



Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Katja Kasač

**BIOKOMPATIBILNOST MATERIJALA  
KORIŠTENIH U STOMATOLOŠKOJ  
PROTETICI I NJIHOV UTJECAJ NA  
PARODONTNO ZDRAVLJE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.

Rad je ostvaren u Zavodu za Parodontologiju, Stomatološki fakultet sveučilišta u Zagrebu.

Mentor rada: izv.prof.dr.sc. Domagoj Vražić, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Lektor hrvatskog jezika: Elvira Grančić, prof. hrvatskoga jezika i književnosti

Lektor engleskog jezika: Lucija Grgić, mag.philol.ang. et suet.

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

- 1) \_\_\_\_\_
- 2) \_\_\_\_\_
- 3) \_\_\_\_\_

Datum obrane rada: \_\_\_\_\_

Rad sadrži: 38 stranica

0 tablica

0 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.

## **Zahvala**

Zahvaljujem svom mentoru izv.prof.dr.sc. Domagoju Vražiću na stručnosti, pomoći i savjetima tijekom pisanja ovog diplomskog rada.

Najveće hvala mojim divnim roditeljima i bratu koji su mi uvijek bili najveća podrška u svakoj mojoj odluci, utjeha u teškim trenucima i najodaniji navijači. Hvala vam na bezuvjetnoj ljubavi i pomoći i što ste svojom žrtvom omogućili da mi studiranje prođe što bezbolnije.

Hvala mojoj baki i djedu koji su uvijek vjerovali u mene i kojima nikad nije ponestalo mudrih savjeta, ljubavi i riječi ohrabrenja.

Hvala ostaloj mojoj obitelji koja mi je pružila podršku tijekom studiranja, uvijek davala dobre savjete i pomogla mi na razne načine. Zbog vas je sve bilo lakše.

Hvala mom Antonu što je svih ovih godina bio uz mene, na svakoj pomoći, strpljenju, zajedničkom učenju, smirivanju i riječima ohrabrenja.

Hvala mojim predivnim prijateljima iz Osijeka i onima koje sam stekla tijekom studiranja na nezaboravnim trenucima, osloncu i podršci kad god mi je trebala.

Hvala mojoj cimerici Mariji, koja je pet godina živjela samnom u maloj domskoj sobi i trpjela me, na razumjevanju, nezaboravnim uspomnama, najboljim savjetima i prijateljstvu za cijeli život.

Na kraju hvala mojim predivnim kolegama i prijateljima uz koje je cijelo studiranje prošlo puno bezbrižnije. Također, hvala i svim doktorima s kojima sam radila i surađivala koji su nesebično prenosili svoje znanje. Pogotovo mojoj Karli i Bruni na beskrajnom smijehu i podršci, ali i pomoći kad je bila najpotrebnija te mojoj grupi 5I/6C na svakom razgovoru, cugi, izlasku, zajedničkom učenju, pomoći, zagrljaju i uspomnama za čitav život.

# **BIOKOMPATIBILNOST MATERIJALA KORIŠTENIH U STOMATOLOŠKOJ PROTETICI I NJIHOV UTJECAJ NA PARODONTNO ZDRAVLJE**

## **Sažetak**

Pri izradi protetskog nadomjestka bitno je osigurati funkcionalnost, estetiku, zdravlje okolnog tkiva i dugotrajnost rada. Da bi do toga došlo, potreban je multidisciplinarni pristup i suradnja protetičara i parodontologa kako bi se pacijent pripremio za protetsku rehabilitaciju i kako bi se odabrao najbolji materijal i vrsta nadomjestka za pacijentovu situaciju. Biokompatibilnost je sposobnost materijala da bude u kontaktu sa živim tkivom bez uzrokovanja štetnog učinka. Materijal koji se koristi u protetske svrhe je predviđen da ostane dugo u usnoj šupljini i bitno je da je biokompatibilan. Također dugoročnost protetskih nadomjestaka ovisi o tkivu koje ga okružuje, stoga je bitno održavati parodontno i periimplantatno zdravlje kako nebi došlo do nepovoljnih posljedica. Parodontno i periimplantatno zdravlje je odsutnost kliničkih znakova upale. Rad je baziran na pregledu literature i usporedbi biokompatibilnosti i utjecaja na parodontno zdravlje različitih materijala u dentalnoj protetici. Materijali koji su proučavani su materijali za izradu krunica i mostova: cirkonij-oksida keramika, litijdisilikatna staklo-keramika i metal-keramika i materijali za izradu implantata: titanij i cirkonij-oksida. Uz izbor materijala važna je preparacija zuba prije protetske rehabilitacije i njena lokacija. Supraringivna preparacija je parodontološki povoljnija od subgingivne i, ako estetski zahtjevi dopuštaju, trebala bi se koristiti. Pregledom relevantne literature zaključeno je da je cirkonij-oksida materijal izbora za krunice i mostove zbog njegovih superiornih biokompatibilnih svojstava i bez štetnih učinaka na parodontno zdravlje. Također je zaključeno da je titanij materijal izbora za dentalne implantate zbog dobre oseintegracije, bioinertnosti i male štetnosti za periimplantatno tkivo.

**Ključne riječi:** biokompatibilnost; parodontno zdravlje; periimplantatno zdravlje; dentalni materijali; protetski nadomjestak

# **BIOCOMPATIBILITY OF MATERIALS USED IN PROSTHETIC DENTISTRY AND THEIR INFLUENCE ON PERIODONTAL HEALTH**

## **Summary**

When making a prosthetic replacement, it is important to ensure functionality, aesthetics, health of the surrounding tissue and longevity of work. In order to achieve this, a multidisciplinary approach and cooperation between prosthetists and periodontists is needed in order to prepare the patient for prosthetic rehabilitation, and to choose the best material and type of prosthesis for the patient's situation. Biocompatibility is the ability of a material to be in contact with living tissue without harmful effects. The material used for prosthetic purposes is intended to remain in the oral cavity for a long time, thus it is important that it is biocompatible. Another important factor is the fact that the long-term durability of prosthetic replacements depends on the surrounding tissue, so it is important to maintain periodontal and peri-implant health in order to avoid adverse consequences. Periodontal and peri-implant health is the absence of clinical signs of inflammation. This paper is based on a review of literature and a comparison of the biocompatibility of different materials in dental prosthetics and their impact on periodontal health. The materials studied are materials for making crowns and dental bridges, namely zirconium oxide ceramics, lithium disilicate glass-ceramics and metal-ceramics, and materials for making implants - titanium and zirconium oxide. In addition to the choice of material, tooth preparation before prosthetic rehabilitation and its location are important. Supragingival preparation is periodontologically more favorable than subgingival and, if aesthetic requirements allow, it should be used. A review of relevant literature concluded that zirconium oxide is the material of choice for crowns and bridges due to its superior biocompatible properties, as well as the fact that it had no adverse effects on periodontal health. It was also concluded that choosing titanium materials for dental implants is due to good osseointegration, bioinertness and low damage to peri-implant tissue.

**Key words:**biocompatibility; periodontal health; peri-implant health;dental materials; prosthetic restoration

## SADRŽAJ

1.UVOD.....	1
2.POGLAVLJA.....	3
2.1.Biokompatibilnost.....	4
2.2.Parodontno zdravlje.....	4
2.3.Periimplantatno zdravlje.....	5
2.4.Materijali u protetici.....	7
2.4.1.Materijali za izradu krunica i mostova.....	8
2.4.1.1.Cirkonij-oksidsna keramika.....	8
2.4.1.2.Litij-disilikatna staklokeramika.....	9
2.4.1.3.Metal-keramika.....	10
2.4.2.Materijali za izradu implantata.....	11
2.4.2.1.Titanski implantati.....	13
2.4.2.2.Cirkonij-oksidsni implantati.....	14
3.RASPRAVA.....	15
4.ZAKLJUČAK.....	19
5.LITERATURA.....	21
6.ŽIVOTOPIS.....	29

## **Popis skraćenica**

CO- cirkonij-oksidi

LD-litij disilikat

MK- metal-keramika

Y-TZP- jitrjem stabilizirani tetragonalni cirkonijski polikristali

CAD- computer aided design; računalom podpomognuto oblikovanje

CAM- computer aided manufacturing; računalno podpomognuta proizvodnja

## **1.UVOD**

Oštećenoj, istrošenoj ili nepotpunoj denticiji potreban je protetski tretman koji će funkcionalno i morfološki nadomjestiti nedostatak na adekvatan način. Nadomjestak zuba ili struktura zuba koji nedostaju tradicionalno je u srži protetskog tretmana.(1)Protetika je stomatološka specijalnost koja se odnosi na dijagnozu, planiranje liječenja, rehabilitaciju i održavanje oralne funkcije, udobnosti, izgleda i zdravlja pacijenata s kliničkim stanjima povezanim s nedostatkom zuba ili dijela zuba i/ili maksilofacijalnog tkiva korištenjem biokompatibilnih nadomjestaka(2).Protetski nadomjestak je uvijek u kontaktu s parodontom koji se sastoji od gingive, alveolarne kosti, parodontnog ligamenta i korijenskog cementa, to je potporno tkivo zuba(3). Parodontologija je specijalnost stomatologije koja obuhvaća prevenciju, dijagnostiku i liječenje bolesti potpornih i okolnih tkiva zuba ili njihovih nadomjestaka(4).Parodontologija i dentalna protetika imaju veliku povezanost u modernoj stomatologiji. Parodontno zdravlje igra veliku ulogu u trajnosti radova što je vrlo važno za protetičare(5). Da bi se osiguralo zadovoljstvo pacijenta, nužan je multidisciplinarni pristup izradi protetskih radova. To uključuje istovremenu parodontnu i protetsku obradu i brigu o pacijentu (6). Te dvije stomatološke discipline moraju raditi zajedno u više aspekata kao što su plan liječenja, izvršavanje postupaka, postignuće ishoda i održavanje (5).

Materijali koji se koriste u protetici moraju zadovoljiti neke osnovne zahtjeve. Trebali bi moći podnijeti žvačne sile, trebali bi biti slični zubnim strukturama po mehaničkim svojstvima, imati sličan izgled prirodnom dentinu i caklini zuba i biti biokompatibilni u okolišu usne šupljine(7).Biokompatibilnost materijala u protetici je posebno važna iz razloga što su ti materijali duži periodu direktnom kontaktu sa živim tkivom. Nijedan materijal nije dokazano 100% siguran, stoga odabir materijala koji će se nalaziti u usnoj šupljini mora imati balans između potencijalnih rizika i povlastica (8).

Svrha ovog preglednog diplomskog rada jest ustanoviti utjecaj različitih materijala za krunice i mostove te materijala za izradu implantata na parodontno i periimplantatno zdravlje te koliko su biokompatibilni.

## **2.POGLAVLJA**

## **2.1. Biokompatibilnost**

Biokompatibilnost je definirana kao “sposobnost materijala da funkcionira s prikladnim odgovorom domaćina u specifičnoj primjeni”(9). Usna šupljina i maksilofacijalna regija su kompleksne i raznolike, s različitim problemima u biokompatibilnosti s obzirom na specifičnu primjenu različitih materijala.

Osim potpuno implantiranih materijala koji su u tkivu, ostali materijali izloženi su slini, ostacima hrane, bakterijama i produktima interakcija između komponenata iz okoliša. Također se u usnoj šupljini drastično izmjenjuju temperatura i pH zbog konzumiranja hrane i pića različite temperature te različite razine kiselosti. (10)

Biokompatibilnost se ispituje u in vitro istraživanjima, zatim istraživanjima na životinjama i na kraju kliničkim studijama. Svrha provođenja tih studija je procijeniti biokompatibilnost raznih materijala na etički i financijski izvediv način i eliminirati materijale koji pokazuju veći citotoksični potencijal. (11) Potencijalna zabrinutost stomatologa o biokompatibilnosti može se organizirati u četiri područja: sigurnost pacijenta, sigurnost stomatološkog osoblja, problem usklađenosti s propisima i legalna odgovornost(8).

## **2.2. Parodontno zdravlje**

Parodont je definiran kao tkivo koje podupire i oblaže zub. Sastoji se od cementa, parodontnog ligamenta, kosti koja oblaže zubnu alveolu (alveolarna kost) i dijela gingive koji se nalazi uz zub (dentogingivni pričvrstak).(12)

Parodontno zdravlje je definirano kao odsutnost klinički vidljive upale. Odsutnost krvarenja pri sondiranju, eritema i edema. Klinički vidljivo parodontno zdravlje se može pronaći na intaktnom parodontu, bez kliničkog gubitka pričvrstka ili gubitka kosti i na reduciranom parodontu ili kod pacijenata bez parodontitisa, na primjer kod pacijenata koji imaju neki oblik gingivalne recesije, ili nakon operacije produljenja krune, ili kod pacijenata s poviješću parodontitisa koji je trenutno parodontno stabilan. (13)

Parodontne bolesti, u kojima je narušeno parodontno zdravlje, odnose se na upalne procese koji se pojavljuju u tkivima koji okružuju zub kao odgovor na akumulaciju bakterija na

zubu. Akumulacija bakterija na zubu se naziva dentalni plak. Imunosni odgovor, koji bakterije uzrokuju na gingivalnom tkivu, odgovoran je za progresivan gubitak kolagenskog pričvrstka zuba s prilježćom alveolarnom kosti, što bi, ako se ne kontrolira, moglo uzrokovati klamanje zuba te kasnije njegov gubitak. (14) Odrednice koje povećavaju rizik za razvoj parodontitisa su starija dob od 35 godina, muškarci, niži stupanj obrazovanja, niži prihodi, nekontrolirani dijabetes, pretilost, manji percipirani stress i trenutačno pušenje više od deset cigareta dnevno. (15)

Jedan od prvih histoloških znakova parodontitisa je migracija spojnog epitela duž površine korijena i njegovo produljenje, što daje za rezultat stvaranje dugog spojnog epitela i gingivnog džepa. Vezivno tkivo koje graniči s epitelom kontinuirano se mijenja zbog upalnog odgovora. Iz tog razloga spojni epitel migrira dok ne dođe do zdravog vezivnog tkiva koje signalizira epitelu da zaustavi svoje kretanje prema dolje, formira funkcionalni epitelni pričvrstak i pričvrsti se za površinu zuba. (12)

Parodontološko liječenje, u kojem se profesionalno uklanjaju supragingivne i subgingivne naslage, može usporiti napredak parodontne bolesti jer će smanjiti upalu, ali jednom kada dođe do gubitka kosti i okolnog tkiva taj gubitak je trajan. Pacijenti koji su bolovali od parodontitisa imaju povećani rizik od ponovnog pogoršanja parodontne bolesti (16)

### **2.3. Periimplantatno zdravlje**

Kada se u ustima kao nadomjestak nalazi krunica, most ili protezana implantatima, treba definirati i periimplantatno zdravlje. Ono je karakterizirano kao odsutnost eritema, krvarenja pri sondiranju, oticanja i supuracije. Periimplantatno zdravlje može postojati oko implantata s normalnom i reduciranom koštanom potporom. (17) Zdrava periimplantatna mukoza sastoji se od jezgre od vezivnog tkiva prekrivenog keratiniziranim i nekeratiniziranim epitelom. Većina unutarkošanog dijela implantata je u kontaktu s mineraliziranom kosti dok je preostali dio okrenut prema koštanoj srži, vaskularnim strukturama ili fibroznom tkivu.

Periimplantatno tkivo ima nedostatak struktura karakterističnih za parodontno tkivo oko zuba. Nema cement korijena i parodontalni ligament. Dentoalveolarni i dentogingivni snopovi vlakana spajaju meka tkiva sa zubom, cement korijena, ali takvi snopovi vlakana ne spajaju površinu implantata s okolnim tkivom. Kod parodontološki zdravog tkiva, rub gingive prati konturu

caklinsko cementnog spojišta, dok kod odgovarajućeg mjesta uz implantat rub mukoze prati konturu krestalne kosti kod višestrukih implantata. Zub je pomičan unutar svoje alveole, a implantat je kruto usidren u okolnu kost. (18)

U odsutnosti periimplantatnog zdravlja mogu nastati periimplantni mukozitis te, ako dođe do napretka, periimplantitis. Periimplantni mukozitis pokazuje znakove upale. Glavni znak je krvarenje na niježno sondiranje, ali moguća je pojava eritema i supuracije. Etiološki faktor je dentogingivni plak. Periimplantitis je patološko stanje koje je karakterizirano upalom tkiva koje okružuje implantat poslije čega slijedi progresivan gubitak kosti. (19)

Znakovi i simptomi koji su tipični za periimplantatne lezije su radiološki dokaz za vertikalnu destrukciju krestalne kosti, vertikalna destrukcija kosti povezana s formacijom periimplantatnog džepa, krvarenje i supuracija na sondiranje, oticanje periimplantatnog tkiva i hiperplazija te bol koja je, kada je prisutna, uglavnom povezana s akutnom infekcijom. (20)

Nakon nekog vremena periimplantitis može dovesti do klimanja i gubitka implantata. Različiti faktori dovode do gubitka implantata, preopterećenje implantata, greška u materijalu i tehnici ugradnje, loša kvaliteta kosti na mjestu implantacije, sistematske bolesti i terapije lijekovima koji utječu na kost. (21)

Anaerobne bakterije iz plaka imaju štetan učinak na zdravlje periimplantatnog tkiva. Kada implantat bude izložen u oralnu šupljinu, plak će se formirati na njegovoj površini, kao i kod zuba. Kod bezubih pacijenata kolonizacija periimplantatnog sulkusa potječe od mikroflore koja se nalazi u slini. (22)

## **2.4. Materijali u protetici**

Materijalima u protetici smatraju se svi materijali od kojih se izrađuju protetski nadomjestci i cementi kojima se oni vežu za preostale zube ili implantate. Protetski materijali ostaju duži periodu bliskom kontaktu s okolnim mekim tkivom. Materijali nebi trebali sadržavati toksične tvari koje bi se mogle apsorbirati u cirkulaciju i uzrokovati toksične odgovore ili prekinuti proces cijeljenja okolnih tkiva. (23)

Protetski nadomjestak je pojam za bilo koji materijal ili protezu koja nadoknađuje ili zamjenjuje izgubljenu zubnu strukturu, zube ili oralno tkivo. Protetski nadomjestci mogu biti fiksni ili mobilni. Mobilni protetski radovi mogu se podijeliti na potpune i djelomične proteze. Fiksni protetski radovi se mogu podijeliti na krunice koje okružuju preostalu strukturu pojedinačnog zuba i mostove koji fiksno nadoknađuju nedostatak više zubi te su sigurnosno fiksirani. Prirodni zubi, korijenovi zuba i dentalni implantati služe kao nosači i uporišta za zubne nadomjestke (24)

Klinički uspjeh i dugotrajnost protetskih nadomjestaka ovisi o pažljivom i točnom obavljanju pojedinih koraka i procedura u izradi. Cilj je održati normalan izgled i zdravlje gingive. Postizanje tog cilja zahtijeva optimalno zdravlje gingive prije početka zahvata i minimalno traumatsko obavljanje zahvata.

Najbolji način da se održi zdravlje gingive i minimizira trauma je da se izbjegne direktan kontakt protetskog materijala s gingivom. Zbog estetskih i funkcionalnih razloga, rubovi preparacije protetskog nadomjestka su često smješteni u gingivnom sulkusu. (25) Rubovi preparacije bi se trebali nalaziti supragingivno kad god to zahtjevi otpora i estetike dopuštaju. Supragingivni rubovi preparacije su najpovoljniji za parodontno zdravlje. Subgingivni rubovi preparacije koriste se kada je potrebno postići adekvatnu dimenziju preparacije da bi se zadovoljila retencija i rezistencija, zbog dentalnog karijesa, fraktura i erozije ili abrazije te da bi se poboljšala estetika završnog protetskog nadomjestka. (26) Kada je zubu potrebna subgingivna preparacija, ona ne bi trebala doći do epitelnog pričvrstka. (27) Kliničar treba procijeniti kakvu će preparaciju napraviti na zubu prema trenutnom stanju zuba i s obzirom na to od kojeg će materijala napraviti protetski nadomjestak.

### **2.4.1. Materijali za izradu krunica i mostova**

Krunica je umjetni nadomjestak koji nadoknađuje strukturu zuba koja nedostaje okružujući dio ili cijelu preostalu strukturu raznim materijalima. Most je bilo koji protetski nadomjestak koji je učvršćen vijcima ili mehanički ili na neki drugi način sigurno pričvršćen za prirodne zube, korijenove zuba ili dentalne implantate koji predstavljaju primarnu potporu za nadomjestak i obnavljaju više zubi u djelomično bezubom grebenu. (2)

#### **2.4.1.1. Cirkonij-oksidna keramika**

Cirkonij-oksidna (CO) keramika ( $ZrO_2$ ) je oksidna keramika koja nastaje dodavanjem različitih oksida u mineralnu staklenu talinu kako bi se ojačala inače krhka keramika podložna lomovima. To su materijali koji se sastoje od jednofaznih i jednokomponentnih metalnih oksida ili mogu imati višekomponentni sustav s visokim stupnjem čvrstoće i ujednačene mikrostrukture. (28)

Kristali cirkonija mogu se organizirati u tri različita oblika: monoklinski (M), kubični (C) i tetragonalni (T). Miješajući cirkonij oksid s drugim metalnim oksidima može se dobiti dobra molekularna stabilnost. (29) Cirkonij ima nisku toplinsku vodljivost, nizak potencijal korozije, dobar radiopacitet, visoku biokompatibilnost, nisku bakterijsku površinsku adheziju i povoljna optička svojstva. U prisutnosti vlage uočeno je da je cirkonijevom oksidu svojstveno ubrzano starenje. Nastaju transformacije koje stvaraju mikropukotine na površini, koje nakon nekog vremena dovode do slabljenja materijala i grublje površine. (30) Ima vlačnu čvrstoću 900-1200 MPa, a otpornost na kompresiju 2000 MPa. (31)

Monolitne cirkonijske krunice čuvaju strukturu zuba jer zahtijevaju minimalnu preparaciju. (32) Cirkonij se smatra prigodnim keramičkim materijalom za dentalne i druge biomedicinske primjene zbog svoje visoke otpornosti na koroziju i male težine. Materijali na bazi cirkonija su kemijski inertni i nemaju štetnih učinaka niti općih reakcija na tkiva. Najsnažnija dentalna keramika koja se komercijalno može nabaviti je jitrjem stabilizirana tetragonalna cirkonijska polikristlična keramika. (33)

CO keramika ima superiorna estetska svojstva u usporedbi s drugim protetskim materijalima. Takozvani nemetalni protetski nadomjestci su uvijek predstavljali izazov u stomatologiji da se ne vidi sivi metalni odsjaj ispod keramike, a da ima visoka mehanička svojstva, no s CO keramikom je taj cilj postignut. Glavni problem koji je sprječavao normalno iskorištenje materijala bio je taj

da je keramika imala mikrodefekte u strukturi koji su kasnije doveli do pucanja. Kod cirkonija su taj problem svladali tako što su ga transformirali iz tetragonalne u monoklinsku fazu. (34)

Ova keramika ima zrno male veličine, manje od 1  $\mu\text{m}$ , koje utječe na hrapavost površine koja se onda može mijenjati. (35) Kako su napravljeni od visoko polirane površine, mogu biti u kontaktu s gingivom i pomoći u održavanju arhitekture gingive. Cirkonij je manje štetan za parodontno tkivo zbog smanjenog rizika akumulacije dentalnog biofilma, toga je lakše podnošljiv za meka tkiva i oralne strukture. (36)

#### **2.4.1.2. Litij-disilikatna staklokeramika**

Litij-disilikatna staklokeramika je silikatna keramika čiji su sastavni dijelovi glina i kaolin i glinenci kao nositelji silicija. Nastaje kontroliranom kristalizacijom stakla. (37) Litij disilikat (LD),  $\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O}$ , je predstavljen u području staklo-keramike 1998. kao jezgri materijal pokazujući optimalnu distribuciju izduženih malih kristala u obliku igle u staklenoj matrici s malim brojem i malim dimenzijama pora. (38) 2009. predstavljena je nova poboljšana LD staklo-keramika u kojoj su poboljšana optička i mehanička svojstva zbog napretka u proizvodnji. (39)

Kristali su još manji i urednije posloženi, ovaj materijal omogućuje izradu automatski oblikovanih, monolitnih nadomjestaka gdje se mora obojiti samo površina i time se smanjuju tehničke komplikacije kao što su frakture. (40) Mikrostruktura se sastoji od gusto isprepletenih LD kristala koji su dugački 5  $\mu\text{m}$  i 0.8  $\mu\text{m}$  u dijametru. (30) LD staklo-keramika ima vlačnu čvrstoću između 350 MPa i 450 MPa. Materijal se može koristiti za prefabricirane onlaye i inlaye, ljuskice, anteriorne i posteriorne krunice i krunice na implantatu. (41)

LD materijali inicijalno suprimiraju staničnu aktivnost mitohondrija što ukazuje na citotoksičnost i da materijal nije biološki inertan. No, rezultati istraživanja pokazuju da se inicijalni biološki rizik rapidno smanjuje vremenom. (42) Analiza na kulturi ljudskog epitelnog tkiva pokazala je da je LD najprikladniji od proučavanih materijala za nadomjestke koji dolaze u kontakt i zahvaćaju sulkularni epitel gingivne brazde. Stoga je LD prikladan materijal za subgingivnu preparaciju zuba. (43)

LD keramika korištena prema standardiziranim kliničkim postupcima ne vodi do mjerljivog upalnog odgovora gingive. (44) Visoka sposobnost poliranja površine LD unapređuje adheziju i

proliferaciju gingivnih fibroblasta i epitelnih stanica. LD keramika ima povoljan parodontni odgovor nakon cementiranja. (45)

Zbog svojih dobrih optičkih svojstava, mehančkih karakteristika, lakoće izrade, omogućavanjem minimalno invazivnog pristupa LD keramikapostao je jednim od najpopularnijih materijala za skoro sve indikacije u fiksnoj protetici. (46)

#### **2.4.1.3.Metal-keramika**

Metal kemaramički (MK) sistemi koriste se za različite protetske nadomjestke s ciljem kombiniranja svojstava metalnih legura, kao što su visoka vlačna čvrstoća, savojna čvrstoća, otpornost na trošenje i koroziju, te dobrog estetskog izgleda koji imaju keramički materijali. (47)

Metalna komponenta u MK nadomjestku predstavlja važnu ulogu u osiguravanju potpore keramike i da bi izrada bila uspješna mora biti izrađen od legura koje zadovoljavaju minimalne zahtjeve za jačinu, stabilnost, otpornost na koroziju, mogućnost poliranja i biokompatibilnost. Neke od tih legura su: zlato-platina-paladij, zlato-paladij, paladij-srebro, nikal-krom i kobalt-krom. (48) Dosada, najčešće korištene metalne legure za MK nadomjestke bile su nikal-krom (Ni-Cr) legure, no zbog potencijalnih problema za zdravlje koje može uzrokovati nikal, najčešće alergije, razvijene su i kobalt-krom (Co-Cr) legure. (49)

Mora se osigurati kompatibilnost materijala metalne i keramičke komponente u više stavki, kemijska, termo-kemijska i mehanička kompatibilnost. Bez toga dolazi do rizika pucanja keramike, deformacije metalne jezgre i nepoželjne estetike nadomjestka.(50) Keramika bi trebala biti pod laganim pritiskom prije pečenja kako bi se zaštitila od pucanja ili lomljenja uslijed toplinski induciranog vlačnog naprezanja. Zbog toga bi koeficijent termalne ekspanzije materijala trebao biti malo veći nego keramike. (51)

Usprkos velikom postotku uspješnosti izrade MK nadomjestaka, često dolazi do marginalnih defekata i to je jedan od najčešćih neuspjeha krive izrade ili prejakih sila. (52) Najčešći biološki neuspjeh bio je formacija parodontnih džepova i oticanje gingive. (53) Kobalt-krom legura otpušta metalne ione u oralnu šupljinu što može uzrokovati iritaciju parodontnog tkiva. Slina ima određeno korozivno djelovanje na metale što može uzrokovati alergije i crne mrlje na vratu zuba i gingivi nakon dužeg vremena. (54)

Sklonost koroziji dentalnih legura u MK je važna za parodonto zdravlje, ali je i ključna za njihovu biokompatibilnost. Kada je metal u elektrolitnom mediju, kao što je slina, na površini metala počinje proces ionizacije i metalni ioni se otpuštaju u okoliš kako metal počinje disocirati. Oksidni sloj, koji suprimira koroziju i održava ju samo na površini, nastaje interakcijom molekula apsorbiranog kisika i metalnih iona. (55) Ioni otpušteni iz metalnih legura mogu utjecati ne samo na okolno tkivo već i na udaljena područja te biološke sisteme u tijelu. Mogu uzrokovati sistemsku i lokalnu toksičnost, alergijske reakcije i kancerogene alteracije. (56) Tomova i drugi (57) dokazuju da su određene kobalt-krom legure za MK nadomjestke biokompatibilni materijali koji se mogu sigurno koristiti i imaju stabilnu otpornost koroziji i minimalno otpuštanje iona koji ne uzrokuju oksidativni stres organizmu, što doprinosi dugotrajnosti protetskih nadomjestaka i sigurnosti pacijenta.

Dobra korozivnost, posebno pod utjecajem tekućina u oralnoj šupljini, kao i biokompatibilnost s oralnim tkivima čine MK jednim od najčešće korištenih materijala za fiksne nadomjestke. Najčešće se u stomatologiji koriste za izradu krunica i mostova. Različite legure koje se koriste za metalni dio nadomjestka omogućuju pružanje visokokvalitetnog rada za pacijente s limitiranim financijskim sredstvima. (49) Optimalna estetika se ne može uvijek postići s MK nadomjestkom, posebno u području labiolingvalne margine. (58)

#### **2.4.2. Materijali za izradu implantata**

Dentalni implantati su strukture napravljene od aloplastičnih materijala implantiranih u oralna tkiva ispod mukoze i periosta i unutar ili kroz kost da bi omogućili retenciju i potporu fiksnim i mobilnim dentalnim nadomjestcima. Od davnina nadomještanje izgubljenog zuba predstavlja izazov. Ljudi su na različite načine pokušali implantatom nadomjestiti izgubljeno zubno tkivo.

Oseointegracija, koncept koji je uveo Branemark, proširila je opcije za nadoknadu zubnog tkiva kod parcijalne ili potpune bezubosti. On ju je definirao kao izravnu strukturnu i funkcionalnu vezu žive kosti i endoosealnog implantata koji nosi opterećenje i koja je vidljiva na razini svjetlosnog mikroskopa. (59) Postavljeni su standardi na temelju implantata koje je dizajnirao Branemark i njihovoj uporabi koji uključuju kritične dokaze za implantate koji se i danas koriste. Implantat je bio izrađen od čistog titana, implantat je imao hrapavu površinu s nepravilnom hrapavošću od

strojne obrade titana i postavljen je s minimalnom traumom za kost. (60) Oseointegrirani zubni implantat održava biološku i mehaničku fiksaciju implantata u kosti pod normalnom kliničkom funkcijom.

Zubni se implantat postavlja pomoću seta kirurških bušilica koje su posebno proizvedene od svakog proizvođača implantata i poštujući njihove upute. Kirurške bušilice pripremaju ležište implantata kako bi točno odgovaralo određenom implantatu tog proizvođača prema dimenziji. Različiti proizvođači proizvode implantate u više veličina, širina i oblika, ovisno o mjestu implantacije i zubi koji se nadomješta. (61)

Može doći do raznih komplikacija nakon postavljanja implantata kao što su nestabilnost protetskog nadomjestka na implantatu, nestabilnost implantata, okluzalne traume, frakturirane komponente, bol, upala, infekcija, neuropatija, periimplantatni gingivitis, periimplantitis i na kraju odbacivanje implantata. Odbacivanje implantata može biti rano i kasno. Rano odbacivanje slijedi ubrzo nakon postavljanja i oseointegracija implantata se nikad ne postigne. Kasno odbacivanje dolazi kod uspješno integriranog implantata neko vrijeme nakon postavljanja i protetske restauracije. Uzroci kasnog odbacivanja mogu biti upala i biomehaničko preopterećenje. (62)

Do neuspjeha postavljanja implantata i njegovog odbacivanja dolazi puno manje zbog okluzalnog preopterećenja, a puno više zbog periimplantatnih infekcija, periimplantatnog mukozitisa i periimplantitisa. Da bi se neuspjeh smanjio na minimum, potrebno je postavljanje implantata napraviti po pravilima proizvođača i u sterilnim uvjetima te pacijent treba ići na redovite kontrole, u kojima se provjerava stanje implantata i tkiva oko njega sondiranjem, radiološke pretrage i održavati adekvatnu oralnu higijenu. (20)

Materijali od kojih se izrađuju implantati moraju imati veliku kompresijsku i vlačnu čvrstoću da bi povećali svoju funkcionalnu stabilnost i da bi spriječili frakture. Dentalni implantati su najčešće dostupni u šiljastom ili paralelnom obliku. Šiljasti implantati imaju bolju primarnu stabilnost od paralelnih, mogu se koristiti u mekanijem dijelu kosti kao što je posteriorni dio maksile. Materijal od kojeg se izrađuje implantat mora biti biokompatibilan jer je u direktnom kontaktu s kosti (63).

### 2.4.2.1. Titanski implantati

Titanij je metal koji se u prirodi najčešće nalazi u mineralima rutil ( $\text{TiO}_2$ ) i ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ) i potrebne su različite metode da bi se dobio elementarni titan iz njih. Titan i njegove legure koriste se u stomatologiji u protetici zbog svoje jedinstvene kombinacije kemijskih, fizičkih i bioloških svojstava. (64) Najčešća korištena legura titana je čisti titan. Čisti je titan dostupan u četiri tipa prema čistoći i sadržaju kisika u procesu obrade. Tipovi imaju različitu rezistenciju na koroziju, rastezljivost i snagu. Tip 4 ima najveću razinu kisika, oko 0,4%, i najveću mehaničku snagu te se najčešće koristi za zubne implantate. Oksidi formiraju površinski sloj na implantatima koji je bitan za njihova povoljna svojstva. (65) Također se često koristi i legura Ti-6Al-4V koja se naziva tip 5 koja pokazuje veliku čvrstoću s obzirom na druge tipove. Modul elastičnosti ove legure sličan je kosti. Korištenje ove legure je dokazano biološki prihvatljivo, no otpušta aluminij i vanadij što bi moglo uzrokovati biološke probleme. (66)

Korozija je jedan od glavnih faktora koji utječu na biokompatibilnost metalnih implantata zato što ioni koji se oslobađaju kroz koroziju mogu izazvati štetne učinke. Legure titana imaju dobru otpornost na koroziju. (67)

Čisti titanij i legura Ti-6Al-4V mogu se lako oseointegrirati. Međufazna zona između titanske legure i kosti kritična je za razvoj oseointegracije. Prvi je korak odlaganje proteina iz plazme krvi na površinski oksidni sloj na koje se formira fibrinski matriks, strukturu na koju će se uhvatiti osteoblasti. Osteoblasti oblažu kost koja se širi kako bi ispunila sve međuprostore između implantata i kosti te rasla točno uz površinu implantata uzrokujući da implantat postane osteointegriran. Dokaz ispravne oseointegracije je čvrsti implantat u kosti. (68)

Titanij je bioinertna tvar koja nema ništa ili vrlo malo negativnih efekata na tkivo uz koje prijanja. Nepravilno postavljanje implantata ili neuspješna oseointegracija mogu pokrenuti upalni odgovor domaćina i uzrokovati periimplantitis. Bitnu ulogu u razvoju periimplantitisa imaju čestice titanija. (69) Čestice titanija koje se mogu otpustiti iz implantata mogu se sistemski akumulirati i imaju potencijalne toksične i hipersenzitivne učinke na okolno tkivo. (70) Najveći rizik za infekciju je četiri tjedna nakon postavljanja implantata, zato što oseointegrirani dio kosti nije formiran do kraja i protuupalna sposobnost je još uvijek slaba i to može dovesti do ranog gubitka implantata. (71) Razni antibakterijski premazi postavljaju se na površinu implantata kako

bi reducirali adheziju bakterija i inhibirali formaciju biofilma, no na površini titana ti premazi pokazuju rapidno smanjenje antibakterijskog djelovanja kroz vrijeme. (72)

#### **2.4.2.2. Cirkonij-oksidni implantati**

CO implantati su u upotrebi posljednjih desetak godina. Materijali od cirkonija smatraju se biomaterijalima s visokom kemijskom stabilnošću koji izbjegavaju otpuštanje toksičnih produkata u okolna tkiva. Cirkonij ima visoku čvrstoću i otpornost na lom, malu termalnu konduktivnost i biokompatibilan je. (73)

Jitrijem stabilizirani tetragonalni cirkonijski polikristali (Y-TZP) pojavili su se u stomatologiji kao obećavajući materijal za dentalne implantate zbog estetskih svojstava kao što su boja i opalescencija koji imitiraju prirodni izgled zuba. Prednost CO implantata pored titanskih je ta što oni nisu sive boje, kao titanski, koja može prosijavati kroz gingivu i kompromitirati estetiku gingive, što je vidljivo pogotovo u fronti. Y-TZP pružaju stimulaciju osteogenih stanica tijekom oseintegracije u kombinaciji s mehaničkim karakteristikama kao što su visoka rezistencija na koroziju, radioopacitet i ima veći afinitet prema koštanom tkivu nego većina alternativnih biokompatibilnih keramika. (74)

Razni in vitro testovi rađeni su na osteoblastima, fibroblastima, limfocitima, monocitima i makrofazima kako bi se ispitala biokompatibilnost cirkonija i dokazano je da nema nikakav citotoksični efekt na osteoblaste i ne provocira upalni odgovor. (75)

Površina CO implantata je glatka, za razliku od površine titanskih implantata. Cirkonij ima sposobnost inhibicije razine bakterijske kolonizacije na svojoj površini. Ima smanjenu adherenciju bakterija i akumulaciju biofilma što dovodi do niskog rizika za upalne reakcije u susjednom periimplantatnom tkivu. (76)

Periimplantitis se pojavljuje kod titanskih i kod CO implantata jednako učestalo. Pojavnost periimplantitisa kod CO implantata je vrlo niska i zasada istraživanja na njima pokazuju dobre rezultate. (77)

Većina studija na CO implantatima su kratkoročne i nedostaju dokazi o uspjehu u dugoročnim kliničkim istraživanjima. Potrebno je još istraživanja na njima prije nego bi se mogli početi koristiti za stalno liječenje nedostatka zuba. (78)

### **3.RASPRAVA**

Pravilno planiranje protetske rehabilitacije ključno je za dugoročno uspješni protetski rad i zdravlje oralne šupljine. Fiksni protetski nadomjestci ostaju u usnoj šupljini duže vrijeme, godinama, implantati i desetljećima. Zadaća nas kao stomatologa je odabrati adekvatan materijal koji će kroz duže vrijeme u usnoj šupljini ostati nepromijenjen, podnijeti sve žvačne sile, zadovoljiti estetiku i neće uzrokovati zdravstvene probleme lokalno niti sistemski. Za uspješan protetski nadomjestak bitna je i dobra preparacija zuba za krunice ili mostove i dovoljno adekvatnog koštanog tkiva za postavu implantata. Bitno je dovesti pacijenta do parodontnog zdravlja prije cementiranja ili postavljanja protetskog nadomjestka jer parodontološki pacijent ima različitu mikrofloru i više patogenih mikroorganizama od zdrave osobe te je veća mogućnost neuspjeha. Stoga je bitno dovesti oralnu šupljinu u što bolje stanje prije protetske opskrbe i educirati pacijenta o adekvatnoj oralnoj higijeni kako bi se smanjio rizik od kasnijeg narušavanja parodontnog i periimplantatnog zdravlja. Bitno je da materijali nemaju citotoksični učinak na okolna tkiva, dasu biokompatibilni.

Dentalni materijali imaju razna dobra, ali i nepoželjna svojstva. Iako su kobalt-krom legure dokazano biokompatibilne, postoje izvješća o osjetljivosti tkiva. Također, legure na bazi nikla pokazuju alergijske reakcije kod 10-20% žena i 1% muškaraca. Legure koje sadrže zlato ili ostale plemenite metale imaju primjese platine, paladija, bakra ili željeza te alergijske reakcije na legure temeljene na zlatu mogu biti i češće od onih na nikal. Zato je za jezgru MK krunica najbolji izbor kobalt-krom legura. Potpuno keramički materijali, kao što je LD keramika, prema istraživanjima ne uzrokuju biološke reakcije osim trošenja antagonističkih zubi ili restauracija. Učestalost biološki štetnih učinaka potpuno keramičkih materijala s obzirom na ostale je poprilično niska. (10,79) CO keramika je kemijski inertni materijal i nema nepovoljan učinak na okolna tkiva. Nisu dokazane alergijske reakcije na taj materijal. Raznim in vitro i in vivo istraživanjima potvrđena je visoka biokompatibilnost materijala i za uporabu materijala za krunice i mostove i za implantate. (33) Titan i njegove legure su materijali izbora za zubne implantate i biokompatibilni su, titan ima mogućnost vezanja sa živim tkivom i kosti. Alergija na titan je iznimno mala i smatra se da alergijsku reakciju uzrokuju drugi elementi iz titanskih legura. (80) Komercijalno čisti titan nije pokazao nikakve toksične učinke na ljudske gingivne stanice i iz toga se može zaključiti da je visokobiokompatibilan materijal. (23)

U istraživanju Abduo i Lyons (81) navedeno je da nema direktne povezanosti između statusa parodonta i dugoročnosti fiksne protetske restauracije. No, mora postojati harmonija između parodonta i protetskog nadomjestka inače bi estetika i preživljenje protetske restauracije bili kompromitirani. Reakcija gingivnog tkiva na protetske nadomjestke uvjetovana je pozicijom rubne linije, konture i materijala od kojih su izrađeni, također su povezani s mogućnošću čišćenja i dizajnom nadomjestka. Pacijentova mogućnost da postigne optimalnu oralnu higijenu neophodna je za dugo preživljenje protetskog nadomjestka, a redoviti pregledi važni su za ranu detekciju potencijalnih komplikacija. Materijali imaju različit utjecaj na parodontno zdravlje. Nepovoljne posljedice MK konstrukcija na parodont, koje dovode do parodontitisa, povezane su s mehaničkom traumom gingive tijekom preparacije zuba i gingivne retrakcije kao i neravne konture i topografije ruba krune. (82) Riccitiello i drugi (83) dokazali su da CO i LD protetske restauracije izrađene u CAD/CAM sustavu osiguravaju bolji rubni dosjed nego toplinski prešana LD keramika. Dok su Sorrentino i drugi (84) dokazali da nadomjestci od cirkonija nisu pokazali nikakav znak tetragonalne u monoklinsku transformaciju na marginama, što znači da su dobri za parodontno zdravlje.

Protetski biomaterijali mogu utjecati na formaciju biofilma najviše zbog njihove grube i nepravilne površine stvarajući niz raznih prostora u kojima su mikroorganizmi zaštićeni od četkanja zubi, mišićne aktivnosti i protoka sline što sve pogoduje kolonizaciji bakterija i stvaranju imunološkog odgovora pacijenta na to. (85) Sposobnost mikroorganizama da adheriraju na protetske materijale povezana je s kemijskim sastavom biomaterijala, hrapavosti površine, slobodnom energijom površine, njezinom nepravilnom površinom i otpuštanjem iona koji mogu doprinjeti rastu biofilma i izazvati patološki proces. (86)

U svome istraživanju Alarcón-Sánchez i drugi (87) navode da utjecaj MK protetskih nadomjestaka na sastav subgingivne mikrobiote ukazuje na veći udio narančastih i crvenih kompleksnih bakterija koje su povezane s većom akumulacijom dentobakterijskog plaka i krvarenja pri sondiranju zbog čega bi mogli biti ranjiviji na buduće pogoršanje parodontnog zdravlja u slučaju iznenadne promjene u imunološkom odgovoru domaćina. Također navode da cirkonijski protetski nadomjestci proizvedeni u CAD/CAM sustavima imaju kompatibilnije bakterijske razine s parodontnim zdravljem. Budući da je cirkonij visoko biokompatibilan materijal s parodontnim tkivom, ima manje negativnih učinaka na gingivne rubove i uvelike inhibira

stvaranje biofilma stvarajući slabiji upalni odgovor u usporedbi s MK nadomjestcima proizvedenim, uglavnom, konvencionalnom metodom. Fiksni protetski nadomjestci mogu uzrokovati upalu. U svom su istraživanju Ercoli i Caton (88) dokazali da je akumulacija plaka i gubitak parodontog pričvrstka povezan s tipom protetske restauracije. Preparacija koja je blizu spojnog epitela može uzrokovati upalu okolnog tkiva i gingivnu recesiju. Što znači da je supragingivna restauracija poželjnija od subgingivne, ako je to ikako moguće postići. Na kraju su Srimaneepong i drugi (36) zaključili da protetski nadomjestci zasnovani na cirkoniju mogu pružiti bolje rezultate u pogledu boljeg rubnog dosjeda, smanjenja upale, održavanja i obnove parodontnog zdravlja i oralne higijene, uspoređeno s drugim materijalima.

Al-Radha i drugi (76) navode da su cirkonijski implantati i titanski implantati pjeskareni s površinom cirkonija pokazali superiorne rezultate u usporedbi s titanijem u reduciranju adhezije eksperimentalnih bakterija i da modificirani titanij sa cirkonijem ima ista površinska svojstva kao čisti cirkonijski materijal u reduciranju bakterijske adhezije. U svome istraživanju Hanawa (89) navodi da u slučaju adhezije bakterija na implantatima cirkonij ima bolje rezultate od titana, ali oba materijala pokazuju slično svojstvo za adheziju na meka tkiva te je oseointegracija bolja kod titanskih nego kod cirkonijskih implantata.

#### **4.ZAKLJUČAK**

Svaki materijal koji se koristi u dentalnoj protetici trebao bi biti biokompatibilan kako nebi kompromitirao zdravlje usne šupljine. Studije pokazuju da je od materijala za izradu krunica i mostova cirkonij-oksidi materijal koji je pokazao najveću bioinertnost te je materijal koji ima najpovoljniji utjecaj na parodontno zdravlje jer ima dobar rubni dosjed i slabu adheziju bakterija na svojoj površini. Titanski i cirkonij-oksidi implantati pokazuju veliku biokompatibilnost i dobro utječu na parodontno zdravlje. Titanski implantati pokazuju bolju oseointegraciju dok cirkonij-oksidi imaju manje bakterija na površini od titana zbog slabog prijanjanja bakterija na površinu. Titanij je materijal izbora za dentalne implantate iz razloga što pokazuje bolja biokompatibilna svojstva i postoji mnoštvo dugogodišnjih istraživanja koja to mogu dokazati, za razliku od cirkonijevog-oksida koji je relativno nov materijal u implantologiji i potrebna su daljnja znanstvena istraživanja i vrijeme da se može koristiti u široj upotrebi s više saznanja o mogućim posljedicama na okolna tkiva i zdravlje.

## **5.LITERATURA**

1. Öwall B, Käyser AF, Carlsson GE, Prosthodontics: principles and management strategies. London: Mosby-Wolfe; 1996. 256 p.
2. The Academy of Prosthodontics. The Glossary of Prosthodontic Terms. J Prosthet Dent. 2005.;94(1):10–92.
3. Dentino A, Lee S, Mailhot J, Hefti AF. Principles of periodontology. Periodontol 2000. veljača 2013.;61(1):16–53.
4. American Academy of Periodontology. Glossary of Periodontal Terms, 4th edition. Chicago, IL: American Academy of Periodontology, 2001.
5. Hsu YT, Huang NC, Wang HL. The relationship between periodontics and prosthodontics: the two-way street. J Prosthodont Implantol. 2015.;4:02–9.
6. Abduo J, Lyons KM. Interdisciplinary interface between fixed prosthodontics and periodontics. Periodontol 2000. 2017.;74(1):40–62.
7. Vaderhobli RM. Advances in dental materials. Dent Clin North Am. srpanj 2011.;55(3):619–25, x.
8. Wataha JC. Principles of biocompatibility for dental practitioners. J Prosthet Dent. 2001.;86(2):203–9.
9. Williams DF. Definitions in Biomaterials: Proceedings of a Consensus Conference of the European Society for Biomaterials, Chester, England, March 3-5, 1986. Elsevier; 1987. 86 str.
10. St John KR. Biocompatibility of dental materials. Dent Clin North Am. 2007.;51(3):747–60, viii.
11. de Souza Costa CA, Hebling J, Scheffel DLS, Soares DGS, Basso FG, Ribeiro APD. Methods to evaluate and strategies to improve the biocompatibility of dental materials and operative techniques. Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater. 2014.;30(7):769–84.
12. Nanci A, Bosshardt DD. Structure of periodontal tissues in health and disease. Periodontol 2000. 2006.;40:11–28.
13. Chapple ILC, Mealey BL, Van Dyke TE, Bartold PM, Dommisch H, Eickholz P, i ostali. Periodontal health and gingival diseases and conditions on an intact and a reduced periodontium: Consensus report of workgroup 1 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. J Periodontol. 2018.;89(1):S74–84.
14. Loesche WJ, Grossman NS. Periodontal disease as a specific, albeit chronic, infection: diagnosis and treatment. Clin Microbiol Rev. listopad 2001.;14(4):727–52, table of contents.

15. Alawaji YN, Alshammari A, Mostafa N, Carvalho RM, Aleksejuniene J. Periodontal disease prevalence, extent, and risk associations in untreated individuals. *Clin Exp Dent Res.* 2022.;8(1):380–94.
16. Michaud DS, Fu Z, Shi J, Chung M. Periodontal Disease, Tooth Loss, and Cancer Risk. *Epidemiol Rev.* 2017.;39(1):49–58.
17. Caton JG, Armitage G, Berglundh T, Chapple ILC, Jepsen S, Kornman KS, i ostali. A new classification scheme for periodontal and peri-implant diseases and conditions - Introduction and key changes from the 1999 classification. *J Clin Periodontol.* 2018.;45(20):S1–8.
18. Araujo MG, Lindhe J. Peri-implant health. *J Clin Periodontol.* lipanj 2018.;45(20):S230–6.
19. Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, Avila-Ortiz G, Blanco J, Camargo PM, i ostali. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Clin Periodontol* [Internet]. lipanj 2018. [citirano 15. lipanj 2024.];45(20).
20. Chen S, Darby I. Dental implants: maintenance, care and treatment of peri-implant infection. *Aust Dent J.* 2003.;48(4):212–20; quiz 263.
21. Smeets R, Henningsen A, Jung O, Heiland M, Hammächer C, Stein JM. Definition, etiology, prevention and treatment of peri-implantitis--a review. *Head Face Med.* 2014.;10:34.
22. Mombelli A, Buser D, Lang NP. Colonization of osseointegrated titanium implants in edentulous patients. Early results. *Oral Microbiol Immunol.* 1988.;3(3):113–20.
23. Sabaliauskas V, Juciute R, Bukelskiene V, Rutkunas V, Trumpaite-Vanagiene R, Puriene A. In vitro evaluation of cytotoxicity of permanent prosthetic materials. *Stomatologija.* 2011.;13(3):75–80.
24. Zitzmann NU, Hagmann E, Weiger R. What is the prevalence of various types of prosthetic dental restorations in Europe? *Clin Oral Implants Res.* 2007.;18(3):20–33.
25. Baba NZ, Goodacre CJ, Jekki R, Won J. Gingival displacement for impression making in fixed prosthodontics: contemporary principles, materials, and techniques. *Dent Clin North Am.* 2014.;58(1):45–68.
26. Goodacre CJ. Designing tooth preparations for optimal success. *Dent Clin North Am.* 2004.;48(2):v, 359–85.
27. Goodacre CJ, Campagni WV, Aquilino SA. Tooth preparations for complete crowns: an art form based on scientific principles. *J Prosthet Dent.* 2001.;85(4):363–76.

28. Mehulić K i suradnici. Dentalni materijali [Internet]. Zagreb: Medicinska naklada; 2017 [citirano 18. lipanj 2024.]. Dostupno na: <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/knjiga/746897>
29. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*. 1999.;20(1):1–25.
30. Guess PC, Schultheis S, Bonfante EA, Coelho PG, Ferencz JL, Silva NRFA. All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. *Dent Clin North Am*. 2011.;55(2):333–52, ix.
31. Manicone PF, Rossi Iommetti P, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent*. 2007.;35(11):819–26.
32. Solá-Ruiz MF, Baixauli-López M, Roig-Vanaclocha A, Amengual-Lorenzo J, Agustín-Panadero R. Prospective study of monolithic zirconia crowns: clinical behavior and survival rate at a 5-year follow-up. *J Prosthodont Res*. 2021.;65(3):284–90.
33. Gautam C, Joyner J, Gautam A, Rao J, Vajtai R. Zirconia based dental ceramics: structure, mechanical properties, biocompatibility and applications. *Dalton Trans Camb Engl* 2003. 2016.;45(48):19194–215.
34. Vaishali S, Duraisamy R. Esthetics using monolithic zirconia and hand-layered zirconia fixed partial denture. *Bioinformation*. 2022.;18(7):651–6.
35. Christel P, Meunier A, Dorlot JM, Crolet JM, Witvoet J, Sedel L, i ostali. Biomechanical compatibility and design of ceramic implants for orthopedic surgery. *Ann N Y Acad Sci*. 1988.;523:234–56.
36. Srimaneepong V, Heboyan A, Zafar MS, Khurshid Z, Marya A, Fernandes GVO, i ostali. Fixed Prosthetic Restorations and Periodontal Health: A Narrative Review. *J Funct Biomater*. 2022.;13(1):15.
37. Ćatović A, Komar D, Ćatić A. i sur. *Klinička fiksna protetika – krunice*. Zagreb: Medicinska naklada; 2015.
38. Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Influence of hot pressing on the microstructure and fracture toughness of two pressable dental glass-ceramics. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2004.;71(1):99–107.
39. Stappert CFJ, Att W, Gerds T, Strub JR. Fracture resistance of different partial-coverage ceramic molar restorations: An in vitro investigation. *J Am Dent Assoc* 1939. 2006.;137(4):514–22.
40. Kern M, Sasse M, Wolfart S. Ten-year outcome of three-unit fixed dental prostheses made from monolithic lithium disilicate ceramic. *J Am Dent Assoc* 1939. 2012.;143(3):234–40.
41. Li RWK, Chow TW, Matinlinna JP. Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *J Prosthodont Res*. 2014.;58(4):208–16.

42. Brackett MG, Lockwood PE, Messer RLW, Lewis JB, Bouillaguet S, Wataha JC. In vitro cytotoxic response to lithium disilicate dental ceramics. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. 2008.;24(4):450–6.
43. Forster A, Ungvári K, Györgyey Á, Kukovecz Á, Turzó K, Nagy K. Human epithelial tissue culture study on restorative materials. *J Dent*. 2014.;42(1):7–14.
44. Ariaans K, Heussen N, Schiffer H, Wienert AL, Plümäkers B, Rink L, i ostali. Use of molecular indicators of inflammation to assess the biocompatibility of all-ceramic restorations. *J Clin Periodontol*. 2016.;43(2):173–9.
45. Tetè S, Zizzari VL, Borelli B, De Colli M, Zara S, Sorrentino R, i ostali. Proliferation and adhesion capability of human gingival fibroblasts onto zirconia, lithium disilicate and feldspathic veneering ceramic in vitro. *Dent Mater J*. 2014.;33(1):7–15.
46. Zarone F, Ferrari M, Mangano FG, Leone R, Sorrentino R. „Digitally Oriented Materials“: Focus on Lithium Disilicate Ceramics. *Int J Dent*. 2016.;2016:9840594.
47. Zajac ZA, Jedynak B. Physical and chemical properties of porcelain-fused-to-metal and porcelain-fused-to-zirconia prosthetic crowns – a literature review. *Prosthodontics*. 2023.;73(2):140–9.
48. Roberts HW, Berzins DW, Moore BK, Charlton DG. Metal-ceramic alloys in dentistry: a review. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont*. 2009.;18(2):188–94.
49. N D, M M, Iv A, F M, D AF. Metal-Ceramic Compatibility in Dental Restorations According to the Metallic Component Manufacturing Procedure. *Mater Basel Switz [Internet]*. 10. kolovoz 2023. [citirano 18. lipanj 2024.];16(16). Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37629847/>
50. Koutsoukis T, Zinelis S, Eliades G, Al-Wazzan K, Rifaiy MA, Al Jabbari YS. Selective Laser Melting Technique of Co-Cr Dental Alloys: A Review of Structure and Properties and Comparative Analysis with Other Available Techniques. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont*. 2015.;24(4):303–12.
51. Hammad IA, Talic YF. Designs of bond strength tests for metal-ceramic complexes: review of the literature. *J Prosthet Dent*. 1996.;75(6):602–8.
52. Newaskar PS, Sonkesriya S, Singh R, Palekar U, Bagde H, Dhopte A. Evaluation and Comparison of Five-Year Survival of Tooth-Supported Porcelain Fused to Metal and All-Ceramic Multiple Unit Fixed Prostheses: A Systematic Review. *Cureus*. 2022.;14(10):e30338.
53. Kavaz T, Yanıkoğlu N, Gördeli K. An Investigation of the Reasons for Failure in Patients with A Fixed Prosthesis. *Online J Dent Oral Health*. 2021.;4(1):1–5.
54. Ditrichova D, Kapralova S, Tichy M, Ticha V, Dobesova J, Justova E, i ostali. Oral lichenoid lesions and allergy to dental materials. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czechoslov*. 2007.;151(2):333–9.

55. de Castro Girão D, Béreš M, Jardini AL, Filho RM, Silva CC, de Siervo A, i ostali. An assessment of biomedical CoCrMo alloy fabricated by direct metal laser sintering technique for implant applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2020.;107:110305.
56. Keegan GM, Learmonth ID, Case CP. A systematic comparison of the actual, potential, and theoretical health effects of cobalt and chromium exposures from industry and surgical implants. *Crit Rev Toxicol.* 2008.;38(8):645–74.
57. Tomova Z, Vlahova A, Zlatev S, Stoeva I, Tomov D, Davcheva D, i ostali. Clinical Evaluation of Corrosion Resistance, Ion Release, and Biocompatibility of CoCr Alloy for Metal-Ceramic Restorations Produced by CAD/CAM Technologies. *Dent J.* 2023.;11(7):166.
58. Prince J, Donovan TE, Presswood RG. The all-porcelain labial margin for ceramometal restorations: a new concept. *J Prosthet Dent.* prosinac 1983.;50(6):793–6.
59. C P, D R, Bp B. Contemporary Concepts in Osseointegration of Dental Implants: A Review. *BioMed Res Int [Internet].* 14. lipanj 2022. [citirano 19. lipanj 2024.];2022. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35747499/>
60. Ms B. Dental Implants: The Last 100 Years. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg [Internet].* siječanj 2018. [citirano 19. lipanj 2024.];76(1). Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29079267/>
61. Alghamdi HS, Jansen JA. The development and future of dental implants. *Dent Mater J.* 31. ožujak 2020.;39(2):167–72.
62. Lang NP, Wilson TG, Corbet EF. Biological complications with dental implants: their prevention, diagnosis and treatment. *Clin Oral Implants Res.* 2000.;11(1):146–55.
63. Glied A, Mundiya J. Implant Material Sciences. *Dent Clin North Am.* 2021.;65(1):81–8.
64. Ananth H, Kundapur V, Mohammed HS, Anand M, Amarnath GS, Mankar S. A Review on Biomaterials in Dental Implantology. *Int J Biomed Sci IJBS.* rujun 2015.;11(3):113–20.
65. W. Nicholson J. Titanium Alloys for Dental Implants: A Review. *Prosthesis.* 2020.;2(2):100–16.
66. Elias CN, Fernandes DJ, Souza FM de, Monteiro E dos S, Biasi RS de. Mechanical and clinical properties of titanium and titanium-based alloys (Ti G2, Ti G4 cold worked nanostructured and Ti G5) for biomedical applications. *J Mater Res Technol.* 2019.;8(1):1060–9.
67. Vora HD, Shanker Rajamure R, Dahotre SN, Ho YH, Banerjee R, Dahotre NB. Integrated experimental and theoretical approach for corrosion and wear evaluation of laser surface nitrided, Ti-6Al-4V biomaterial in physiological solution. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2014.;37:153–64.

68. Mavrogenis AF, Dimitriou R, Parvizi J, Babis GC. Biology of implant osseointegration. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2009.;9(2):61–71.
69. Gasmi Benahmed A, Gasmi A, Tippairote T, Mujawdiya PK, Avdeev O, Shanaida Y, i ostali. Metabolic Conditions and Peri-Implantitis. *Antibiot Basel Switz.* 2022.;12(1):65.
70. Daubert D, Pozhitkov A, McLean J, Kotsakis G. Titanium as a modifier of the peri-implant microbiome structure. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2018.;20(6):945–53.
71. Zhou W, Peng X, Ma Y, Hu Y, Wu Y, Lan F, i ostali. Two-staged time-dependent materials for the prevention of implant-related infections. *Acta Biomater.* 2020.;101:128–40.
72. Wu S, Xu J, Zou L, Luo S, Yao R, Zheng B, i ostali. Long-lasting renewable antibacterial porous polymeric coatings enable titanium biomaterials to prevent and treat peri-implant infection. *Nat Commun.* 2021.;12(1):3303.
73. Yin L, Nakanishi Y, Alao AR, Song XF, Abduo J, Zhang Y. A review of engineered zirconia surfaces in biomedical applications. *Procedia CIRP.* 2017.;65:284–90.
74. Schünemann FH, Galárraga-Vinueza ME, Magini R, Fredel M, Silva F, Souza JCM, i ostali. Zirconia surface modifications for implant dentistry. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2019.;98:1294–305.
75. Josset Y, Oum'Hamed Z, Zarrinpour A, Lorenzato M, Adnet JJ, Laurent-Maquin D. In vitro reactions of human osteoblasts in culture with zirconia and alumina ceramics. *J Biomed Mater Res.* 1999.;47(4):481–93.
76. Al-Radha ASD, Dymock D, Younes C, O'Sullivan D. Surface properties of titanium and zirconia dental implant materials and their effect on bacterial adhesion. *J Dent.* 2012.;40(2):146–53.
77. Shukla AK, Priyadarshi M, Kumari N, Singh S, Goswami P, Srivastava SB, i ostali. Investigating the Long-Term Success and Complication Rates of Zirconia Dental Implants: A Prospective Clinical Study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2024.;16(1):S477–9.
78. Apratim A, Eachempati P, Krishnappa Saliyan KK, Singh V, Chhabra S, Shah S. Zirconia in dental implantology: A review. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2015.;5(3):147–56.
79. Mallineni SK, Nuvvula S, Matinlinna JP, Yiu CK, King NM. Biocompatibility of various dental materials in contemporary dentistry: a narrative insight. *J Investig Clin Dent.* 2013.;4(1):9–19.
80. Syed M, Chopra R, Sachdev V. Allergic Reactions to Dental Materials-A Systematic Review. *J Clin Diagn Res JCDR.* listopad 2015.;9(10):ZE04-09.
81. Abduo J, Lyons KM. Interdisciplinary interface between fixed prosthodontics and periodontics. *Periodontol 2000.* 2017.;74(1):40–62.

82. Heboyan A, Vardanyan A, Avetisyan A. Cement selection in dental practice. *WORLD Sci.* 2019.;2:4–9.
83. Riccitiello F, Amato M, Leone R, Spagnuolo G, Sorrentino R. In vitro Evaluation of the Marginal Fit and Internal Adaptation of Zirconia and Lithium Disilicate Single Crowns: Micro-CT Comparison Between Different Manufacturing Procedures. *Open Dent J.* 2018.;12:160–72.
84. Sorrentino R, Navarra CO, Di Lenarda R, Breschi L, Zarone F, Cadenaro M, i ostali. Effects of Finish Line Design and Fatigue Cyclic Loading on Phase Transformation of Zirconia Dental Ceramics: A Qualitative Micro-Raman Spectroscopic Analysis. *Materials.* 2019.;12(6):863.
85. Monteiro DR, de Souza Batista VE, Caldeirão ACM, Jacinto R de C, Pessan JP. Oral prosthetic microbiology: aspects related to the oral microbiome, surface properties, and strategies for controlling biofilms. *Biofouling.* 2021.;37(4):353–71.
86. Hao Y, Huang X, Zhou X, Li M, Ren B, Peng X, i ostali. Influence of Dental Prosthesis and Restorative Materials Interface on Oral Biofilms. *Int J Mol Sci.* 2018.;19(10):3157.
87. Alarcón-Sánchez MA, Heboyan A, Fernandes GV de O, Castro-Alarcón N, Romero-Castro NS. Potential Impact of Prosthetic Biomaterials on the Periodontium: A Comprehensive Review. *Mol Basel Switz.* 2023.;28(3):1075.
88. Ercoli C, Caton JG. Dental prostheses and tooth-related factors. *J Clin Periodontol.* 2018.;45(20):S207–18.
89. Hanawa T. Zirconia versus titanium in dentistry: A review. *Dent Mater J.* 2020.;39(1):24–36.

## **6.ŽIVOTOPIS**

Katja Kasač rođena je 16.10.1998. godine u Osijeku. Godine 2013. završava OŠ Svete Ane u Osijeku i upisuje Isusovačku klasičnu gimnaziju u Osijeku. Srednjoškolsko obrazovanje završava 2017. godine i 2018. godine upisuje Stomatološki fakultet u Zagrebu. Od treće godine studija asistira u privatnoj stomatološkoj ordinaciji gdje stječe dodatna znanja iz raznih grana stomatologije. Tijekom studija sudjeluje u radu Geronto projekta. Aktivno je sudjelovala na ECG kongresu u Beogradu s poster prezentacijom.