Primjena aditivnih tehnika u fiksnoprotetskoj terapiji

Indihar, Sara

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:127:118902

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno 3.0

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb School of Dental Medicine Repository

Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Sara Indihar

PRIMJENA ADITIVNIH TEHNIKA U FIKSNOPROTETSKOJ TERAPIJI

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Rad je ostvaren u: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za fiksnu protetiku

Mentor rada: doc. dr. sc. Joško Viskić, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Dominika Papić Kukić, prof.

Lektor engleskog jezika: Lucija Klapan, mag. educ.

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____

2. _____

3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 25 stranica

1 CD

Rad je vlastito autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drugačije navedeno, sve ilustracije u radu, tablice, slike i dr., izvorni su doprinos autora diplomskog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve moguće posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija, odnosno propusta u navođenju njihovog podrijetla.

Zahvala

Želim zahvaliti svome mentoru, docentu Jošku Viskiću na strpljenju i pomoći pri pisanju ovoga rada.

Hvala dr. Ivanu Krajini, mome izvanfakultetskom mentoru što me uveo u svijet stomatologije.

Hvala baki Ani za svaki ručak te Sandi i Goranu za sve motivirajuće riječi tijekom studija.

Zahvaljujem mojim slovenskim curama i Jari na podršci na daljinu.

Hvala članovima „EWS“ i „Doktorima bez granica“ što su ovih šest teških godina pretvorili u šest nezaboravnih, najzabavnijih i najsretnijih godina u mome životu. Uživala sam s vama i zbog vas bih sve ponovila!

Najviše zahvaljujem tati, mami i bratu Roku što su mi bili najveća podrška i motivatori kroz sve godine školovanja. Bez vas ne bih bila tu gdje jesam i ništa od ovoga ne bi bilo moguće.

Ovaj diplomski rad posvećujem Asti i teti Gordani, koja bi bila sretna da ponosno i uspješno predstavljam „Indiharce“ u svijetu.

PRIMJENA ADITIVNIH TEHIKA U FIKSNOPROTETSKOJ TERAPIJI

Sažetak

S digitalizacijom na svim područjima i u stomatologiji je došlo do pomaka, gdje se puno koraka u izradi različitih nadomjestaka provodi digitalno. Jedna grana digitalne izrade nadomjeska su reduktivne metode, gdje se glodanjem uklanja višak materijala. Aditivne tehnologije su upravo suprotne tehnologije. Kod te grupe tehnologija objekt se stvara sloj po sloj, pri čemu je finalni objekt stvoren od mnogo slojeva. Uputu o obliku objekta preko računala šalje softver u kojem smo dizajnirali konačni objekt. Takav način ima mnogo prednosti, npr. uštedu materijala, brzinu izrade i visoku preciznost. Uz to su prisutni i nedostatci u vidu visoke cijene i teže završne obrade. U medicini se aditivne tehnologije upotrebljavaju u ortopediji, otorinolaringologiji i kirurgiji. Također se te moderne tehnologije koriste u farmaciji. U dentalnoj medicini se u sve više slučajeva hvataju za aditivne tehnologije. Područje u kojem je 3D printanje najčešće korišteno je protetika, uz to se koristi i u ortodonciji, oralnoj kirurgiji, parodontologiji, čak u endodonciji. Postoji više vrsta aditivnih tehnologija: stereolitografija (SLA), injekcijsko printanje, *PolyJet* postupak i *powder binder* tehnologija, kao njezine podvrste, selektivno lasersko sinteriranje (SLS) i selektivno lasersko taljenje (SLM) kao predstavnici laserskih aditivnih tehnika te fuzijsko depozicijsko modeliranje (FDM). Svaka od tih vrsta ima drugačiji način izrade objekta. Također, različite vrste mogu obrađivati različite materijale. Danas se za 3D printanje upotrebljavaju metali, keramika i polimeri. Aditivne tehnologije se jako brzo razvijaju i očekuje se da će se njihovi nedostatci ispraviti te će kroz nekoliko godina biti u potpunosti prihvaćeni u svakodnevici.

Ključne riječi: aditivne tehnologije; 3D printanje; fiksna protetika

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNIQUES IN FIXED PROSTHODONTICS THERAPY

Summary

With digitalization, there has been a shift in dentistry, as many steps in the fabrication of dental restorations are now made digitally. One type of digital fabrication of dental restorations are subtractive methods, where excess material is removed by milling cutters. As opposed to subtractive methods, additive technologies create the object layer by layer, the final object thus consisting of many layers. The information about the shape of the object is sent via computer by the software in which the final object is designed. This method has many advantages, such as material savings, speed of manufacture and high precision. However, there are drawbacks such as high cost and difficult finishing. In medicine, additive technologies are used in orthopaedics, otolaryngology and surgery. These modern technologies are also used in pharmacy. In dental medicine, the usage of additive technologies is increasing. The area where 3D printing is most commonly used is prosthodontics, but it is also used in orthodontics, oral surgery, periodontology, and even in endodontics. There are several types of additive technologies: stereolithography (SLA), injection printing and its subspecies, PolyJet process and powder binder technology, selective laser sintering (SLS) and selective laser melting (SLM) as examples of laser additive techniques and fusion deposition modelling (FDM). Each of these types fabricates the object differently. Also, different techniques can process different materials. Today, metals, ceramics and polymers are used for 3D printing. Additive technologies are developing very fast, which is why it is expected that their shortcomings will be corrected and that they will be fully accepted in everyday life in the following years.

Keywords: additive technologies; 3D printing; fixed prosthodontics

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U FIKSNOJ PROTETICI 4

2.1. CAD/CAM tehnologija u stomatologiji 5

2.2. Podjela aditivnih tehnika 5

2.2.1. Stereolitografija 6

2.2.1.1. Digitalna svjetlosna obrada 6

2.2.2. Injekcijsko printanje 7

2.2.2.1. *PolyJet* postupak 7

2.2.2.2. *Powder binder* tehnologija 8

2.2.3. Laserske aditivne tehnike: selektivno lasersko sinteriranje i selektivno lasersko taljenje 8

2.2.4. Fuzijsko depozicijsko modeliranje 9

2.3. Materijali 10

2.3.1. Metali i metalne legure 10

2.3.2. Polimeri 10

2.3.3. Keramika 11

2.4. Završna obrada 12

2.5. Primjena u fiksnoj protetici 12

2.5.1. Modeli 13

2.5.2. Privremeni nadomjesci 13

2.5.3. *Mock-up* 13

2.5.4. Krunice i mostovi 13

3. RASPRAVA 15

4. ZAKLJUČAK 18

5. LITERATURA 20

6. ŽIVOTOPIS 24

Popis skraćenica

3D – trodimenzionalno (engl. *three-dimensional*)

ABS – akrilonitril butadien strien

CAD/CAM – *computer aided design/computer aided manufacturing*

DLP – digitalna svjetlosna obrada (engl. *digital light processing*)

DMLS – direktno lasersko sinteriranje metala (engl. *direct metal laser sintering*)

FDM – fuzijsko depozicijsko modeliranje (engl. *fused deposition modeling*)

PBP – (engl. *powder binder printer)*

PEEK – polieter eter ketoni

PLA – polimer mliječne kiseline(engl. *polylactic acid*)

PMMA – polimetil-metakrilat

SLA – stereolitografija (engl. *stereolitography*)

SLM – selektivno lasersko taljenje (engl. *selective laser melting*)

SLS – selektivno lasersko sinteriranje (engl. *selective laser sintering*)

UV zraka – ultraljubičasta zraka (engl. *ultraviolet*)

1. UVOD

Aditivne tehnologije, poznate i kao 3D printanje, još su jedan tehnološki napredak koji je postao moguć razvojem digitalnih procesa proizvodnje. Aditivna tehnologija koristi *computer-aided-design* (CAD) softver ili 3D skenere za usmjeravanje hardvera koji odlaže različite vrste materijala, sloj po sloj, u precizne geometrijske oblike. Aditivne tehnike postupnim dodavanjem slojeva materijala grade trodimenzionalni objekt, za razliku od tradicionalnih tehnika koje su subtraktivne, tj. materijal se uklanja glodanjem (1). Materijal se odlaže u x i y smjeru, čime se definiraju širina i dužina objekta. Treća dimenzija, visina objekta tj. z-os, izrađuje se odlaganjem materijala sloj na sloj. Iako se aditivna tehnologija mnogima čini nova, ona postoji već desetljećima. Početak razvoja aditivnih tehnologija započeo je u osamdesetim godinama 20. stoljeća takozvanom „sterolitografijom" čiji je koncept prvi izmislio Amerikanac Charles Hull. On je zaslužan i za STL (.stl) format u kojemu se objekt dizajnira i kasnije prenosi u 3D pisač (2). U farmaceutskoj industriji upotrebljavaju 3D printanje za istraživanje metabolizma i doza lijeka. U medicini se 3D printanje prvi put koristilo 1999. godine, a danas se tom tehnologijom izrađuju individualne proteze i implantati u ortopediji, slušni aparati, specijalni kirurški instrumenti, bioprintaju se tkiva i organi (3). Takva tkiva i organi mogu se upotrebljavati za istraživanja ili pak kao jeftinija alternativa za transplantirane organe. Još jedna primjena 3D printa u području medicine jest stvaranje replika organa specifičnih za pacijenta, koje kirurzi mogu koristiti za vježbanje prije obavljanja kompliciranih operacija. Dokazano je da ova tehnika ubrzava postupke i umanjuje traume za pacijente (4).

Danas je primjena 3D printanja u stomatologiji vrlo česta. Kombinirajući oralno skeniranje, CAD/CAM dizajn i 3D print, zubni laboratoriji mogu točno i brzo proizvesti krunice, mostove i modele u protetici (3). I individualne žlice mogu se dizajnirati u CAD softveru i izraditi aditivnom tehnikom (5). Aditivnim tehnikama mogu se izrađivati i voštane konstrukcije za baze proteze, same baze te kalupi u koje se istisne materijal za djelomične ili potpune proteze (6, 7). Aditivnim tehnikama udlage se mogu izraditi u puno kraćem vremenu nego konvencionalnom metodom. Digitalna tehnologija također može poboljšati preciznost konačne okluzalne udlage (8). U području kirurgije izrađuju se vodilice za ugradnju dentalnih implantata, zubni nadomjesci i kraniomaksilofacijalni implantati. Također je česta primjena u ortodonciji, pogotovo u izradi *alignera, retainera,* modela za ortodonciju te individualnih bravica (3). Zanimljivo, čak i u endodonciji mogu se aditivnim tehnikama izraditi vodilice za izradu pristupnog kaviteta i za vođenu apikotomiju. Regenerativna parodontologija i vodiči za estetsku korekciju gingive još su jedno područje upotrebe aditivnih tehnologija. 3D printom mogu se izraditi jako precizne, točne i prilagodljive šablone za gingivektomiju i oblikovanje

osmjeha (9). Umjesto neugodnih otisaka, izvedeno je 3D skeniranje koje je kasnije pretvoreno u 3D model i poslano na 3D print. Aditivne tehnike danas omogućuju digitalizaciju velikog dijela postupka izrade zubnih nadomjestaka. Time se skraćuje vrijeme proizvodnje i značajno se povećava količina proizvedenih radova. Osim toga, omogućuju eliminaciju standardnih fizičkih otisaka i modela (3).

Svrha rada je dati pregled svih vrsta aditivnih tehnika koje se koriste u dentalnoj medicini i materijala koji se mogu upotrebljavati u 3D printu.

2. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U FIKSNOJ PROTETICI

Zbog digitalne revolucije se i u stomatologiji sve više naginjemo digitalnim metodama izrađivanja radova. Razvoj digitalnih tehnologija je pogotovo izražen u fiksnoj protetici. U toj grani stomatologije je izuzetno bitno da su nadomjesci izrađeni što brže i precizno.

2.1. CAD/CAM tehnologija u stomatologiji

U današnjem svijetu očekuje se da će rezultati biti brzi i kvalitetni. To se odnosi i na stomatologiju, zato je bila razvijena CAD/CAM tehnologija, koja rješava tri izazova: da bi se osigurala adekvatna čvrstoća restauracije, posebno za stražnje zube; da se dobije restauracija s prirodnim izgledom; i na kraju kako bi se restauracija lakše, brže i preciznije izradila (10). CAD (*computer aided design*) znači računalom potpomognuti dizajn, a CAM (*computer aided manufacturing*) znači računalom potpomognuta izrada. CAD/CAM tehnologija omogućuje kreiranje modela u dvije ili tri dimenzije i njihovu izradu (11). Ova tehnologija koristi se i u zubotehničkom laboratoriju i u ordinaciji, a primjenjuje se za izradu *inlaya, onlaya,* krunica, ljuskica, djelomičnih i potpunih proteza, a u ortodonciju za izradu prozirnih *retainera*.

Izrada restauracije CAD/CAM sistemom ima tri funkcionalne komponente: prikupljanje podataka, dizajn, izradu. Podatci se mogu prikupljati optičkim ili mehaničkim skenerom. Direktno u usnoj šupljini ili indirektno preko fizičkog otiska ili već izrađenog modela. Nakon prikupljenih podataka u računalu se pomoću CAD softvera dizajnira model konačne restauracije. U zadnjoj fazi CAD/CAM tehnologije izrađuje se dizajnirani model glodanjem ili aditivnim tehnikama (12).

Primjena ove tehnologije pruža pojednostavljen postupak naspram klasičnog načina izrade. Restauracije koje su izrađene CAD/CAM tehnologijom su dugoročne. Prednosti ove tehnike su pojednostavljenost postupka, smanjena potrošnja materijala, povećana produktivnost, preciznije restauracije i lakši način proizvodnje (11).

2.2. Podjela aditivnih tehnika

Aditivne tehnike zasnivaju se na principu dodavanja materijala u slojevima, gdje je svaki sloj tanki presjek objekta dizajniranog u CAD softveru (13). Postoji mnogo različitih tehnologija tiska, svaka sa svojim prednostima i nedostatcima. Nažalost, zajedničko obilježje funkcionalnije i produktivnije opreme su visoki troškovi opreme, materijala, održavanja i popravaka, često popraćeni potrebom neurednog čišćenja, teškom završnom obradom i u nekim

slučajevima brigom za zdravlje i sigurnost (14). Postoji više podjela aditivnih tehnika, a jedna od njih je na: stereolitografiju, injekcijsko printanje laserske aditivne tehnike i fuzijsko depozicijsko modeliranje.

2.2.1. Stereolitografija

Stereolitografija (engl. *Stereolithography*, SLA) se zasniva na principu polimerizacije tekućine pomoću ultraljubičastih zraka. Tehnologija je jedna od najstarijih i najpopularnijih aditivnih tehnika. Bila je razvijena 1986. godine od strane Charles Hulla (15). Standardni SLA 3D printer izgrađen je od četiri primarna dijela: kadice u kojoj se nalazi tekući fotopolimer koji je obično prozirna i tekuća plastika, perforirane platforme koja se može za vrijeme printanja lagano pomicati gore i dolje, ultraljubičastog (UV) lasera i kompjuterskoga sučelja koji kontrolira i laser i platformu (16). Cijeli postupak printanja započinje dizajniranjem željenog objekta u CAD sustavu. Nakon toga softver šalje informaciju u sam 3D printer koji započinje s građenjem. UV laser nacrta prvi sloj tako da osvijetli fotosenzitivnu tekućinu. UV laser je kompjutorski kontroliran i kada laser udari u fotosenzitivni materijal osvjetljeni dio se polimerizira. Kada je prvi sloj završen, platforma se pomiče za debljinu jednog sloja. Laser stvrdnjava sljedeći sloj i tako sve dok se objekt u potpunosti ne izgradi. Materijal koji se nije stvrdnuo ostane u kadici i može biti ponovno upotrjebljen. U završnoj fazi platforma digne objekt iz kadice, višak smole se osuši, a sam objekt se dodatno stavlja u UV pećnicu za završnu polimerizaciju. S tim se postiže najbolja stabilnost i čvrstoća predmeta (16). Proces stereolitografije nije jako brz. Laser može jedan sloj crtati do dvije minute. Prosječno je za jedan predmet potrebno od šest do dvanaest sati, a za veće objekte nekad je potrebno i više dana gradnje. Moguće je paralelno građenje više manjih predmeta (17). SLA je jedna od preciznijih aditivnih tehnika, površine predmeta su glatke i moguće je printanje vrlo tankih slojeva (25μm). Nedostatak SLA tehnologije 3D printanja relativno skupa i spora tehnika. Također je potrebna potporna struktura da objekt ne kolabira pod vlastitom težinom (18). Raspon materijala koji se mogu koristiti ograničeni su na fotosenzitivne polimere ta relativno uzak raspon boja (bijelu, sivu, crnu ili proziran materijal).

2.2.1.1. Digitalna svjetlosna obrada

Digitalna svjetlosna obrada (engl. *Digital light processing*, DLP) je tehnika kojoj popularnost raste. Vrlo je slična stereolitografiji. Također djeluje na laserskoj polimerizaciji fotopolimera. Razlika je u tome da kod digitalne svjetlosne obrade postoje mikro ogledalca koja

usmjeruju zrake lasera tako da polimerizira cijeli sloj, a ne samo točku kao u slučaju SLA. Tehnika je vrlo brza i skupa, a mogućnosti u vrsti i boji materijala su ograničene (19).

2.2.2. Injekcijsko printanje

Injekcijsko printanje (engl. *Inkjet printing*) je grupa aditivnih tehnologija čije se djelovanje temelji na odlaganju kapljica sloj po sloj i stvaranju objekta. Razvoj te tehnike započeo je 1990. godine. Printeri su osposobljeni za printanja u jako velikoj rezoluciji izbacivanjem vrlo male kapljice materijala. Materijal se kroz male otvore otpušta pod utjecajem tlaka, topline ili vibracije. Kada se formira prvi sloj, na taj sloj odlažu se nove kapljice koje tvore sljedeći sloj. Bitno je da tinta koja se odlaže u supstrat promjeni fazu u solidnu. U suprotnom slučaju ne bi došlo do ispisa krutog objekta. Ovisno o odloženom materijalu, faza iz tekuće u solidno može se promijeniti pod utjecajem ultraljubičastih zraka, prijenosom topline, kemijskom reakcijom ili sušenjem. Materijali koji se mogu koristiti u ovom načinu izrade su različiti i sežu od vodenih otopina s bojilom do keramike s polimernim vezivom. To je jedina vrsta aditivne tehnike koja omogućuje printanje višebojnih predmeta u cijelom spektru boja (17, 20).

2.2.2.1. *PolyJet* postupak

Tehnika temelji na UV polimerizaciji kapljica koje se otpuštaju iz više mlaznica (17). Postupak je razvijen 2000. godine. Tehnika može koristiti stacionarnu platformu i pomičnu glavu za printanje ili stacionarnu glavu za printanje i pomičnu platformu. Tim postupkom se mogu printati različiti materijali, uključujući smole i voskove za lijevanje, kao i neke gumene materijale slične silikonu. Isprintati je moguće vrlo kompleksne geometrijske strukture i fine detalje rezolucije z osi do 16 μm (14). Princip rada temelji se na otpuštanju materijala kroz stotine mlaznica na dvije *ink-jet* glave. Paralelno se otpušta materijal za potporu i materijal za izradu. Kada se završi print jednog sloja, platforma se spušta za debljinu jednog sloja i započinje printanje drugog sloja. Tijekom printanja svaki sloj se polimerizira pomoću UV zraka i na taj način materijal prelazi u solidnu fazu. Nakon izrade predmeta potrebno je ukloniti sav materijal za potporu. To se može odstraniti ručno, taljenjem u dodatnoj peći ili ukloniti vodom pri tlaku do 40 bara (18). Nekada taj materijal može iritirati kožu. Moguće je istodobno printanje s različitim materijalima i stupnjem tvrdoće (14).

2.2.2.2. *Powder binder* tehnologija

Tehnologija povezivanja praha je vrsta aditivne tehnologije kod koje kapljica pada na sloj praha i na taj način povezuje čestice sloj za slojem (21). Printer ima modificiranu glavu i kadicu s prahom. Iz glave kapa tekućina na tanak sloj praha. Nakon toga novi sloj praha pada preko površine sve dok se printanje ne završi. U ovom slučaju nije potreban potporni materijal zato što neinfiltriran prah pridržava nastalu strukturu. Tekućina koja pada na prah je najčešće obojana voda koja služi kao ljepilo prahu koji je obično silicijev dioksid. Na kraju postupka nastaju pore koje se popunjavaju cijanoakrilatom ili epoksi smolom. To daje dodatnu čvrstoću objektu. Negativna strana je nemogućnost sterilizacije. Sami materijali i strojevi nisu skupi, a definitivno nisu ni jeftini. Proizvodnja je relativno brza, ali rezolucija mala (14).

2.2.3. Laserske aditivne tehnike: selektivno lasersko sinteriranje i selektivno lasersko taljenje

Laserske aditivne tehnike kao što su selektivno lasersko sinteriranje (engl. *Selective laser sintering*, SLS) i selektivno lasersko taljenje (engl. *Selective laser melting*, SLM) temelje se na usmjeravanju jake laserske zrake uz pomoću malih ogledala u supstrat. Na tržištu su od 1992. godine. Supstrat je obično fini metalni prah koji je izravnan valjkom. U području u koje udara laserski snop dolazi do nastanka takozvanog bazena taljenja, čestice praha se spajaju i stvaraju solidnu strukturu . Glava s laserom se pomiče po x i y osi prema informaciji dobivenoj od CAD sustava. Kada se završi skeniranje prvog sloja, sloj s prahom se pomakne za debljinu jednog sloja niže. Novi sloj praha se nanosi i slijedi ponovno skeniranje laserom. Postupak se ponavlja dok objekt nije konačno izgrađen (22). Nakon što se objekt ohladi do sobne temperature, konačno se obrađuje pjeskarenjem i poliranjem. Kod ove metode nije potreban potporni materijal jer oko spojenih čestica materijala ostane dovoljno praha da podupire strukturu i taj prah se može kasnije ponovno koristiti u izradi. Ova metoda je u širokoj uporabi jer omogućava izradu vrlo složenih struktura. Komponente izrađene selektivnim laserskim sinteriranjem znaju biti porozne i zahtijevaju naknadno zagrijavanje, odnosno sekundarno sinteriranje da bi materijal dobio prihvatljive značajke. Zato je došlo do razvoja selektivnog laserskog taljenja gdje se čestice praha u potpunosti tale, a ne samo sinteriraju. Time se eliminira potreba za sekundarnim sinteriranjem i već u prvoj fazi dobivaju potrebna svojstva (20). Terminologija može biti zbunjujuća jer se za gotovo isti postupak upotrebljavaju pojmovi selektivno lasersko sinteriranje i selektivno lasersko taljenje. Razlika je u tome što se kod sinteriranja obrađuju polimeri i keramika, a kod taljenja metali (17). Polimeri korišteni u tom

procesu, npr. poliamidi, polietilen i polikaprolokton, zahtijevaju visoku temperaturu za taljenje i imaju dobra svojstva. Ostali materijali koji se također mogu koristit su elastomeri, najlon s ili bez dodatka metala, kompoziti i polieter-eter-ketoni (PEEK). Materijali koji se mogu taliti uključuju titan, titanske legure, kobalt-krom legure i čelik. Tom aditivnom tehnikom mogu se izrađivati osnovne konstrukcije nošene implantatima, krunice, mostovi i baze djelomičnih proteza. Nedostatci postupka su mala preciznost i lošija kvaliteta površine, zato su i objekti porozni. Oprema i održavanje su skupi i zauzimaju veliku radnu površinu. Neke materijale se teško obrađuje i imaju negativan utjecaj na zdravlje, zato zahtijevaju posebne uvjete rada (npr. zaštitna atmosfera radi pojave otrovnih plinova). Teoretski se u jednom aparatu može taliti, odnosno sinterirati više različitih materijala, ali za to je prije zamjene materijala potrebno u potpunosti očistiti napravu, a to je izuzetno teško. Zbog toga nije preporučljivo izmjenjivati na primjer restaurativni materijal i materijal za implantate zato što se ne može garantirati da su svi ostatci prijašnjeg materijala bili uklonjeni. Nije isplativo posluživati se ovom metodom za izradu malog broja objekata. Dobra strana je da se u velikoj produkciji može simultano isprintati čak 400 do 500 krunica u 24 sata (14).

2.2.4. Fuzijsko depozicijsko modeliranje

Fuzijsko depozicijsko modeliranje (engl. *Fused deposition modelling*, FDM) je vrsta aditivne tehnologije čije se djelovanje temelji na zagrijavanju materijala i njegovu odlaganju sloj po sloj od osnove do vrha objekta, a koristi se od 1999. godine. Prvo se u CAD softveru na računalu dizajnira segment i izračunava putanja istiskivanja termoplastike i potpornog materijala, ako je to potrebno (23). Informacije se pošalju u FDM printer koji ima mobilni ekstruder i stacionarnu platformu ili obrnuto. 3D printer zagrijava materijal i kroz mlaznice ga odlaže na platformu. U slučaju da se printa kompleksnija građa, iz dodatne glave odlaže se i potporni materijal (14). Pri sobnoj temperaturi materijal se brzo učvršćuje, zato je bitno da je cijeli sustav temperaturno kontroliran. Kada se izgradi prvi sloj, platforma se pomiče za debljinu jednog sloja niže i počinje printanje drugog sloja. Ti koraci se ponavljaju dok objekt nije do kraja isprintan. Potporni materijal se na kraju uklanja mehanički ili otapanjem. Materijali moraju nužno biti termoplastični. Materijali koji se koriste su relativno jeftini i možemo birati iz široke lepeze različitih boja i vrsta materijala. Najčešće korišten materijal je biorazgradiv polimer polilaktične kiseline. Također, nekoliko drugih materijala ima primjerenu čvrstoću i toplinska svojstva, npr. polikarbonati, polifenilsulfoni, akrilonitril butadien stiren (ABS) polimer i voskovi. Kao potporni materijal primjenjuje se materijal topiv u vodi (2). Pozitivna strana te tehnike je da je proces vrlo jednostavan, jeftin, brz i ne šteti zdravlju jer se

ne koriste štetne kemikalije i prah. Iako se materijali mogu birati iz široke grupe različitih materijala, moraju biti svi plastični i to je nedostatak te tehnike (14).

2.3. Materijali

Zbog raznolikosti vrsta aditivnih tehnika, za izradu konačne konstrukcije mogu se birati materijali iz širokog spektra. U stomatološke svrhe se kod aditivnih postupaka koriste metali i metalne legure, polimeri (uključujući smole i termoplastične materijale) te keramika.

2.3.1. Metali i metalne legure

Proces 3D printanja metala obično se sastoji od taljenja metalne sirovine, prah ili žica, koristeći izvor energije kao što je laser ili snop elektrona. Rastaljeni metal se odlaže sloj po sloj i preoblikuje u trodimenzionalni objekt. Mogu se izgrađivati proizvodi od različitih vrsta metala i metalnih legura (21). Od plemenitih metala kao što su zlato i srebro do nehrđajućeg čelika i titana. U počecima su se printale nikal-, titan- i kobalt kromove legure. Svojstva takvih legura nisu bila dobra zato što se kao vezivno sredstvo upotrebljavao polimer koji bi bio uklonjen tijekom sinteriranja i nastala bi porozna struktura. Osim samog veziva, slabiju kvalitetu mogla je uzrokovati neupotreba vakuma prilikom taljenja te loša konfiguracija promjera i jačine lasera. Nikal-kromove (NiCr) legure se u stomatologiji više ne upotrebljavaju zbog povećanog postotka preosjetljivosti na nikal. Zato se puno više upotrebljavaju krom-kobalt (CoCr) legure. Pogotovo u vrijeme kad su plemeniti metali za pacijente postali financijski teže dostupni. Osim dostupnije cijene imaju dobre i ostale karakteristike. Npr. veći Youngov modul elastičnosti, veću tvrdoću, nižu gustoću i otpornost na koroziju (24). Titan se najčešće upotrebljava za izradu implantata jer je biokompatibilan, ima visoku čvrstoću i otporan je na koroziju (25). Moguće je sinterirati prašak zlata, srebra, palatija i paladijuma. Smanjivanje otpada ključna je prednost kod printanja skupih plemenitih i titanskih legura (26). Gotovo svi metali mogu se upotrebljavati kod direktnog laserskog sinteriranja metala (DMLS), koje se sve više koristi radi prevladavanja poteškoća s kojima se susrećemo tijekom tradicionalnog lijevanja metala, npr. skupljanja tijekom lijevanja i visoka tvrdoća CoCr tijekom glodanja (24).

2.3.2. Polimeri

Prvi komercijalni 3D sustav stereolitografije koristio je polimere, odnosno tekuće polimere. Većina sustava danas ne koristi samo tekuće polimere, nego tekuće fotopolimere (26). Razlog je njihova niska težina, niska cijena i fleksibilnost obrade. Iako 3D printani polimeri

mogu biti složenih geometrijskih oblika, nedostatak im je krhkost. Kombinacija različitih materijala za postizanje željenih mehaničkih, a i funkcionalnih svojstava omogućuje način rješavanja tih problema. Stoga se zadnjih godina razvija mnoštvo različitih kompozitnih materijala ojačanih česticama i vlaknima (27). Na raspolaganju je više aditivnih tehnika za izradu struktura od polimera, stereolitografija, FDM i injekcijsko printanje. Najčešće upotrebljavana je FDM tehnika za printanje polimerima i termoplastičnim materijalima. Primjeri materijala su akrilonitril butadien strien (ABS) i polimer mliječne kiseline (PLA). ABS ima dobra mehanička svojstva, ali tijekom obrade emitira neugodan miris, dok je PLA ekološki prihvatljiv, ali ima loša mehanička svojstva. (21). Također, jedan od polimera koji se sve češće upotrebljava je polieter-eter-keton (PEEK). To je bezbojan organski termoplastični materijal koji ima gotovo najbolja svojstva među svim termoplastičnim materijalima. Ne apsorbira vodu, antikorozivan je i lako se sterilizira (28).

2.3.3. Keramika

Kroz godine su se proučavale različite metode za proizvodnju keramike. Danas se upotrebljava injekcijsko printanje, FDM, selektivno lasersko sinteriranje i stereolitografija. Injekcijsko printanje se, uz FDM, koristi za spajanje posebno obloženih čestica keramičkog praha. Ta vrsta printanja je prvi izbor za proizvodnju guste keramike, npr. cirkonij oksidna keramika koja ne treba kasniju obradu. Kod te tehnike je bitno da su kontrolirana reološka svojstva i viskoznost suspenzije, da se mlaznica ne bi začepila. Uz cirkonij-oksidnu keramiku tom se aditivnom tehnikom proizvodi i aluminij-oksidna keramika sa visokom gustoćom i čvrstoćom. Svi objekti izrađeni iz navedenih vrsta keramike mogu biti kompleksno oblikovani (21, 24, 29). Klasičnom FDM tehnikom mogu se izrađivati objekti od aluminij-oksidne keramike. Tehnika se temelji na zagrijavanju termoplastične keramičke osnove, koja se kasnije tekuća istiskuje kroz mlaznicu. Upravo napori za pripremu termoplastične keramičke sirovine ograničavaju češću primjenu te aditivne tehnike u izradi keramičkih predmeta (29). Selektivno lasersko sinteriranje je tipična aditivna tehnika gdje se koristi keramički prah ili presinterirana keramika. SLS keramičkog praha uzrokuje nastanak poroznih nekompaktnih struktura koje nisu dovoljne gustoće. Zbog tog razloga se u tom postupku koristi staklokeramika (24, 29). Keramika se može izrađivat i SLA aditivnom tehnikom koja bazira na UV- polimerizaciji suspenzije keramike u polimernom vezivu koja je fotosenzibilna. Zbog specifičnosti izrade u ovom postupku je poželjan keramički prah sa sitnijim česticama zbog boljeg raspršivanja svijetlosti koje uzrokuje bržu polimerizaciju vezača (21, 24, 29). Od vrsta keramike koja se koristi kod SLA su aluminij-oksidna i silicij-oksidna. Monomernoj keramici, npr. silicij-

oksikarbid vrijeme izrade je krače, jer nije potrebno odstranjivanje organskog veziva za razliku od materijala sa keramičkim punilom (23). Iako se mogu aditivnim tehnikama proizvoditi geometrijski jako komplicirane strukture takav način izrade ima i nekoliko negativnih strana kao što su dimenzijska kontrakcija, poroznost i prisutnost stepenica na površini (24, 29, 30).

2.4. Završna obrada

Završna obrada uključuje sve procese koji se provode nakon završenog 3D printanja. Obrada produkta nakon printanja se razlikuje ovisno o aditivnoj tehnici koja se upotrijebila. Završna obrada pridodaje veću kvalitetu konačnom produktu, ali ujedno i povećava trošak i vrijeme izrade. Procese uključene u obradu dijelimo na primarne i sekundarne. Primarni su oni procesi koji su nužni, da bi se proizvod mogao upotrebljavati. To je obično odstranjivanje odnosno uklanjanje potpornog materijala. Postoje dvije skupine materijala: one koji su nusproizvod u gradnji objekta (prirodni nosači) i one koji su dizajnirane i izgrađene za potporu (sintetički nosači). Prirodni nosač je najčešće prah koji može bit uklonjen četkama, zrakom i lakšim pjeskarenjem. Na taj način je neke detalje i male šuplje prostore teže očistiti. Neki procesi koji nemaju prirodne potpore zahtijevaju dodatan materijal i za potporu i za odupiranje izobličenju konačnog objekta. Materijal koji je potrebno odstraniti uobičajeno je napravljen da se topi pri nižoj temperaturi od osnovnog, topi se u određenim otapalima ili se lako odstranjuje ručno. Sekundarni procesi su abrazivne ili aditivne tehnike koje ispravljaju funkciju ili estetiku konačnom predmetu. Među abrazivne se ubrajaju pjeskarenje za glađu površinu i glodanje za oblikovanje težih geometrijskih oblika, a među aditivne spadaju punjenje za bolju kvalitetu i bojanje za ljepši izgled završnog proizvoda (13, 31, 23).

2.5. Primjena u fiksnoj protetici

Primjena aditivnih tehnika je u stomatologiji široka i sve češća. Nije iznenađujuće, da se ti moderni postupci upotrebljavaju i u protetici, jer se s primjenom različitih aditivnih tehnika pojednostavljuje i ubrzava izrada zubnih nadomjestaka. Osim što je zbog digitalizacije manje neugodan postupak za pacijenta, i za stomatologa i tehničara je uvođenje aditivnih tehnika u svakodnevicu pozitivna promjena. Rezultati su brži i precizniji. Zbog različitih materijala se u fiksnoj protetici aditivnim tehnikama mogu izrađivati modeli, privremeni nadomjesci, *mock-upovi,* krunice i mostovi.

2.5.1. Modeli

Uzimanje otisaka je najbitnija faza u stomatološkoj protetici. O točnosti otisaka je kasnije ovisna točnost restauracije i jedan je najvažnijih čimbenika koji određuju dugotrajnost nadomjeska. Sa razvojem digitalne tehnologije je došlo do promjena u uzimanju otisaka i izlijevanju modela (33). Prvo je potrebno skenirat situaciju u ustima ili otisak. Ako želimo fizički model skenirane čeljusti je potrebno preko programa poslat informaciju 3D printeru. Danas nije potrebno svaki put izrađivati fizički model, ali to je nužno ako se restauracija izrađuje konvencionalno. Podaci o modelu pacijenta mogu se digitalno arhivirati i tiskati samo po potrebi, što olakšava zahtjeve za pohranom (14). Postoji nekoliko dostupnih pisača s mogućnostima printanja različitih 3D objekata pomoću aditivnih tehnologija. Najčešći pisači su FDM, pisači na bazi praha, SLS gdje se najlon ili sličan tip termoplastičnog praha lokalno topi pomoću laserske zrake SLA (34). Dobra strana 3D printanih modela je minimalna potrošnja materijala i mogućnost stvaranja višestrukih proizvoda odjednom (33).

2.5.2. Privremeni nadomjesci

Privremeni nadomjesci se svakodnevno izrađuju u stomatološkoj praksi. Nužni su zbog očuvanja funkcije, protekcije pulpe od vanjskih utjecaja i zbog estetike. Za privremene nadomjeske se obično koriste polimerni materijali, koji nemaju zadovoljavajuća svojstva za dugoročnu primjenu. 3D print jedne krune se može izvršiti u samo 10-20min. Stomatolog mora preparirati zub, skenirati ga i informaciju preko softvera poslati u 3D pisač. Tiskani dio se lako odvoji od potpore i odmah zacementira (35).

2.5.3. *Mock-up*

U današnje vrijeme pacijenti još više pridodaju pažnje estetici. S tim razlogom se koristi još jedan dodatan korak u izradi definitivnih nadomjestaka i to je *mock-up*. Vrlo je bitan za pacijentovo razumijevanje konačnog rezultata (36).

2.5.4. Krunice i mostovi

Mostovi su fiksne strukture koje nadomještaju jedan ili više izgubljenih zuba, a krunice samo prekrivaju uništene zube i na taj način štite zub i poboljšavaju njegov izgled. Krunice mogu biti napravljene od metala ili keramike, koja ima boju susjednih zubi i na taj način daje izgled prirodnog zuba. Ovisno o vrsti krunice se odabire između SLS i SLM tehnike (5). Danas korištenje aditivnih tehnika omogućava rezoluciju do 10 mikrona zbog čega su površine glađe

i završna obrada minimalna (37). Aditivne tehnike poput laserskog sinteriranja metala stvaraju gusto sinterirane gotovo bez šupljina i vrlo precizne i detaljne mostove i krune. Tehnike su „čista“ alternativa klasičnim izlijevanju metala, jer su u potpunosti kompjuterski kontrolirane. Aditivnom tehnikom se može napravit čak 20 puta više metalnih krunica i mostova nego klasičnim putem (38). 3D printane keramičke krunice imaju dobru rezoluciju i geometrijsku preciznost i širu mogućnost u odabiru materijala nego direktno sinteriranje (39).

3. RASPRAVA

Stomatologija se sve više okreće digitalizaciji. Nekad su dentalni tehničari puno koraka u izradi zubnih nadomjestaka morali odrađivati ručno, što je zahtijevalo puno vremena. Danas se za sve više koraka koristi računalo i kompjuterski kontrolirani strojevi. U početku su se primjenjivale subtraktivne metode. To su one gdje se iz jednog komada materijala glođe željeni objekt (14). Suprotne metode glodanju su aditivne metode. Tu su moderne tehnologije gdje se materijal dodaje, tj. objekt se gradi sloj po sloj. Iako je Charles Hull započeo s razvojem aditivnih tehnologija prije nekoliko desetljeća, moralo je doći do velikog iskoraka u razvoju da bi se te vrste tehnologija svakodnevno koristile. (24). Za razliku od glodanja, kod aditivnih tehnologija troši se puno manje materijala. Danas se aditivnim tehnologijama izrađuju poluproizvodi i gotovi proizvodi. Ovisno o vrsti aditivne tehnologije, male količine materijala spajaju se polimerizacijom, vezivanjem ili sinteriranjem (40).

Stereolitografija je najstarija aditivna tehnologija. UV zraka je usmjerena u fotosenzitivnu smolu, zato se ta smola polimerizira sloj po sloj i stvara tvrdi objekt. SLA je u današnje vrijeme tehnika kojom se izrađuju vodilice za ugradnju dentalnih implantata, privremene krunice i mostovi. Nije jako brza metoda, ali se može proizvesti više objekata odjednom. Završna obrada u smislu odstranjivanja potpornog materijala nije potrebna, nego je samo bitno potopiti objekt u izopropil alkohol da bi se uklonio višak smole. Površina je glatka, a trošak izrade je relativno visok. Za razliku od fuzijskog depozicijskog modeliranja kod kojeg se objekt izrađuje otapanjem materijala i odlaganjem sloj na sloj, tu je potreban potporni materijal, zato je i završna obrada nužna, a površina objekta nije toliko glatka kao kod SLA tehnologije. Pozitivna strana je što je cijena ove tehnologije niža. Zanimljivo je da se FDM u dentalnim publikacijama nije spomenula za izradu dentalnih nadomjeska, osim kao posrednik za proizvodnju uzorka voska za lijevanje. No to ne znači da se na tome ne radi, nego slučajevi i istraživanja još nisu dosegnuli fazu za objavljivanje (16,17). Za izradu cirkonskih krunica koristi se tehnologija injekcijskog printanja. Objekti izrađeni tom tehnologijom su visoke rezolucije, jer je moguće iz glave printera kapnuti izuzetno male količine tinte koja padne na supstrat i promjeni njegovu fazu. *Polyjet* tehnologija je jedna od vrsta injekcjskog printanja, gdje se fotosenzitivni materijal otpušta iz više mlaznica i polimerizira UV zrakama (17). Negativna strana tog postupka su skupi materijali i česta žilavost potpornog materijala koji se teško odstranjuje, a pozitivna je printanje materijalima različite tvrdoće. Na taj način mogu se izrađivat tiskani predmeti koji imaju i fleksibilne i krute dijelove te dijelove u različitim bojama, npr. štitnik za usta (14, 18). *Powder binder* je još jedna vrsta injekcijske tehnologije kod koje kapljice padaju na sloj praha. Ovom se tehnikom mogu izrađivati studijski modeli i prototipi

nadomjestaka, ali su ti vrlo lomljivi unatoč završnoj obradi. Negativna strana je nemogućnost sterilizacije, zato su objekti gotovo neupotrebljivi u kirurgiji (14). Laserske aditivne tehnike upotrebljavaju jak laser koji tali fine čestice praha metala, polimera ili keramike. Potporni materijal nije potreban, zato je moguće printanje geometrijski kompleksnih struktura. Cijena materijala je visoka. Također, printer je skup jer je zbog jakog lasera potrebna dodatna zaštita. Negativna strana laserskih aditivnih tehnika je, uz cijenu, i gruba površina te rizik za zdravlje jer se prah može inhalirati. U dentalnoj medicini laserske aditivne tehnologije koriste se za izradu studijskih modela, vodiča za dentalne implantate i prototipe (14, 16).

Aditivne tehnologije imaju niz pozitivnih strana. Uz bržu, detaljniju i lakšu proizvodnju nadomjestaka, manje materijala se odbaci i može se istovremeno izraditi više objekata. Unatoč svim tim prednostima ne smijemo zaboraviti i nedostatke. Visoka cijena je jedan od primjetnijih. Nedovoljno znanje i nestručnost može dovesti do neadekvatnog zubnog nadomjeska i može uzrokovati poteškoće u oralnom zdravlju. A ne smijemo zaboraviti ni to da nisu svi materijali prikladni za obradu jednom od vrsta aditivne tehnologije (6).

4. ZAKLJUČAK

Digitalizacija kao dio tehnološke revolucije zahvatila je i dentalnu medicinu. Zato se stomatolozi i zubni tehničari ne smiju držati samo tradicionalne, provjerene metode, nego se moraju obrazovati i postati informatički pismeniji, da bi mogli usvojiti moderan način izrade protetskih radova. Uz već dugo primjenjivanu subtraktivnu tehnologiju, paralelno se počela razvijati i aditivna tehnologija. Kod aditivne tehnologije se, suprotno subtraktivnoj kod koje se materijal glođe od bloka, materijal dodaje sloj po sloj. Primjenjuje se u različitim granama stomatologije, a od materijala se za sada mogu obrađivati metali, polimeri i keramika. Iako ima nekoliko nedostataka, npr. visoka cijena i poteškoće u završnoj obradi nastalih objekata, ne zaboravimo na mnoge prednosti. Najbitnije su preciznost i brzina izrade dentalnih nadomjestaka. Osim toga je i sama digitalizacija procesa izrade nadomjeska jednostavnija i brža za stomatologa, zubnog tehničara, u konačnici i pacijenta. Sve to su razlozi zbog kojih možemo očekivati da će se aditivne tehnologije razvijati u smjeru gdje će imati sve manje nedostataka i gdje će biti konkurentne subtraktivnim metodama.

5. LITERATURA

1. What is Additive Manufacturing? [Internet]. GE Additive. 2019 [cited 29 August 2019]. Available from: https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing
2. T. Wohlers,T. Gornet, History of additive manufacturing, Fort Collins, CO, 2014.
3. Dodziuk H. Applications of 3D printing in healthcare. Kardiochir Torakochirurgia Pol. 2016;13(3):283-293.
4. Nawrat A. 3D printing in the medical field: four major applications revolutionising the industry - Verdict Medical Devices [Internet]. Verdict Medical Devices. 2018 [cited 29 August 2019]. Available from: https://www.medicaldevice-network.com/features/3d-printing-in-the-medical-field-applications/
5. Chen H, Yang X, Chen L, Wang Y, Sun Y. Application of FDM three-dimensional printing technology in the digital manufacture of custom edentulous mandible trays. Sci Rep. 2016;6(1):1-6.
6. Bhargav A, Sanjairaj V, Rosa V, Feng L, Fuh YH J. Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2017;106(5):2058-64.
7. Revilla-León M, Özcan M. Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. J Prosthodont. 2018;28(2):146-58.
8. Salmi M, Paloheimo K, Tuomi J, Ingman T, Mäkitie A. A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: a clinical pilot study. J R Soc Interface. 2013;10(84):20130203.
9. Oberoi G, Nitsch S, Edelmayer M, Janjić K, Müller A, Agis H. 3D Printing—Encompassing the Facets of Dentistry. Front Bioeng Biotechnol. 2018;6:172.
10. Patil M, Kambale S, Patil A, Mujawar K. Digitalization in Dentistry: CAD/CAM - A Review. Acta Scientific Dental Sciences. 2018;2(1):12-16.
11. Susic I, Travar M, Susic M. The application of CAD/CAM technology in Dentistry. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2017;200:012020.
12. S S, Shankari V, Chacko Y. Computer Aided Designing/Computer Aided Manufacturing in Dentistry (CAD/ CAM) – A Review. Int J Curr Res Rev. 2018;10(20):20-4.
13. Gibson I, Rosen D, Stucker B. Additive manufacturing Technologies. 2nd ed. New York: Springer-Verlag New York; 2015.
14. Dawood A, Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. Br Dent J. 2015;219(11):521-9.
15. Stereolithography [Internet]. En.wikipedia.org. [cited 29 August 2019]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography

16. Stereolithography (SLA 3D printing) – Simply Explained | All3DP [Internet]. All3DP. 2019 [cited 29 August 2019]. Available from: https://all3dp.com/2/stereolithography-3d-printing-simply-explained/
17. van Noort R. The future of dental devices is digital. Dent Mater. 2012;28(1):3-12.
18. Marenković N. Primjena suvremenih koncepcija u razvoju proizvoda [završni rad]. Zagreb: Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 2016.
19. Pires R. DLP vs SLA – 3D Printing Technologies Shootout | All3DP [Internet]. All3DP. 2018 [cited 30 August 2019]. Available from: https://all3dp.com/2/dlp-vs-sla-3d-printing-technologies-shootout/
20. Horn T, Harrysson O. Overview of Current Additive Manufacturing Technologies and Selected Applications. Sci Prog. 2012;95(3):255-82.
21. Ngo T, Kashani A, Imbalzano G, Nguyen K, Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. Compos B Eng. 2018;143:172-96.
22. Kim G, Lee S, Kim H, Yang D, Kim Y, Kyung Y et al. Three-Dimensional Printing: Basic Principles and Applications in Medicine and Radiology. Korean J Radiol. 2016;17(2):182-97.
23. Tehnologije 3D Printa i Skeniranja | Stratasys & Izit [Internet]. Izit.hr. [cited 29 August 2019]. Available from: http://www.izit.hr/tehnologije/
24. Barazanchi A, Li K, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell J. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. J Prosthodont. 2016;26(2):156-63.
25. Introduction to Metal 3D printing [Internet]. 3D Hubs. [cited 29 August 2019]. Available from: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing#materials
26. Metal Additive Manufacturing Materials [Internet]. GE Additive. 2019 [cited 30 August 2019]. Available from: https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/metal-additive-manufacturing-materials
27. Wang X, Jiang M, Zhou Z, Gou J, Hui D. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. Compos B Eng. 2017;110:442-58.
28. Ultimate guide: PEEK 3D printing [Internet]. Tractus3D. 2019 [cited 30 August 2019]. Available from: https://tractus3d.com/3d-printing-materials/peek-3d-printing/
29. Scheithauer U, Schwarzer E, Richter H, Moritz T. Thermoplastic 3D Printing-An Additive Manufacturing Method for Producing Dense Ceramics. Int J Appl Ceram Technol. 2015;12(1):26-31.

30. Osman R, van der Veen A, Huiberts D, Wismeijer D, Alharbi N. 3D-printing zirconia implants; a dream or a reality? An in-vitro study evaluating the dimensional accuracy, surface topography and mechanical properties of printed zirconia implant and discs. J Mech Behav Biomed Mater. 2017;75:521-28.
31. 3D Printing: The Impact of Post-Processing [Internet]. Techbriefs.com. 2019 [cited 30 August 2019]. Available from: https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/features/articles/33589
32. 11. Post Processing 3D Printing - Finishing 3D Printed Objects [Internet]. BigRep GmbH. 2019 [cited 30 August 2019]. Available from: https://bigrep.com/post-processing/
33. Jeong Y, Lee W, Lee K. Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. J Adv Prosthodont. 2018;10(3):245-51.
34. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H et al. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. Biomed Eng Online. 2013;12(1):49.
35. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin A, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer C et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. Dent Mater. 2018;34(2):192-200.
36. Cattoni F, Mastrangelo F, Gherlone E, Gastaldi G. A New Total Digital Smile Planning Technique (3D-DSP) to Fabricate CAD-CAM Mockups for Esthetic Crowns and Veneers. Int J Dent. 2016;2016 (1):1-5.
37. 3D Printing in Dentistry [Internet]. GE Additive. 2019 [cited 30 August 2019]. Available from: https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/industries/dentistry
38. Venkatesh K, Nandini V. Direct Metal Laser Sintering: A Digitised Metal Casting Technology. J Indian Prosthodont Soc. 2013;13(4):389-92.
39. Zhang S, Miyanaji H, Yang L, Zandinejad A, Dilip J, Stucker B. An Experimental Study of Ceramic Dental Porcelain Materials Using A 3D Print (3DP) Process. Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference. 2013. p. 991-1011.
40. Von See C, Meindorfer M. 3D printing: Additive processes in dentistry. Laboratory. 2016;5:13-20.

6. ŽIVOTOPIS

Sara Indihar rođena je 9.9.1994. godine u Kranju u Sloveniji. Nakon završene osnovne škole 2009. godine upisuje opću Gimnaziju Kranj, 2013. godine upisuje Stomatološki fakultet u Zagrebu. Diplomirala je 2019. godine. Tijekom studija više godina asistirala je u privatnoj ordinaciji dentalne medicine, aktivno sudjelovala u organizaciji studentskog kongresa i pohađala različite kongrese u Hrvatskoj i inozemstvu.