

Nove tehnologije u dentalnoj protetici

Barišić, Miroslav

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:127:874077>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-25**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
STOMATOLOŠKI FAKULTET**

Miroslav Barišić

**NOVE TEHNOLOGIJE U DENTALNOJ
PROTETICI**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2016.

Rad je ostvaren na Zavodu za fiksnu protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditelj rada: prof. dr. sc. Ketij Mehulić

Lektor hrvatskog jezika: prof. Iva Popovački Kramarić

Jaruščica 17c

Mob: 098/9404829

Lektor engleskog jezika: prof. Iva Popovački Kramarić

Jaruščica 17c

Mob: 098/9404829

Rad sadrži: 33 stranica

14 slika

1 CD

*Zahvaljujem svojoj mentorici, prof. dr. sc. Ketij Mehulić na pruženoj stručnoj pomoći,
savjetima i velikodušnosti prilikom pisanja ovog diplomskog rada.*

Zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i djevojci na pruženoj pažnji i podršci tijekom studija.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SVRHA RADA	3
3. CAD/CAM SUSTAVI U DENTALNOJ MEDICINI	4
3.1. Optički otisak.....	5
3.1.1. CEREC Bluecam (Sirona)	6
3.1.2. Lava COS (3M ESPE)	7
3.2. Strojna obrada CAD/CAM sustavom	9
4. MATERIJALI ZA OBRADU CAD/CAM SUSTAVOM	11
4.1 Legure kobalta	11
4.2 Titan i legure titana.....	12
4.3 Polimeri	12
4.4 Glinična keramika.....	13
4.5 Hibridne keramike	15
4.6 Staklokeramike	15
4.7 Oksidna keramika	17
4.7.1. Aluminijska oksidna keramika	19
4.7.2. Cirkonij oksidna keramika	20
4.8 Voskovi.....	22
5. RASPRAVA	23
6. ZAKLJUČAK	25
7. SAŽETAK	26
8. SUMMARY	27
9. LITERATURA	29
10. ŽIVOTOPIS	33

1. UVOD

Dentalna medicina, kao znanstvena disciplina i profesija, kontinuirano i progresivno napreduje, ponajviše zbog inkorporacije različitih tehnoloških dostignuća u sva područja svoje djelatnosti. Moderna je dentalna protetika područje dentalne medicine koje se zasniva ponajprije na visoko estetskim i funkcijskim zahtjevima, a materijal koji najprikladnije zadovoljava u pogledu biokompatibilnosti, higijene, optičkih svojstava i trajnosti sveze s osnovnom konstrukcijom je keramika (1).

Dentalna keramika danas se koristi za izradu samostalnih krunica, *inlaya*, *onlaya*, ljuski i mostova kratkih raspona. Mosne konstrukcije dužih raspona najčešće se izrađuju tehnologijom napečenja keramike na metalnu konstrukciju (metal keramika) iako se sve više koriste potpunokeramički, cirkonij oksidni sustavi (2). Od početka 18. stoljeća, kada je u Parizu izrađena prva zlatna krunica, gradivni i pomoćni materijali te postupci u protetici prošli su kroz brojne faze usavršavanja, a velik zaokret postignut je razvojem računalne tehnologije.

CAD (engl. *Computer Aided Design* - računalom potpomognuto oblikovanje) / CAM (engl. *Computer Aided Manufacturing* - računalom potpomognuta izradba) tehnologija je koja je danas visoko zastupljena u svim granama dentalne medicine. Najkompleksniji sustav se temelji na uzimanju optičkog otiska, trodimenzionalnim snimanjem s jedinicom za skeniranje, koja konvertira geometrijski oblik zuba u digitalni standardni transformacijski jezik (STL format). Taj se format obrađuje u softveru i završno šalje u stroj za glodanje koji je spojen s računalom, u kojem se iz prefabriciranih blokova materijala izrađuje nadomjestak (3). Otisak se može uzeti i konvencionalnom tehnikom pa model skenirati izvan usta. CAD/CAM tehnologija predstavlja revoluciju u dentalnoj protetici, jer značajno smanjuje vrijeme potrebno za izradu protetskog rada, omogućuje izradu jednostavnih radova u svega jednoj

posjeti, smanjuje mogućnost pogreške tijekom više faza izrade u laboratoriju te troškove laboratorija koje zahtijevaju konvencionalne tehnike izrade (4).

Usporedno s računalnom tehnologijom, razvijeni su i novi keramički materijali koji se mogu obrađivati na taj način poput oksidnih keramika, glinične keramike i staklokeramike. Oksidne keramike odlikuju izrazita mehanička i kemijska svojstva što ih čini biokompatibilnim. Prednosti staklokeramike su estetska superiornost, visoka mehanička čvrstoća, jednostavna tehnika izrade te mali stupanj skvrčavanja nakon izrade (2).

2. SVRHA RADA

Svrha ovog rada je dati pregled novih tehnologija, materijala i postupaka izrade u dentalnoj protetici. Zbog brzine, jednostavnosti i ugodnosti za pacijenta, strojna izrada protetskih radova u razvijenim zemljama postaje standard te je, kao takvu, treba prihvatiti i naučiti koristiti.

3. CAD/CAM SUSTAVI U DENTALNOJ MEDICINI

Strojnu izradu nadomjestaka u dentalnoj medicini prvi je primijenio Duret 1971. godine, a kasnije je uveo i virtualni otisak bataljka. Prvi sustav koji je ušao u svakodnevnu primjenu u dentalnoj medicini bio je CEREC 1. Izradila ga je tvrtka Siemens. Sustav se temeljio na snimanju kaviteta intraoralnom kamerom te direktnoj izradi *inlaya* u stroju za glodanje. CEREC se s vremenom usavršavao tako da je CEREC 3 posjedovao nekoliko tehničkih poboljšanja u odnosu na prethodnike; trodimenzionalnu intraoralnu kameru te mogućnost manipulacije slikom. Na tehnologiji CEREC sustava temelje se gotovo svi sustavi danas dostupni na tržištu.

CAD/CAM sustavi sastoje se od tri osnovna dijela. Jedinica za skeniranje, koja sadrži kameru visoke rezolucije, prikuplja geometrijske podatke o zubu i pretvara ih u digitalni trodimenzionalni oblik. Preparaciju uporišnog zuba je moguće skenirati direktno intraoralno, ili indirektno ekstraoralno na izlivenom radnom modelu. Ekstraoralno skeniranje smatra se preciznijim jer je pri intraoralnom skeniranju na preparirani zub potrebno nanijeti prah titanovog oksida koji djeluje kao kontrastno sredstvo, prevenira refleksiju svjetla s površine zuba, a ujedno i povećava debljinu bataljka. Nakon uzimanja optičkog otiska, CAD jedinica s pripadajućim računalnim softverom obrađuje podatke te virtualno konstruira budući nadomjestak na zaslonu računala. Skenirani podaci konvertiraju se u STL format, čitljiv gotovo svim CAD/CAM uređajima. Softverom je potrebno odrediti rubove preparacije. Podminirana mjesta virtualno se zatvore te se informacija o radu upućuje u CAM jedinicu, stroj za glodanje koji prema zadanom programu iz tvornički pripremljenih blokova materijala tehnikom freziranja izrađuje nadomjestak (4, 5). Keramički blok manualno se umetne u

glodalicu i fiksira na nosač. Prema informaciji iz računala glodalica izrađuje nadomjestak. Keramički blok se u glodalici rotira, dok se dijamantni disk i brusilo rotiraju i transliraju oko bloka (6). Glodalice se razlikuju po broju osi za glodanje. Strojevi s tri osi imaju mogućnost kretanja u tri ravnine. Strojevi s četiri osi uz kretanje u tri ravnine mogu i rotirati držač bloka, što je povoljno za veće mosne konstrukcije. Strojevi s pet osi uključuju i rotaciju glave stroja za glodanje, što im omogućava glodanje nagnutih bataljaka. Dva su načina glodanja, suho i mokro. Suho glodanje koristi se za obradu blokova presinteriranog cirkonijevog dioksida. Pri mokrom glodanju režno svrdlo hladi se mlazom vode da bi se spriječilo pregrijavanje materijala, a obavezno se koristi pri obradi metala i staklokeramike (5).

Tri su načina izrade nadomjeska:

- 1) direktna tehnika izrade u ordinaciji (*chairside*),
- 2) zajednička ordinacijsko-laboratorijska tehnika,
- 3) centralizirana izrada u proizvodnom centru.

3.1. Optički otisak

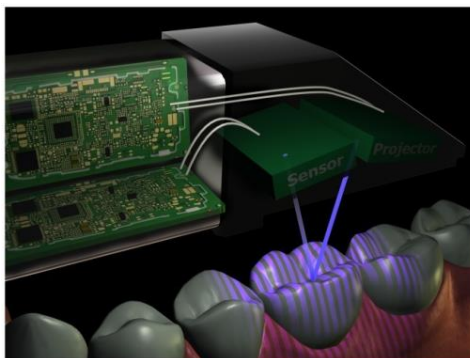
Osnova za uzimanje svakog otiska je dobro isprepariran zub, a količina izbrušenog tkiva ovisi o materijalu koji se planira koristiti za izradu nadomjeska. Iznad brušenog zuba postavlja se kamera sa skenerom koji emitira infracrvene zrake koje kroz leću padaju na zub. Linije padaju u svjetlijem i tamnijem uzorku i reflektiraju se natrag te odlaze u fotoreceptor na kameri. Intenzitet reflektiranog svjetla registrira se kao napon koji se kasnije pretvara u digitalnu formu. Tamniji dijelovi isprepariranog zuba višeg su napona, dok su svjetliji dijelovi

nižeg napona. Za oblikovanje CAD/CAM nadomjeska potrebna je trodimenzionalna prezentacija podataka dobivena skeniranjem, gdje su dobivene vrijednost i veličina faze (napona) za svaku skeniranu točku (piksel). Ta vrijednost u izravnoj je vezi s dubinom skenirane točke kaviteta. Svjetlija područja ukazuju na izdignute predjele zuba, dok su tamnija područja dublji, podminirani predjeli zuba. Koristeći tako dobivene podatke trodimenzionalno oblikovanje može se izvesti u nekoliko slojeva koji označavaju dno, ekvator i okluzalnu ravninu (7).

Prednosti digitalne tehnike otiskivanja naspram konvencionalne su kratko vrijeme skeniranja, kontrola i obilježavanje ruba preparacije, mogućnost skeniranja u ustima pacijenta, ugodniji su za pacijenta od konvencionalne tehnike otiskivanja, prijenos podataka internetom i automatska mogućnost arhiviranja u računalo. Krv i vlaga izrazito utječu na preciznost digitalnog otiska, troškovi uređaja su veći, a održavanje zahtjevnije od rada konvencionalnom tehnikom (8).

3.1.1. CEREC Bluecam (Sirona)

Intraoralni dentalni skener Cerec Bluecam u postupku prikupljanja digitaliziranih podataka primjenjuje načela aktivne triangulacije (9). Kamera projicira snop svjetlosnih zraka na objekt. Svaka zraka se reflektira natrag u senzor te se udaljenosti između projicirane i reflektirane zrake mjere (Slika 1). Kut između projektora i senzora je fiksiran te se udaljenost do objekta izračunava pomoću Pitagorinog poučka.



Slika 1. Tehnički princip rada Cerec Bluecam uređaja. Preuzeto iz (10).

Kamera pruža mogućnost rada na automatski i manualni način rada. Kod primjene Cerec Bluecam intraoralne kamere, cijelo područje koje se otiskuje treba premazati slojem praha titanovog oksida kako bi izbjegli reflektirajuća svojstva površine zuba i dobili ravnomjerniji odraz (10). Sirona je 2012. godine promovirala novu intraoralnu kameru Cerec Omnicam kod koje osnovu postupka čini prikaz digitaliziranog objekta u prirodnoj boji te pravljenje videozapisa bez nanošenja praha, što je omogućilo digitalizaciju zubnog luka u cjelini. Za uspješnu digitalizaciju potrebno je da zubi budu suhi, bez tragova krvi i sline, a primjenom *anti-shake* funkcija, koje određuju koliki će se stupanj podrhtavanja kamere tolerirati u postupku kreiranja digitalne slike, u potpunosti su eliminirani zapisi u kojima su prisutna zamućenja. U manualnom načinu rada operater aktivira kameru, bez obzira na to miruje li ona ili ne (9).

3.1.2. Lava COS (3M ESPE)

Lava COS uređaj čine mobilna kolica s računalom, *touch* monitorom i kamerom za skeniranje čiji je intraoralni dio manji od kamere CerecBluecam uređaja (Slika 2) Metoda za snimanje trodimenzionalnih otisaka uključuje aktivno skeniranje zubnog luka omogućenom

tehnikom *3D-in-motion*. Tehnika uključuje snimanje trodimenzionalnih podataka u video sekvenci u stvarnom vremenu, obradu slike pomoću algoritama i stvaranje preciznog virtualnog modela na monitoru (11).



Slika 2. Lava COS intraoralni dentalni skener. Preuzeto iz (12).

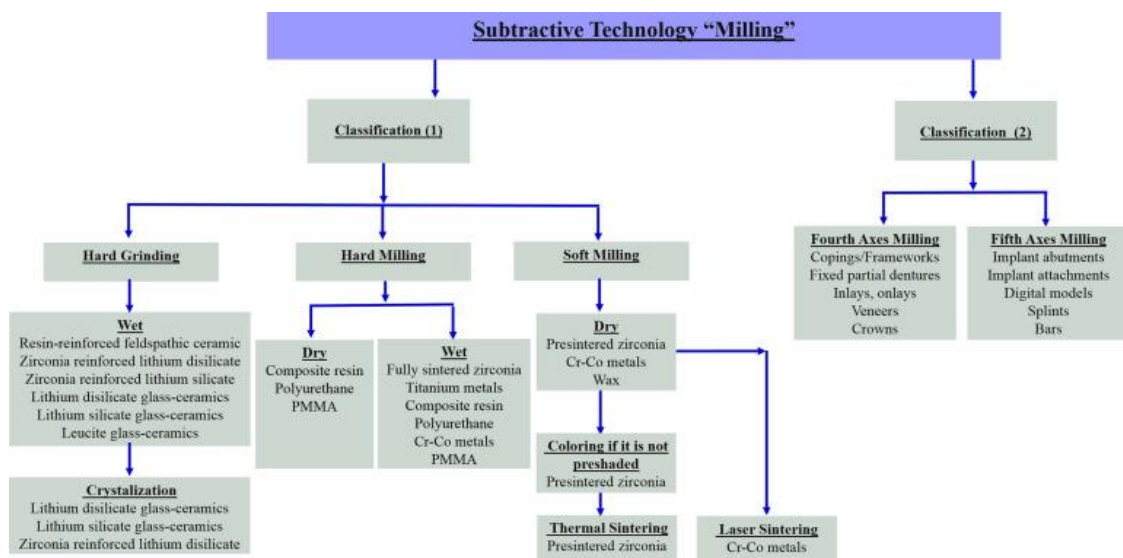
Prije skeniranja čeljust mora biti osušena i treba nanijeti prah titanovog oksida. Pritiskom gumba na kameri emitira se pulsirajuće plavo svjetlo te se na monitoru očitava crno-bijeli prikaz zuba. Prilikom naglog pokreta slika se automatski zaustavlja i moguće se vratiti na bilo koju prethodno skeniranu površinu. Kada je skeniranje završeno, zubi su na monitoru prikazani bijelo, a crvene površine moraju se dodatno skenirati. Potrebno je napraviti i snimku suprotne čeljusti te se dobiveni modeli obje čeljusti artikuliraju na monitoru, te ako su podaci ispravni, šalju se u zubotehnički laboratorij (11).

3.2. Strojna obrada CAD/CAM sustavom

Strojno glodanje posljednji je postupak u izradi nadomjeska CAD/CAM tehnologijom. Uključuje izradu nadomjeska iz CAD modela u fizičku jedinicu koja se obrađuje, doraduje i polira prije probe u pacijentovim ustima (13). Dvije osnovne metode koje se koriste za izradu nadomjeska mogu biti suptraktivna (glodanje i brušenje) i aditivna (Rapid prototip ili 3D ispis). Glodanje je proces izrade nadomjeska koji koristi suptraktivnu tehnologiju proizvodnje iz čvrstih blokova (Slika 3). Odabir materijala za glodanje ovisi o primjeni. Jedinice za glodanje svrstane su u dvije kategorije ovisno o:

- 1) načinu glodanja (suho i mokro glodanje),
- 2) broju osi za okretanje unutar glodalice (strojevi s tri, četiri ili pet osi za okretanje).

Način glodanja ovisi o vrsti materijala koji se koristi, dok broj osi koje se koriste diktira oblik nadomjeska.



Slika 3. Klasifikacija suptraktivne tehnologije glodanja. Preuzeto iz (14).

Aditivna metoda proizvodnje definira se kao proces spajanja materijala za izradu objekata iz 3D modela podataka, obično sloj po sloj (15). Nakon što se u CAD jedinici softverom oblikuje budući izgled nadomjeska, rad se segmentira u višeslojne slike. Za svaki milimetar materijala, postoji pet do 20 slojeva u kojima stroj odlaže uzastopne slojeve tekućine ili praška koji se spajaju da bi nastao konačan oblik. Kod izrade kompleksnih oblika, 3D printer izbacuje gelasti materijal koji služi kao potpora. Nakon toga slijedi daljnja obrada za uklanjanje viška materijala. Moguća je uporaba raznih materijala za printanje kao što su plastika, vosak, gumasti materijali ili tekući polimer. 3D ispis digitalnog modela precizniji je od glodanja i smanjuje troškove dentalnog laboratorija štedeći vrijeme uloženo u izradu objekta te osigurava pouzdan i točan rezultat s izrazito glatkom površinom (16, 17). Aditivna tehnologija ograničena je na polimerne i metalne materijale i do danas ne pruža mogućnost obrade keramike u dentalnoj medicini (Slika 4) (17). Glavni problem ove vrste proizvodnje je u tome što može uzrokovati razlike u konačnoj proizvodnji modela zbog skupljanja tijekom izrade (15). Printanjem je moguće proizvesti radne modele, modelate fiksnoprotetskih radova koji će se kasnije ulagati, voštane objekte za izradu lijevanih konstrukcija parcijalnih proteza, privremene protetske nadomjeske, kirurške šablone, ortodontske naprave, udlage i *retainere* (19).



Slika 4. 3D printer, skica i prototip. Preuzeto iz (20).

4. MATERIJALI ZA OBRADU CAD/CAM SUSTAVOM

Materijali za strojnu obradu mogu biti prefabricirani blokovi metala, polimera, silikatnih keramika, oksidnih keramika (Slika 5) i voskova.



Slika 5. Keramika za glodanje tvrtke Sirona. Preuzeto iz: (21).

4.1 Legure kobalta

Legure kobalta za sustave metal keramike spadaju u neplemenite legure i biološki su prihvatljive. Sinterirani metalni blokovi kobaltove krom legure (CoCr) rabe se za izradu individualno oblikovanih nadomjestaka koji se nakon glodanja i sinteriranja mogu polirati ili oblagati obložnom keramikom. Blokovi se proizvode u djelomično sinteriranom stanju te se nakon glodanja gusto sinteriraju u prisustvu argona pod niskim tlakom (Slika 6). Završna obrada vrši se karbidnim svrdlima za obradu kobaltove krom legure te se nakon obrade pjeskari česticama aluminijevog oksida. Koriste se kao osnovna konstrukcija za krunice i mostove do četiri člana u prednjoj i stražnjoj regiji te konusne i teleskopske krunice (22).



Slika 6. Kobaltova krom legura za glodanje (InCoris CC (Sirona)). Preuzeto iz (23).

4.2 Titan i legure titana

Titan uživa široku primjenu u dentalnoj medicini zbog izrazite biokompatibilnosti, što ga čini materijalom odabira kod pacijenata sklonih alergijskim reakcijama na nikal, kobalt i zlato. Titan je neplemenit, vrlo reaktivan metal koji trenutno oksidira na zraku stvarajući sloj titanovog dioksida (TiO_2). Najpoznatija legura titana je TAV ili Ti-6Al-4V. Razlog za legiranje titana je dobivanje materijala veće čvrstoće i stabilnijih faza (22).

4.3 Polimeri

Blokovi od polimetilmetakrilata (PMMA) koriste se za izradu CAD/CAM privremenih radova u razdoblju od najviše 12 mjeseci. Izrazito su homogeni i ne skvrčavaju se nakon polimerizacije. Nadomjestci se glodaju u ordinaciji (CEREC/Sirona), u dentalnom laboratoriju (InLab/Sirona) ili se izrađuju u suradnji s centrima za glodanje (NobelProcera/Nobel Biocare). Na nadomjestak se može nanijeti dodatni materijal za oblaganje zbog bolje estetike.

Prednosti su im dugotrajna stabilnost boje, prirodna fluorescencija te visoka homogenost zbog industrijske proizvodnje. CAD/CAM blokovi dentalnog kompozita su polimeri umreženi mikropunilima (Slika 7).

Polimeri za glodanje indicirani su za privremene prednje i stražnje krunice, mostove s najviše dva međučlana i kao terapijska sredstva kod temporomandibularnih disfunkcija (22).



Slika 7. VITA CAD - TempmonoColor(Vita) kompozitni blok za glodanje. Preuzeto iz (24).

4.4 Glinična keramika

Glinične keramike koriste se kao obložne keramike u svim metalno-keramičkim sustavima te kao jezgrena i obložni materijal u potpuno keramičkim sustavima. To su »najmekše« keramike koje se koriste u stomatologiji kod ručne i strojne izrade. Pokazuju najbolja optička svojstva. Sastav glinične keramike varira ovisno o težinskim udjelima pojedinih sastavnica, glinenaca, kvarca i kaolina. Sastav i struktura međusobno su ovisni i

utječu na svojstva. Prednost uporabe blokova glinične keramike CAD/CAM sustavom nad konvencionalnim načinom izrade nadomjeska je mogućnost postavljanja rada u pacijentova usta odmah nakon glodanja.

Uporaba polikromatskih blokova omogućava bolje balansiranje boje i translucencije nadomjeska u ordinaciji. Posebni procesi proizvodnje omogućili su integraciju triju slojeva kroz tri različita stupnja saturacije boje kao i tri stupnja translucencije u keramičkim blokovima. Gornji caklinski sloj najmanjeg je intenziteta boje i najveće translucencije. Srednji dentinski sloj ima srednje vrijednosti, dok je donji cervikalni sloj kao i u prirodnoj denticiji najviše pigmentiran, a najmanje translucentan. Blokovi glinične keramike indicirani su za izradu krunica, *inlaya*, *onlaya*, *overlaya*, ljuskica i kao obložna struktura u višeslojnim sustavima. Ako se blokovi koriste u višeslojnoj tehnici (*CAD - on*) kao sloj glodane obložne keramike koji se lijepi kompozitnim ljepilom na osnovnu konstrukciju od cirkonijevog dioksida, tada se mogu koristiti i za oblaganje višečlanih mosnih konstrukcija (Slika 8) (22).



Slika 8. Nadomjestak iz bloka višeslojne glinične VITABLOCS Triluxe (Vita) keramike.

Preuzeto iz (25).

4.5 Hibridne keramike

Blokovi za glodanje od hibridne keramike sastoje se od keramičke mreže koja je prožeta mrežom polimera. Uz posebno svojstvo elastičnosti, pokazuju visoku rezilijenciju nakon adhezivnog cementiranja što ih čini pogodnima za izradu krunica u lateralnom segmentu zubnog niza. Zbog izrazitog svojstva propuštanja svjetla, ovi hibridni materijali imaju optička svojstva najbližnja prirodnim zubima (Slika 9). Materijal je prilagođen ordinacijskoj uporabi izrade nadomjeska u jednoj posjeti (22).



Slika 9. Krunica glodana iz Lava Ultimate (3M ESPE). Preuzeto iz (26).

4.6 Staklokeramike

Staklokeramika je polikristalni materijal koji nastaje kontroliranom kristalizacijom stakla. Staklena talina za uporabu u dentalnoj medicini boji se dodavanjem malih količina metalnih oksida i sredstava za zamućenje poput oksida kositra, cirkonija i fosforita. Takvim postupkom nastaju različite vrste staklokeramika poput apatitno-mulitne, fluoroapatitne, litijeve staklokeramike, bioaktivnog stakla i druge (5). Staklokeramike za glodanje koriste se za izradu *inlaya*, *onlaya*, parcijalnih i potpunih krunica. Uz monokromatske blokove na tržištu

postoje i polikromatski blokovi u više slojeva. Slojevi u bloku pridonose prirodosti nadomjeska; gornji, caklinski sloj, nižeg je intenziteta boje i translucetniji dok je jezgra, koja predstavlja dentinski sloj, jače pigmentirana i manje translucetna.

Posebno se izdvajaju litijev disilikatne keramike nastale dodavanjem litijevog oksida (Li_2O) u aluminosilikatno staklo. Litijev disilikatne keramike dostupne su svim vrstama tehnika izrade (Slika 10). Gusto raspoređena mreža litijev disilikatnih kristala jednolično se širi kroz cijelu strukturu materijala i time poboljšava mehanička svojstva. Koriste se za izradu krunica u prednjoj i stražnjoj regiji, osnovnih konstrukcija nadomjestaka te tročlane mostove u fronti.



Slika 10. Litijev disilikatna keramika (IPSe.max, IvoclarVivadent). Preuzeto iz (27).

Staklokeramika za strojnu izradu može biti ojačana i leucitima (KAlSi_2O_6) (Slika 11). Ojačanje je postignuto razlikom u koeficijentima termičke istezljivosti leucita i staklene matrice, zbog čega je čitav materijal u blagoj kompresiji.



Slika 11. Leucitna staklokeramika IPS *Empress CAD* (IvoclarVivadent). Preuzeto iz (28).

Staklokeramike pogodne su za izradu nadomjestaka u prednjoj regiji zubnog niza zbog izrazitih svojstava translucencije sličnim prirodnim zubima bez obveze nanošenja obložne keramike. Nadomjesci se mogu izraditi ordinacijski u jednoj posjeti. Zbog visokog udjela stakla, za razliku od oksidnih keramika, mogu se jetkati fluorovodičnom kiselinom i cementirati adhezivno (22).

4.7 Oksidna keramika

Oksidna keramika je materijal koji se uglavnom sastoji od jednodijelovanih metalnih oksida koji se sastoje od jedne kristalne faze. Time osiguravaju vrlo stabilnu strukturu, poput metalne. Većina dentalnih keramika sastoji se od amorfne faze i kristala čija količina i veličina određuju njihova mehanička svojstva. Amorfni dio najvećim je dijelom silicijev dioksid (SiO_2), odnosno staklo. On keramici daje prirodan izgled te osigurava kemijsku vezu s kompozitnim cementom (29). Oksidne keramike imaju izuzetno nizak ili nikakav udio staklene faze. Sirovine su proizvedene sintetičkim putem i imaju visok stupanj čistoće. Pri visokim temperaturama sinteriranja od oko $1400\text{ }^\circ\text{C}$, nastaje ujednačena

mikrostruktura koja je odgovorna za poboljšana svojstva. Najznačajnija svojstva su joj otpornost na trošenje i visoke temperature, kao i korozijska postojanost (30). Većina oksidnih keramika potpuno su neprozirne ili imaju samo nisku razinu prosvjetljenja, tako da ih treba završno obložiti silikatnom keramikom.

Najnovije, potpuno oksidne keramike (monoblokovi), zahtijevaju glaziranje ili samo poliranje. Kao blokovi za glodanje na tržištu su dostupne aluminijska oksidna i cirkonij oksidna keramika. Postoje i višekomponentni sustavi poput aluminijskog oksida ojačanim cirkonijskim oksidom (31).

4.7.1. Aluminijeva oksidna keramika

Postoje dvije velike grupe aluminijeve oksidne keramike za glodanje koje se međusobno razlikuju u sastavu i gustoći svojih sastavnica. Skupina manje gustih aluminijevih oksidnih keramika nakon izrade jezgre uključuje infiltraciju lantanovim staklom. Tehnologija izrade nadomjeska temelji se na načelu da se relativno mekan i lako obradiv porozan materijal prvo izradi, a zatim peče na temperaturi od 1520 °C i pritom infiltrira lantanovim staklom. Takva metoda izrade naziva se infiltracijska tehnika ili *slip cast* pa se i ova vrsta keramike naziva infiltracijskom keramikom. Time osnovna konstrukcija dobiva na čvrstoći te se na kraju nanosi obložna keramika. S obzirom na dodatak ojačavajuće komponente, velika količina aluminijevog trioksida, magnezijevog oksida koja s aluminijevim trioksidom tvori spinel i cirkonijevog dioksida na tržištu postoje različiti materijali.

Druga skupina keramika je vrlo gusta, čine je 99 % čestice aluminijevog oksida (Al_2O_3) koje nije potrebno dodatno ojačavati jer imaju izrazito visoke vrijednosti mehaničkih svojstava (Slika 12). Ova keramika sastoji se samo od kristala i nema amorfni dio. Sinterirani blokovi imaju najveću gustoću i osnovna konstrukcija se glode u konačnom obliku. Prednost ovog postupka je što za vrijeme proizvodnje nadomjeska ne dolazi do dimenzijskih promjena. Koriste se za izradu krunica u prednjem i lateralnom segmentu te kao osnova tročlanih mostova u prednjem segmentu (22).



Slika 12. Krunica izrađena iz bloka Vita In - Ceram SPINELL (Vita). Preuzeto iz (32).

4.7.2. Cirkonij oksidna keramika

Mehanička svojstva, biokompatibilnost i estetika cirkonij oksidne keramike predstavili su revoluciju u protetici. To je prvi potpuno keramički sustav koji je mehaničkim svojstvima zadovoljio zahtjeve protetike za izradu većih radova i sanaciju stražnjih zubi gdje su zahtjevi za čvrstoćom veliki zbog žvačnog opterećenja (Slika 13) (33).

Cirkonijev dioksid (ZrO_2) je polimorf koji se, ovisno o temperaturi, pojavljuje u tri oblika: monoklinskom, kubičnom i tetragonskom. Pri sobnoj temperaturi bez stabilizatora postoji samo u monoklinskom obliku. Pri temperaturi od $1170\text{ }^\circ\text{C}$ prelazi u tetragonski, a pri temperaturi od $2370\text{ }^\circ\text{C}$ u kubični oblik. Da bi se cirkonijev dioksid zadržao u tetragonskoj fazi pri sobnoj temperaturi, u stomatologiji se kao stabilizator koristi 3 do 5%-tni itrijev oksid (Y_2O_3). Itrij poboljšava žilavost cirkonijevog dioksida, koja je nekoliko puta veća od ostalih keramika i metal keramike. Ta faza samo je djelomično stabilizirana i, zbog djelovanja naprezanja na površini, može se transformirati u monoklinsku. Taj se materijal naziva *cirkonijev dioksid djelomično stabiliziran itrijem* (Y-PSZ). Na mehanička svojstva materijala utječu obrada površine materijala, kvaliteta sinteriranja i vrsta obložnog materijala.

Osim što nema amorfni dio, razlog za tako izvrsna mehanička svojstva jest i svojstvo cirkonijeva dioksida da pri naprezanju pukotinu zatvara i zaustavlja, za razliku od ostalih materijala čija se pukotina širi. Kad se pojavi pukotina u cirkonij oksidnoj keramici, spoj se vraća u svoju monoklinsku fazu, a kristalna se zrna povećavaju za otprilike 4,5 %, što zatvara pukotinu i jača materijal (29). Preporučuje se brusiti uz malu silu i jako vodeno hlađenje te koristiti obložnu keramiku od istog proizvođača jer su koeficijenti termičke rastezljivosti (KTR) usklađeni. CAD/CAM sustav danas je jedini način za obradu cirkonijevog dioksida u dentalnoj medicini. Ako se poštuju zahtjevi preparacije uporišnog zuba, dovoljno je skenirati

bataljak, što traje 10 minuta, a softver sam oblikuje oblik buduće cirkonij oksidne jezgre. Oblik i debljina nadomjeska mogu se korigirati na računalu. Optimalna debljina iznosi 0,5 mm, ali se može i dodatno stanjiti.

Nakon skeniranja i eventualnih korekcija na računalu, u glodalicu se umeće blok presinteriranog cirkonijevog oksida. Prednost presinteriranog cirkonijevog oksida je mekoća, konzistencija krede i lako frezanje. Nedostatak je obavezno predimenzioniranje za 30 % jer se tijekom sinteriranja skvrčava čime se smanjuje iskoristivost bloka (34). Glodanje (popularno nazvano frezanje) pojedinačne jezgre cirkonijevog dioksida traje do 15 minuta. Nakon frezanja materijal se sinterira u peći na temperaturi od 1350-1500 °C kroz šest sati.

Neki sustavi koriste već sinterirani cirkonijev oksid, što izaziva napetost u njegovoj strukturi i zahtjeva trošenje većeg broja freza (34).



Slika 13. Most iz presinteriranih blokova Ipse.maxZirCAD keramike (IvoclarVivadent).

Preuzeto iz (35).

Najnovije dostignuće u proizvodnji cirkonijevog dioksida je translucetni cirkonijev dioksid koji omogućuje izradu potpuno oblikovanih, monolitnih restauracija bez vanjskog slojevanja i bez opasnosti od otkrhnuća. Te restauracije treba samo obojiti kako bi se postigla veća prirodnost (Slika 14). Ne pruža idealnu estetiku pa je indiciran u stražnjoj regiji, dok se za prednje zube koristi slojevana cirkonij oksidna keramika (29).



Slika 14. Most izrađen iz transparentnog cirkonijevog dioksida sustava Lava Plus (3M ESPE).

Preuzeto iz (36).

4.8 Voskovi

Voskovi za glodanje imaju specifičnu namjenu. Slični su *inlay* voskovima, ali imaju svojstva koja im omogućuju oblikovanje voštanih modela karakterističnih oblika. Imaju veliku čvrstoću i visoku temperaturu razmekšavanja. Objekti se oblikuju u glodalici uporabom čeličnih svrdala. U postupku lijevanja izgaraju bez ostatka (22).

5. RASPRAVA

CAD/CAM tehnologija započela je novo doba u dentalnoj medicini. Kvaliteta protetskih radova znatno je poboljšana pomoću standardiziranih procesa proizvodnje. Omogućeno je učinkovito upravljanje kvalitetom proizvoda. Dentalni laboratoriji sve više postaju računalni proizvodni centri.

CAD/CAM tehnologija uvelike je proširila spektar materijala za protetske radove pružajući pristup novim keramičkim materijalima visoke pouzdanosti. Mehanička svojstva i stabilnost cirkonij oksidne keramike dopuštaju, u mnogim indikacijama, uporabu ovog materijala kao alternativnog rješenja kovinskim osnovnim konstrukcijama. Izrada privremenih protetskih radova za dulju primjenu postala je praktična, brza i predvidljiva zahvaljujući digitalnoj obradi skeniranih podataka na računalu. Konačni protetski rad može predstavljati kopiju privremenog rada izrađenog od drugog materijala samo ako je cijeli protetski tim zadovoljan svim čimbenicima u procjeni kvalitete rada. Međutim, često privremeni radovi dobiveni i prethodnim dijagnostičkim navoštavanjem mogu biti poboljšani tijekom terapije.

Unatoč svim prednostima, doktori dentalne medicine morat će se prilagoditi metodama rada CAD/CAM sustava i tehnologije glodanja. To podrazumijeva odgovarajuću preparaciju zuba (37). Prije početka brušenja potrebno je postaviti retrakcijski konac u gingivalni sulkus kako bi se spriječilo oštećenje marginalne gingive. Stepunica treba biti zaobljena ili pravokutna sa zaobljenim unutrašnjim rubom širine od 0,8 do 1,2 mm kako bi je skener mogao potpuno obraditi. U vertikalnoj dimenziji zub se skraćuje 1,5 do 2 mm, dok se pri brušenju stražnjih zuba dopušta skraćivanje do 2,5 mm. Aproksimalne i lingvalna ploha

trebaju se izbrusiti najmanje 1 mm. Koničnost postraničnih stijenki treba biti 4 do 6° što osigurava retenciju i stabilizaciju krunice (5). Incizalni bridovi i okluzalne plohe moraju biti zaobljene. Podminiranosti i oštre nepravilnosti u strukturi izbrušenog zuba mogu uzrokovati nakupljanje naprezanja u keramičkom nadomjesku, kao i poteškoće pri glodanju jer je promjer najmanjeg zaobljenog rezača u glodalici 1 mm te stoga strukture manje od 1 mm ne može precizno glodati. Rezultat je neprecizan nadomjestak (37). Preciznost koja se može postići uz pomoć CAD/CAM sustava na rubnom dijelu preparacije iznosi 10-50 µm (38).

Nedostaci uporabe CAD/CAM tehnologije su visoke investicije u strojeve koje mogu prekoračiti budžet manjih laboratorija i ordinacija. Postoje ograničenja uporabe zbog softverskih i proizvodnih protokola. Aditivna tehnika izrade ograničena je na polimere i kovinske materijale. Preciznost skeniranja cijelog zubnog niza digitalnim skenerom manja je od uporabe konvencionalne tehnike (39). Osnovne konstrukcije od cirkonijeva oksida koje su duže i zaobljene podliježu većoj distorziji prilikom sinteriranja od onih koje su kraće i ravne (40).

U budućnosti, otiskivanje će se provoditi uređajima koji koriste ultrazvučne valove te imaju mogućnost neinvazivnog penetriranja kroz gingivu. Takvi uređaji otporni su na krv, slinu i sulkularnu tekućinu te neće biti potrebno koristiti retrakcijski konac. Uz primjenu ultrazvučnih valova suho radno polje postaje manje važno, a pacijenti se osjećaju ugodnije (41). Protetski nadomjesci izrađivat će se laserskim glodanjem, a svoje mjesto u dentalnoj medicini već je zauzela tehnologija 3D ispisa (42).

6. ZAKLJUČAK

CAD/CAM tehnologija unaprijedila je dentalnu medicinu. Mogućnost jednoposjetne izrade nadomjeska, korištenja cirkonij oksidne keramike, virtualnog artikulatora, digitalnog skenera te uređaja s 3D ispisom podataka pružaju nove mogućnosti u radu s pacijentima i olakšavaju posao liječnicima. U porastu je broj liječnika koji upotrebljavaju digitalnu kameru spojenu na prijenosno računalo, s prikladnim softverom i mogućnošću prosljeđivanja slike u proizvodni centar. Smanjen broj faza izrade znači i smanjenu mogućnost pogreške i skraćeno vrijeme sanacije protetskog pacijenta. Za sanaciju kompletnog zubnog luka konvencionalne tehnike izrade još uvijek imaju prednost. Strojna keramika zbog svoje biokompatibilnosti, estetike i čvrstoće sve više istiskuje dentalne legure iz uporabe u protetici.

7. SAŽETAK

Razvoj računalne tehnologije podigao je dentalnu medicinu na novu razinu funkcioniranja. Razvojem CAD/CAM sustava počeli su se upotrebljavati novi materijali za strojnu obradu poput oksidnih keramika, glinične keramike i staklokeramike.

CAD/CAM sustavi imaju tri osnovne jedinice: skener, računalo s primjerenim softverom te stroj za glodanje. Postupak počinje snimanjem usne šupljine intraoralnom 3D kamerom ili uzimanjem otiska konvencionalnom tehnikom pa snimanjem radnog modela. Računalo na monitoru očitava podatke iz kamere, koje je potom moguće virtualno obraditi. Stroj za glodanje, zatim, na principu suptrakcije iz bloka pripremljenog materijala, oblikuje nadomjestak po zadanim parametrima. Blokovi za glodanje mogu biti presinterirani ili sinterirani. Presinterirane blokove potrebno je predimenzionirati, ali ne izazivaju napetost u strukturi nadomjeska.

Alternativno, nadomjestak je moguće izraditi adicijskom metodom, 3D printanjem. Stroj obrađuje mješavinu praška i tekućine u slojevima i pomoću potpore gelastog materijala iz njih oblikuje nadomjestak. Adicijskom metodom ne mogu se obrađivati keramike.

Materijali koji se mogu obrađivati strojno su kobaltove krom legure, titan i njegove legure, polimeri, keramike i voskovi. Staklokeramički nadomjesci pogodni su za prednji segment zubnog luka zbog translucencije slične onoj prirodnim zubima. Oksidne keramike odlikuju se biokompatibilnošću, otpornošću na trošenje i estetikom. Njihova dobra mehanička svojstva proizlaze iz malog udjela staklene faze i velikog udjela kristala. Cirkonij oksidna keramika prvi je potpuno keramički sustav iz kojeg se mogu izrađivati veći protetski radovi i sanirati lateralni segmenti zubnog niza.

8. SUMMARY

New Technologies in Dental Prosthetics

The development of computer technology has raised the dental medicine to a new level of functioning. With the development of the CAD/CAM systems, the usage of new materials for milling processes such as oxide ceramics, alumina ceramics and glass-ceramics had begun.

CAD/CAM systems have three basic units - a scanner, a computer with an appropriate software, and a machine for milling. The procedure begins by scanning the mouth with an intraoral 3D camera, or by making dental impressions with the conventional technique and scanning the working model. A computer monitor reads the data from the camera, which can then be virtually processed. The machine for milling then uses the principle of subtraction to form a restoration from a block of the material by the given parameters. Blocks for milling can be presintered or sintered. Presintered blocks need to be oversized but do not cause tension in the structure of the restoration.

Alternatively, restoration can be made with an addition method, 3D printing. The machine processes the mixture of powder and liquid in layers and, by using the gel material as a support, forms the restoration. The addition method cannot process ceramics.

Materials that can be processed by machine are cobalt-chromium alloys, titanium and its alloys, polymers, ceramics and waxes. Glass-ceramic restorations are suitable for the front segment of the dental arch because of translucency similar to natural teeth. Oxide ceramics are praised for their biocompatibility, wear resistance and aesthetics. Their good mechanical performance is a result of a low share of glass phase, and the large proportion of

crystals. Zirconium oxide ceramics are the first all-ceramic material which can be used to rehabilitate the lateral segments of the dental arch, and to create bigger restorations.

9. LITERATURA

1. Živko-Babić J, Mehulić K, Ivanić T, Predanić-Gašparac H. Pregled pojedinih keramičkih sustava I. dio: Povijesni razvoj keramike. *Acta Stomatol Croat.* 1994; 28: 217-21.
2. Jerolimov V, urednik. *Osnove stomatoloških materijala* [Internet]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet; 2005 [cited 2005 Jun 20]. Available from: <http://bib.sfzg.hr/files/user/ipelivan/Osnove-stomatoloskih-materijala.pdf>
3. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.* 2008; 204:505-11
4. Aeran H, Kumar V, Seth J, Sharma A. Computer aided Designing-Computer Aided Milling in Prosthodontics: A Promising Technology for Future. *IJSS Case Report & Reviews.* 2014;1:23-7.
5. Čatović A, Komar D, Čatić A i sur. *Klinička fiksna protetika I - Krunice.* Zagreb: Medicinska naklada; 2015.
6. Leinfelder K, Isenberg B, Essig M. A new method for generating ceramic restorations: a CAD-CAM system. *J Am Dent Assoc.* 1989; 118: 703-7.
7. Glavina D, Škrinjarić I. Novi postupak za izradbu keramičkih ispuna: CAD/CAM sustav tehnologija 21. stoljeća. *Acta Stomatol Croat.* 2001; 35(1): 43-50.
8. Lukačević F, Lukić N, Jelinić Carek A. Usporedba konvencionalnih i digitalnih intraoralnih otisaka. *Sonda.* 2015;16(29):54-7.
9. Trifković B. Analiza metroloških karakteristika uređaja za optičku digitalizaciju stomatoloških CAD/CAM sistema. [Disertacija]. Beograd: Stomatološki fakultet Univerziteta u Beogradu; 2012.

10. Van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of Intra - Oral Dental Scanners in the Digital Workflow of Implantology. *PloS One*. 2012;7(8):e43312.
11. Birnbaum NS, Aaronson HB. Dental impressions Using 3D Digital Scanners: Virtual Becomes Reality. *Compend Contin Educ Dent*. 2008; 29:494-505.
12. http://solutions.3m.co.uk/wps/portal/3M/en_GB/3M_ESPE/Dental-Manufacturers/Products/Dental-Indirect-Restorative/Digital-Impression/Oral-Scanner/ [Internet]. [cited 2016 Aug 30].
13. Van Noort R. The future of dental devices is digital: *Dent Mater*.2012;28 (1): 3-12.
14. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res*. 2016 Apr;60(2):72-84. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1883195816000098>
15. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *J Orthodont*. 2008;35(3):191-201.
16. Patzelt SB, Bishti S, Stampf S, Att W. Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing - generated dental casts based on intraoral scanner data. *J Am Dent Assoc*. 2014;145(11):1133-40.
17. Willer J, Rossbach A, Weber HP. Computer-assisted milling of dental restorations using a new CAD/CAM data acquisition system. *J Prosthet Dent*. 1998;80:346-53.
18. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int*. 2015;46(1):9–17.
19. Williams RJ, Bibb R, Eggbeer D, Collins J. Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework. *J Prosthet Dent*. 2006;96:96-9.

20. Ganon E., (2014). 3D printing vs CAD/CAM Milling in dentistry. Available from: <https://eliezerganon.wordpress.com/2014/08/11/3d-printing-versus-cadcam-milling-in-dentistry/> [Internet]. [cited 2016 Sep 6].
21. CFAO groupe. Ceramic dental CAD/CAM material / for dental restorations . Medical expo[online]. Available from: <http://www.medicalexpo.com/prod/sirona-france/product-81014-695881.htm>
22. Giordano R. Materials for chairside CAD/CAM – produced restorations. JADA. 2006;137 Suppl:14S-21S
23. <http://www.sirona.ru/ru/products/digital-dentistry/new-products/> [Internet]. [cited 2016 Sep 6]
24. <http://vitanorthamerica.com/products/cadcam/cad-temp/> [Internet]. [cited 2016 Sep 6].
25. <https://www.amanngirrbach.com/en/products/cadcam-material/ceramic/vitablocs-triluxe-forte/> [Internet]. [cited 2016 Sep 7].
26. Dentaltown magazine [online]. (Aug 2012). Available from: <http://www.dentaltown.com/Images/dentaltown/magimages/0812/DTAug12pg71.pdf> [Internet]. [cited 2016 Sep 9].
27. Dental link laboratory [online]. Available from: <http://www.dentallink.co.nz/#products> [Internet]. [cited 2016 Sep 10]
28. KuoHwa dental Suppliers Co., Ltd. [online]. Available from: http://www.kuohwa.com.tw/Product_details/ivoclar/empress_cad.html [Internet].
29. Špehar D, Jakovac M. Nove spoznaje o cirkonij oksidnoj keramici kao gradivnom materijalu u fiksnoj protetici. Acta stomatol Croat. 2015;49(2):137-44.
30. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. Contemporary fixed prosthodontics. 2nd ed. St. Louis: Mosby; 1995.
31. Available from: <http://www.zirkonzahn.com/> [Internet]. [cited 2016 Sep 10].

32. Giordano R, McLaren EA. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. *Compend Contin Educ Dent*. 2010 Nov-Dec;31(9):682-4.
33. Jakovac M. Utjecaj toplinske obradbe na mikrostrukturne promjene i ostala svojstva cirkonijeve keramike [disertacija]. Zagreb: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2008.
34. Jakovac M. Primjena cirkonijeva oksida u stomatološkoj protetici: Cercon sustav [specijalistički rad]. Zagreb: Klinika za stomatologiju KBC Zagreb; 2005.
35. Ivoclar Vivadent [online]. Available from:
<http://www.ivoclarvivadent.com/en/products/all-ceramics/ips-emax-technicians/ips-emax-zircad> [Internet]. [cited 2016 Sep 12].
36. Lava™ Milling Centre Starnberg [online]. Corona. Available from:
<http://lavazentrum.com/en/products/lava-plus> [Internet]. [cited 2016 Sep 13.]
37. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008; 204(9):505-11.
38. Sulaiman F, Chai J, Jameson L M, Wozniak W T. A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress, and Procera crowns. *Int J Prosthodont* 1997; 10: 478–484.
39. Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig*. 2014;18(6):1687-94.
40. Abduo J. Fit of CAD/CAM implant frameworks: a comprehensive review. *J Oral Implantol*. 2014;40(6):758-766.
41. Vollborn T, Habor D, Pekam FC, Heger S, Marotti J, Reich S, Wolfart S, Tinschert J, Radermacher K. Soft tissue-preserving computer-aided impression: a novel concept using ultrasonic 3D-scanning. *Int J Comput Dent*. 2014;17(4):277-96.
42. Kazama-Koide M, Ohkuma K, Ogura H, Miyagawa Y. A new method for fabricating zirconia copings using a Nd:YVO4 nanosecond laser. *Dent Mater J*. 2014;33(3):422-9.

10. ŽIVOTOPIS

Miroslav Barišić rođen je 25. veljače 1992. godine u Splitu gdje završava osnovnu školu "Lučac", te Opću gimnaziju "Vladimir Nazor". 2010. godine upisuje integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studij Dentalne medicine pri Medicinskom fakultetu sveučilišta u Splitu. 2012. godine upisuje integrirani preddiplomski i diplomski studij Dentalna medicina prvi Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Prisustvovao je u EDSA (European Dental Students Association) programu razmjene na sveučilištu Comenius, Fakulteta medicine i dentalne medicine u Bratislavi 2015. godine. Prisustvovao je jednodnevnoj edukaciji "ABC hitnih stanja" i prve pomoći u organizaciji StEPP-a u Školi narodnog zdravlja "Andrija Štampar".