kalcijev hidroksid i zahtijevao je više dolazaka kako bi se uložak unutar kanala zamijenio, jer je tijekom vremena gubio djelotvornost. Kao odlična alternativa nametnuo se MTA koji je olakšao cjelokupni postupak u vidu smanjenja broja dolazaka stomatologu, skratio vrijeme potrebno za formiranje barijere od tvrdog zubnog tkiva te smanjio upalnu infiltraciju u području periapeksa i vjerojatnost frakture zuba (5). Biodentine je pokazao odlične rezultate kada je primijenjen u postupku apeksifikacije, posebice zbog svojih radiografskih svojstava (Slika 2) (27), ali unatoč tome zbog nedostatka istraživanja o njegovoj upotrebi u ovom postupku se MTA i dalje smatra materijalom izbora (5). Postupak revaskularizacije je regenerativni postupak u kojem se potakne krvarenje iz periapeksa u područje korijenskog kanala te nastane krvni ugrušak koji daljnjim sazrijevanjem i diferencijacijom stanica služi kao osnova za proces regeneracije (28). Pošto je materijal u direktnom kontaktu s ugruškom, ne smije biti toksičan, nego biokompatibilan i bioaktivan. Uz MTA u ovom postupku mogu se koristiti Biodentine, ProRoot MTA i RetroMTA (5).



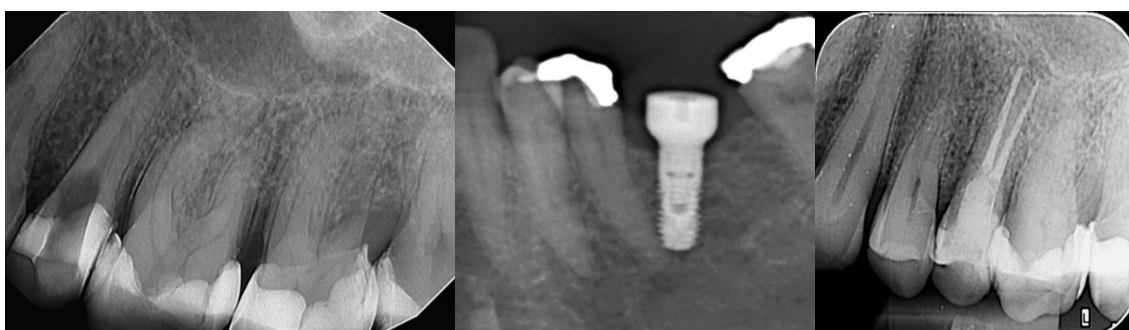
Slika 2. RTG snimka zuba 12, 11, 21 kod 9-godišnjeg pacijenta. Kod zuba 11 vidljiv veliki upalni periapikalni proces i nezavršen rast i razvoj korijena. (a) Punjenje kanala

zuba 11 Biodentinom. (b) Kontrolni RTG snimak nakon 18 mjeseci: vidljivo kompletno cijeljenje upalnog procesa.

Preuzeto s dopuštenjem autora: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago.

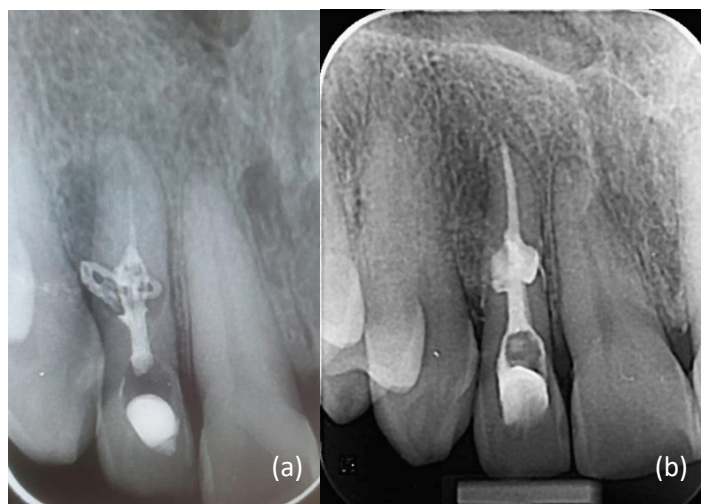
3.1.5. Liječenje perforacija i resorpcija korijena

Nastanak komunikacije između korijenskog kanala i parodontnog prostora koji okružuje korijen zuba patološka je pojava koju treba sanirati (29). Najčešće su rezultat greške prilikom traženja i instrumentacije kanala tijekom endodontskog liječenja zuba (Slika 3). MTA je standardni materijal koji se koristi u liječenju perforacija područja furkacije korijena, a uz Biodentine nakon zatvaranja komunikacije utječe na smanjenje stresa u saniranoj regiji. EndoSequence BC Putty pokazuje slično, a prema nekim izvorima čak i manje propuštanje u usporedbi s MTA-om (5). Prethodno zamiješane biokeramike sve češće se koriste u ovu svrhu zahvaljujući boljim mehaničkim svojstvima i lakšem rukovanju koje znatno olakšava klinički rad (5). Kod resorpcije korijena javlja se gubitak zubnog tkiva s njegove vanjske ili unutrašnje površine (Slika 4), a prezentira se jako blagim kliničkim simptomima te dijagnosticira radiološki. Uzroci su razni, od traume do ijtrogenih faktora, a točan etiološki čimbenik nekih resorpcija još uvijek nije poznat (30) Kao i u prethodnom slučaju uz MTA mogu se koristiti još i Biodentine, EndoSequence BC Putty i CEM (5).



Slika 3. RTG snimka zuba 25, 26 i 27: vidljiva perforacija korijena u cervikalnoj trećini (a). Primjena Biodentina kod zatvaranja perforacija u cervikalnoj trećini korijena zuba ispod ruba alveolarne kosti (b).

Preuzeto s dopuštenjem autora: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago.



Slika 4. RTG snimka zuba 12 i 11: nalaz interno-eksterne resorpcije u srednjoj trećini korijena zuba 11 s upalnim procesom distalno na korijenu zuba 12 (a). Vanjski dio resorpcije je zatvoren Biodentinom, a kanal je punjen vrućom vertikalnom kompakcijom (b).

Preuzeto s dopuštenjem autora: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago.

3.2. Biodentine™

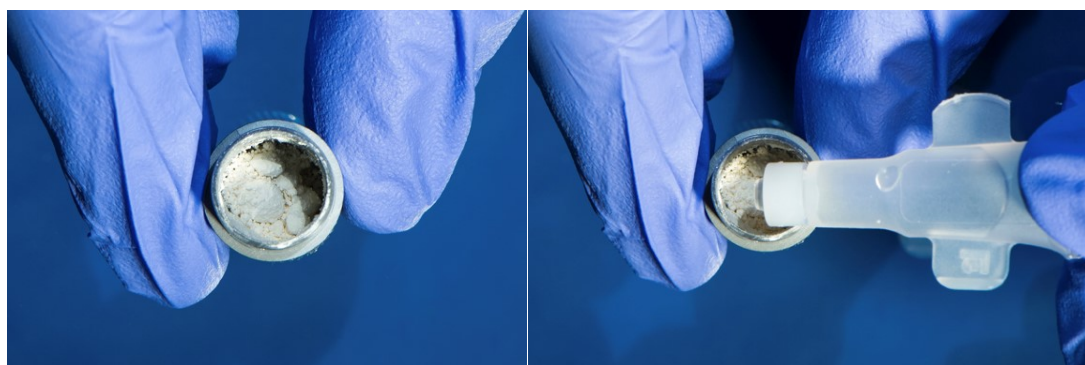
Biodentine™ (Septodont, Saint Maur des Fosses, France) na tržište je predstavila Septodont grupa 2009. godine kao materijal kojemu je glavna svrha zamjena dentina (Slika 5). Ovaj kalcij silikatni cement vrlo je brzo stekao popularnost zahvaljujući odličnim svojstvima i zadovoljavajućim rezultatima postignutim u kliničkom radu. Sastoji se od praha i tekućine, tako da je prah pohranjen u kapsuli, a tekućina u ampuli (Slika 6). Iako se proizvodnja ovog materijala bazira se na tehnologiji proizvodnje mineral trioksidnog agregata, uz određene sličnosti među njima postoje i razlike, a one se uglavnom odnose na poboljšana fizikalna svojstva i olakšano rukovanje Biodentinom (31). Nasuprot MTA-a u čijem sastavu glavnu komponentu čini Portland cement, glavna sastavnica praha Biodentina je trikalcijev silikat uz dodatak kalcijevog karbonata i cirkonijevog oksida koji mu daje radioopaknost. Tekuću komponentu čini vodena otopina kalcijevog klorida koji djeluje kao akcelerator reakcije stvrdnjavanja (32). Reakcija stvrdnjavanja započinje hidratacijom trikalcijeva silikata te nakon toga nastaju kalcijev

hidroksid i kalcijev silikatni gel koji se taloži na površinu čestica praha i dovodi do stvaranja kristala. Nastali kristali hidroksiapatita prodiru u dentinske tubuluse te se stvara kemijska veza između Biodentina i tvrdog zubnog tkiva. Danas se koristi kao materijal za popravak perforacija i resorptivnih lezija korijena, apeksifikaciju, retrogradno punjenje, prekrivanje pulpe i restauraciju izgubljenog tkiva zuba (31).



Slika 5. Biodentine™.

Preuzeto s dopuštenjem autora: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago.



Slika 6. Priprema Biodentina: miješanje praha i tekućine. Materijal se priprema u miješalici na 30 sekundi.

Preuzeto s dopuštenjem autora: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago.

3.2.1. Fizikalno-mehanička svojstva

U usporedbi s MTA-om, fizikalna svojstva Biodentina su poboljšana promjenom sastava samog praška i dodatkom akceleratora, skraćanjem vremena stvrdnjavanja i zamjenom bizmutovog oksida s cirkonijevim oksidom koji ne uzrokuje diskoloracije (32). Brže vrijeme stvrdnjavanja Biodentina, nasuprot ostalih biokeramičkih materijala, postignuto je dodavanjem kalcijevog klorida u tekuću komponentu i smanjenjem količine tekućeg dijela naspram krutog. Prema istraživanju Grech i sur. (31) konačno vrijeme stvrdnjavanja iznosi oko 45 minuta, a vrijeme stvrdnjavanja navedeno u uputstvima o korištenju proizvoda u iznosu od 9-12 minuta se odnosi na inicijalno vrijeme potrebno da se materijal stvrdne. Pošto se koristi za direktno prekrivanje pulpe, Biodentine mora imati zadovoljavajuću kompresivnu čvrstoću kako bi se mogao oduprijeti žvačnim silama. Prema uputi proizvođača jedno od njegovih značajnijih svojstava je sposobnost povećanja tlačne snage tijekom vremena dok naposljetku ne dosegne vrijednost istovjetnu one prirodnog dentina. Prema nekim istraživanjima je zaključeno da je snaga samog materijala poboljšana upravo zbog smanjenja omjera vode i cementa unutar strukture Biodentina. Mikrotvrdoća ovog materijala prema istraživanju Camilleri (31) pokazala je bolje rezultate od staklenoionomernog cementa i smolom modificiranog staklenoionomernog cementa. Zbog kliničkih indikacija materijala, važno je njegovo svojstvo snage adhezije na tvrda zubna tkiva. Aggarwal i sur. (31) su proučavanjem snage sveze materijala došli do zaključka da je snaga adhezije Biodentina na zubna tkiva jača nego kod MTA-a i kontakt s krvlju neće na nju utjecati (33). Neosjetljivost na tkivne tekućine čini ga adekvatnim materijalom za korištenje u situacijama kada nije moguće osigurati suho radno polje. Još jedna od karakteristika materijala je niska poroznost i važnost vlažnog okruženja, jer će u protivnom doći do stvaranja pukotina na spoju materijala i zubnog tkiva te stvaranja otvorenog puta bakterijama (34, 35). Odlična marginalna adaptacija ovog materijala rezultat je uglavnom jake mikromehaničke adhezije (36). Jedan od uzroka dimenzijske stabilnosti Biodentina je netopljivost. Dobro marginalno brtvljenje materijala sprječava mikropropuštanje te, uz ostala prethodno nabrojana svojstva, osigurava njegovu dugotrajnost unutar usne šupljine (37).

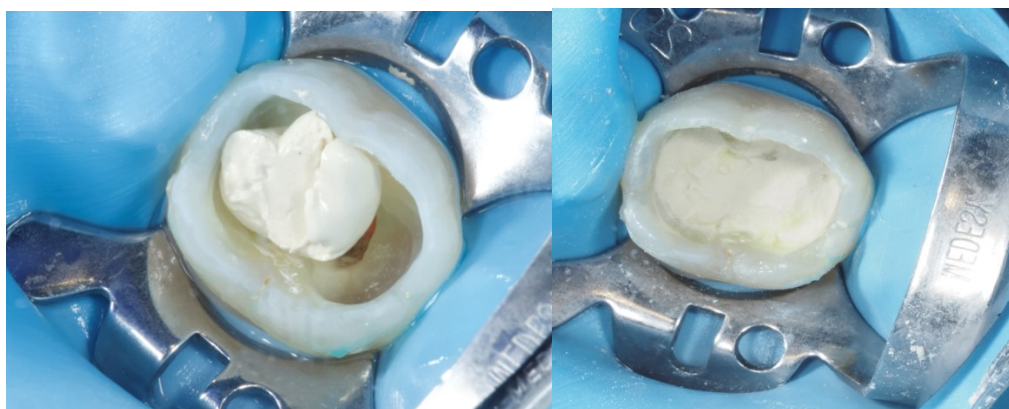
3.2.2. Bioaktivno svojstvo Biodentina

Kada određeni materijal dođe u dodir s tkivima on utječe na njihovu vitalnost, točnije djeluje na stanice pulpe i periradikularnog tkiva. Ako posjeduje toksična svojstva, može uzrokovati apoptozu ili nekrozu stanica. Prema tome, vrlo je važno svojstvo biokompatibilnosti materijala, to jest sposobnosti da u dodiru s tkivom potiče njegovu reparaciju i cijeljenje. Biodentin u dodiru s tkivom potiče proliferaciju i migraciju stanica pulpe te time potvrđuje svoje biokompatibilno, ali i bioaktivno djelovanje. Reakcijom stvrdnjavanja dolazi do disocijacije stvorenog kalcijevog hidroksida na hidroksilne i kalcijeve ione. Povećanjem koncentracije hidroksilnih iona dolazi do rasta pH i ostvarenja antibakterijskog djelovanja Biodentina. Uz to alkalni okoliš djeluje povoljno na cijeljenje tkiva te uzrokuje stvaranje tankog sloja koagulacijske nekroze na površini pulpe i time štiti njezine stanice i potiče stvaranje dentinskog mostića (24). Oslobađanjem kalcijevih iona Biodentine ostvaruje bioaktivno djelovanje te također potiče diferencijaciju stanica pulpe i mineralizaciju koja će dovesti do stvaranja dentinskog mostića. Osim prethodno nabrojanih iona, ovaj bioaktivni materijal otpušta i ione silikona koji imaju osteoinduktivno djelovanje, to jest potiču proliferaciju osteoblasta i ekspresiju gena koji su uključeni u sintezu kolagena te metabolizam i mineralizaciju kosti. Zahvaljujući svojem svojstvu da u kontaktu s tkivnom tekućinom, koja sadrži fosfatne ione, stvara kristale hidroksiapatita, ovaj materijal pokazuje odlično brtvljenje i time osigurava povoljne uvjete za ostvarenje svojeg bioaktivnog djelovanja (38, 39).

3.2.3. Primjena Biodentina u postendodontskoj opskrbi zuba

Uspješna restauracija zuba nakon provedenog endodontskog liječenja neophodna je kako bi se osigurala njegova dugotrajnost unutar usne šupljine, a prvenstveno ovisi o količini preostalog zubnog tkiva. Kao sredstvo za postendodontsku opskrbu zuba istaknuo se Biodentine. Koubi i sur. (2) proveli su kliničko istraživanje u kojem su dokazali da primjena Biodentina kao ispuna na stražnjim zubima može trajati do 6 mjeseci bez pojave simptoma (Slika 7 i 8). Biodentin se zbog svojih odličnih mehaničkih

svojstava može koristiti kao bulk materijal (34). Unatoč mehaničkim svojstvima, jedan od glavnih uzroka ograničenog roka trajanja ovakvog ispuna u ustima je abrazija njegove površine (31). Upotreba Biodentina u „sendvič tehnici“ ispitana je u nekoliko istraživanja. Otkriveno je da je najbolje koristiti Biodentin kao zamjenu za izgubljeni dentin pa je iznad Biodentina potrebno je napraviti završnu restauraciju od kompozitnog materijala, za što je potrebno pričekati najmanje dva tjedna kako bi materijal sazrio i bio sposoban izdržati kontrakcijske sile kompozita (40). Hidrofilna narav Biodentina uvjetuje vlažno okruženje tijekom njegova sazrijevanja, jer će u protivnom doći do stvaranja rubnih pukotina na spoju materijala i površine zuba te pojave pukotina unutar samog materijala (34).



Slika 7. Postavljanje Biodentina u kavitet kao zamjena za dentin u postendodontskoj opskrbi zuba.

Preuzeto s dopuštenjem autora: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago.



Slika 8. Primjena Biodentina u postendodontskoj opskrbi zuba kod jako destruiranog i izgubljenog dentinskog tkiva.

Preuzeto s dopuštanjem autora: izv. prof. dr. sc. Ivona Bago.

4. RASPRAVA

Biokeramički materijali pojavili su se kao osvježenje na tržištu punom materijala koji su neutralni prema periapikalnom tkivu, ili još gore, na njega djeluju citotoksično zbog komponenata od kojih su sastavljeni. Cilj razvoja i proizvodnje biokeramike bio je stvoriti materijal koji će biti što sličniji tkivu čovjeka i koji će u dodiru s njim utjecati na povoljnije cijeljenje i njegovu obnovu. Biokompatibilnost ovih materijala odnosi se na činjenicu da u dodiru s tkivom stvaraju kristale hidroksiapatita i time dovode do stvaranja kemijske veze između materijala i zuba. Uz svojstvo biokompatibilnosti, biokeramike posjeduju bioaktivno djelovanje, to jest djeluju osteoinduktivno i potiču stvaranje nove kosti (2). Postoji nekoliko podjela biokeramičkih materijala, ali možda je najpoznatija ona koja ih dijeli na bioinertne, bioaktivne i bioresorbirajuće (2). Prema načinu pripreme materijala prije njegove aplikacije, dijele se na biokeramike koje zahtijevaju miješanje te one prethodno zamiješane. Kod upotrebe materijala koji zahtijevaju ručno miješanje postoji mogućnost pogreške u vidu krivog omjera praška i tekućine te nedovoljno izmiješanog materijala. To će rezultirati nehomogenom teksturom cementa te lošijim fizikalno mehaničkim svojstvima, a posljedično i skraćivanjem dugotrajnosti materijala u uvjetima usne šupljine. Prethodno zamiješani materijali ipak pružaju određene prednosti. Točan omjer dvije komponente, ekonomičnost i olakšano rukovanje čine ove materijale sve češćim izborom velikog dijela kliničara (18). Prvi od biokeramičkih materijala, u širem smislu te riječi, bio je mineral trioksid agregat čiji se sastav bazira na sastavu Portland cementa uz iznimku dodatka bizmutova oksida. Zahvaljujući neosjetljivosti na tkivne tekućine MTA se dugo smatrao materijalom zlatnog standarda u nekim kliničkim situacijama, kao što su liječenje perforacija korijena i izrada retrogradnog punjenja. No unatoč prednostima, karakteriziraju ga i određeni nedostaci, a to su teško rukovanje materijalom, dugo stvrdnjavanje i obojenje tvrdih zubnih tkiva. Problem obojenja pokušao se riješiti formulacijom novog bijelog MTA-a, nasuprot prvotne sive verzije (13). Noviji biokeramički materijali nastojali su zadržati poželjna svojstva mineral trioksidnog agregata i ispraviti ona loša, ponajviše dugo vrijeme stvrdnjavanja i otežano rukovanje. Iako su jednim dijelom u tome uspjeli, zbog nedostatka rezultata kliničkih istraživanja koja bi potvrdila nadmoć novijih biokeramičkih materijala, MTA se prema nekim znanstvenicima još uvijek smatra zlatnim standardom. Klinička primjena biokeramike zahvaća područje endodontskog liječenja i postendodontske sanacije zuba te se još uvijek istražuje. Materijali koji se najčešće navode u literaturi su

BioRoot RCS, iRoot SP, EndoSequence BC Sealer, MTA-Fillapex, ProRoot Endo Sealer, Biodentine i drugi (2). Zbog odlične sposobnosti brtvljenja, biokompatibilnosti te neosjetljivosti na tkivne tekućine i krv, primjenu su pronašle kao sredstvo za punjenje apikalnog dijela korijenskog kanala. Također se koriste kao punilo u sklopu „single-cone“ tehnike punjenja, ali teško uklanjanje nakon stvrdnjavanja materijala unutar kanala mnoge kliničare navodi na odabir neke druge vrste materijala. U terapiji prekrivanja vitalne pulpe, prema nekim istraživanjima, daje se prednost Biodentinu, jer pokazuje bolja mehanička svojstva i izdržljivost u usporedbi s MTA-om. Primjenu su pronašle i u terapiji mladih trajnih zubi kod postupaka apeksifikacije, apeksogeneze i revaskularizacije pulpe gdje je MTA uspješno zamijenio prethodno upotrebljavan kalcijev hidroksid. Kod liječenja perforacija i resorpcije korijena posebno su se nametnuli prethodno zamiješani biokeramički materijali zbog jednostavnosti rukovanja i aplikacije na često teško dostupna mjesta (5). Restauracija zubnog tkiva nakon uspješno provedenog endodontskog liječenja jednako je važna za očuvanje zuba. Biodentine se zahvaljujući svojim odličnim mehaničkim svojstvima može koristiti kao materijal za postendodontsku opskrbu zuba (40). Dobro brtvljenje, to jest marginalna adaptacija, i dobra kompresivna čvrstoća čine ga adekvatnim sredstvom za takvu vrstu upotrebe. Mogućnost primjene Biodentina bez slojevanja znatno olakšava cijeli postupak izrade ispuna. Stvaranjem kristala hidroksiapatita preko kojih ostvaruje kemijsku i mikromehaničku vezu sa zubnim tkivom sprječava prodor bakterija i ugrožavanje provedenog endodontskog liječenja (31). Istraživanjem njegove trajnosti u uvjetima usne šupljine i izloženosti djelovanju žvačnih sila, dokazano je da dolazi do abrazije, to jest trošenja njegove površine. Koubi i suradnici (2) su u svojem istraživanju dokazali da Biodentine kao restaurativno rješenje na posteriornim zubima može trajati do 6 mjeseci. Prema tome, zaključeno je da ga je najispravnije koristiti u „sendvič-tehnici“ što znači da je iznad njega završno potrebno staviti sloj kompozitnog materijala koji nije podložan tako brzom trošenju te tako materijal ispunjava svrhu za koje je i stvoren, a to je da služi kao zamjena za dentin (40). Uza sve pozitivne rezultate koje biokeramički materijali pokazuju, potrebno je još vremena i istraživanja kako bi se ove materijale proglasilo prvim izborom u navedenim kliničkim situacijama i da bi dobili titulu materijala zlatnog standarda (1).

5. ZAKLJUČAK

Biokeramički materijali zahvaljujući svojstvu biokompatibilnosti, bioaktivnom djelovanju i poželjnim mehaničkim karakteristikama postaju sve popularniji u kliničkom radu, ali su i tema brojnih istraživanja. Osim u intrakanalnom liječenju zuba, biokeramički materijali kao što je Biodentin, zbog svojih odličnih fizikalno-mehaničkih i kemijskih svojstava, imaju važnu ulogu kao zamijena za dentin u postendodontskoj opskrbi zuba.. Iako je Biodentine pokazao obećavajuće rezultate, potrebna su daljnja klinička istraživanja kako bi se donio konačan i cjelovit sud o njegovoj upotrebi u postendodontskoj sanaciji zuba.

6. LITERATURA

1. Mangat P, Azhar S, Singh G, Masarat F, Yano N, Sah S. Bioceramics in Endodontics: A Review. *Int J Oral Care Res.* 2021;9(2):59–62.
2. Wang Z. Bioceramic materials in endodontics. *Endod Top.* 2015;32(1):3–30.
3. Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M. The use of bioceramics in endodontics - literature review. *Clujul Med 1957.* 2016;89(4):470–3.
4. Haapasalo M R, Parhar M, Huang X, Wei X, Lin J, Shen Y. Clinical use of bioceramic materials. *Endod Top.* 2015;32:97–117.
5. Dong X, Xu X. Bioceramics in Endodontics: Updates and Future Perspectives. *Bioeng Basel Switz.* 2023;10(3):354.
6. Bago I, Lucić R, Budimir A, Rajić V, Balić M, Anić I. Sealing Ability of Bioactive Root-End Filling Materials in Retro Cavities Prepared with Er,Cr:YSGG Laser and Ultrasonic Techniques. *Bioengineering.* 2022;9(7):314.
7. Tawil PZ, Duggan DJ, Galicia JC. MTA: A Clinical Review. *Compend Contin Educ Dent Jamesburg NJ* 1995; 2015;36(4):247–64.
8. Altan H, Tosun G. The setting mechanism of mineral trioxide aggregate. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2016;50(1):65–72.
9. Duarte MAH, Marciano MA, Vivan RR, Tanomaru Filho M, Tanomaru JMG, Camilleri J. Tricalcium silicate-based cements: properties and modifications. *Braz Oral Res.* 2018;32(1):e70.
10. Kunert M, Lukomska-Szymanska M. Bio-Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping-A Review Article. *Mater Basel Switz.* 2020;13(5):1204.
11. Palczewska-Komsa M, Kaczor-Wiankowska K, Nowicka A. New Bioactive Calcium Silicate Cement Mineral Trioxide Aggregate Repair High Plasticity (MTA HP)-A Systematic Review. *Mater Basel Switz.* 2021;14(16):4573.
12. Jakobović M. Biokeramički materijali - materijali sadašnjosti za budućnost [Internet] [info:eu-repo/semantics/masterThesis]. University of Zagreb. School of Dental Medicine. Department of Endodontics and Restorative Dentistry; 2023 [citirano 11. lipanj 2023.]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:127:596180>
13. Escobar-García DM, Medina-Rosas MG, González-Amaro AM, Méndez-González V, Flores H, Pozos-Guillén A. MTA-Based Cements: Biocompatibility and Effects on the Gene Expression of Collagen Type 1 and TGF- β 1. *BioMed Res Int.* 2022;2022:2204698.
14. Maher A, Núñez-Toldrà R, Carrio N, Ferres-Padro E, Ali H, Montori S. The Effect of Commercially Available Endodontic Cements and Biomaterials on Osteogenic Differentiation of Dental Pulp Pluripotent-Like Stem Cells. *Dent J.* 2018;6(4):48.

15. Xie GJ, Liu BF, Wang RQ, Ding J, Ren HY, Zhou X. Bioaggregate of photo-fermentative bacteria for enhancing continuous hydrogen production in a sequencing batch photobioreactor. *Sci Rep.* 2015;5:16174.
16. Yoshino P, Nishiyama CK, Modena KC da S, Santos CF, Sipert CR. In vitro cytotoxicity of white MTA, MTA Fillapex® and Portland cement on human periodontal ligament fibroblasts. *Braz Dent J.* 2013;24(2):111–6.
17. Badawy RES, Mohamed DA. Evaluation of new bioceramic endodontic sealers: An in vitro study. *Dent Med Probl.* 2022;59(1):85–92.
18. Motwani N, Ikhar A, Nikhade P, Chandak M, Rathi S, Dugar M, i ostali. Premixed bioceramics: A novel pulp capping agent. *J Conserv Dent JCD.* 2021;24(2):124–9.
19. Retana-Lobo C, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Benavides-García M, Hernández-Meza E, Reyes-Carmona J. Push-Out Bond Strength, Characterization, and Ion Release of Premixed and Powder-Liquid Bioceramic Sealers with or without Gutta-Percha. *Scanning.* 2021;2021:6617930.
20. Bohner M, Santoni BLG, Döbelin N. β -tricalcium phosphate for bone substitution: Synthesis and properties. *Acta Biomater.* 2020;113:23–41.
21. Abusrewil SM, McLean W, Scott JA. The use of Bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *Saudi Dent J.* 2018;30(4):273–82.
22. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater.* 2016;2016:9753210.
23. Islam R, Islam MRR, Tanaka T, Alam MK, Ahmed HMA, Sano H. Direct pulp capping procedures - Evidence and practice. *Jpn Dent Sci Rev.* 2023;59:48–61.
24. Arandi NZ, Thabet M. Minimal Intervention in Dentistry: A Literature Review on Biodentine as a Bioactive Pulp Capping Material. *BioMed Res Int.* 2021;2021:5569313.
25. Morotomi T, Washio A, Kitamura C. Current and future options for dental pulp therapy. *Jpn Dent Sci Rev.* 2019;55(1):5–11.
26. Kahler B, Chugal N, Lin LM. Alkaline Materials and Regenerative Endodontics: A Review. *Mater Basel Switz.* 2017;10(12):1389.
27. Guerrero F, Mendoza A, Ribas D, Aspiazu K. Apexification: A systematic review. *J Conserv Dent JCD.* 2018;21(5):462–5.
28. Araújo PR de S, Silva LB, Neto APDS, Almeida de Arruda JA, Álvares PR, Sobral APV. Pulp Revascularization: A Literature Review. *Open Dent J.* 2017;10:48–56.

29. Abu Hasna A, Pereira Santos D, Gavlik de Oliveira TR, Pinto ABA, Pucci CR, Lage-Marques JL. Apicoectomy of Perforated Root Canal Using Bioceramic Cement and Photodynamic Therapy. *Int J Dent*. 2020;2020:6677588.
30. Heboyan A, Avetisyan A, Karobari MI, Marya A, Khurshid Z, Rokaya D. Tooth root resorption: A review. *Sci Prog*. 2022;105(3):1–29.
31. Malkondu Ö, Kazandağ MK, Kazazoğlu E. A Review on Biodentine, a Contemporary Dentine Replacement and Repair Material. *BioMed Res Int*. 2014;2014:160951.
32. Slaboseviciute M, Vasiliauskaite N, Drukteinis S, Martens L, Rajasekharan S. Discoloration Potential of Biodentine: A Systematic Review. *Mater Basel Switz*. 2021;14(22):6861.
33. Odabaş ME, Bani M, Tirali RE. Shear bond strengths of different adhesive systems to biodentine. *ScientificWorldJournal*. 2013;2013:626103.
34. Clinical insights - Biodentine - Josette Camilleri [Internet]. Septodont Corporate. 2018 [citirano 08. lipanj 2023.]. Dostupno na: <https://www.septodontcorp.com/highlights/news/clinical-insights-biodentine-josette-camilleri/>
35. Pradelle-Plasse N, Mocquot C, Semennikova K, Colon P, Grosogeat B. Interface between calcium silicate cement and adhesive systems according to adhesive families and cement maturation. *Restor Dent Endod*. 2020;46(1):e3.
36. Shalabi M, Saber S, Elsewify T. Influence of blood contamination on the bond strength and biointeractivity of Biodentine used as root-end filling. *Saudi Dent J*. 2020;32(8):373–81.
37. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J*. 2020;39(5):703–20.
38. Bossù M, Iaculli F, Di Giorgio G, Salucci A, Polimeni A, Di Carlo S. Different Pulp Dressing Materials for the Pulpotomy of Primary Teeth: A Systematic Review of the Literature. *J Clin Med*. 2020;9(3):838.
39. Sherwood A, Gutmann J, Deepika G, Sadashivam V, J E, Meena D, i ostali. Biodentine: A Unique Bio-Active Endodontic Material with Versatile Uses. *J Dent Health Oral Res*. 2020;1(2):1–15.
40. Magaravalli SR, Patel SJ, Rangaswamy P, Ramachandra S, Govindappa K, Hiremath V. Effect of Smart Dentin Replacement, Biodentine, and Its Combination for Dentin Replacement as Alternatives to Full-crown Coverage for Endodontically Treated Molars: An: In Vitro: Study. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2019;9(6):559–65.

Ana Pavlović rođena je 3. travnja 1998. godine u Zagrebu u Republici Hrvatskoj. Završila je Osnovnu školu „Mladost“ Jakšić te se nakon toga 2013. godine upisuje u Opću gimnaziju Požega. Studij dentalne medicine na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu upisuje 2017. godine. Za vrijeme studija asistira u privatnoj stomatološkoj ordinaciji.