

3D printanje u dentalnoj medicini

Valentina Kostrić, Lorena Lic¹

doc. dr. sc. Samir Čimić²

[1] studentice šeste godine

[2] Zavod za mobilnu protetiku, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

3D printanje (trodimenzionalni ispis, eng. *3D printing*) je definirano kao način brze izrade prototipova (eng. *Rapid prototyping*) koji se *ispisuju* prikladnim uređajima (3D pisač) odnosno direktno iz 3D CAD (*Computer Aided Design*) programa izrađuju se fizički predmeti u prostoru. Ocem ove tehnologije smatra se Charles W. Hull koji je napravio prvi prototip printera još 1984. godine (Slika 1). Iako je 3D printanje izumljeno još 80-ih godina, zadnjih godina je ušlo u široku upotrebu („od čokolade do medicinskih rekonstrukcija“) te već postoje i 3D printeri za kućnu upotrebu. S obzirom na ubrzan razvoj postoji mnoštvo različitih tehnologija 3D printanja. Moguće je printati različite materijale kao npr. polimere, metal

i keramiku. 3D printani materijali mogu i ne moraju imati određene razlike prema konvencionalnim materijalima – nove tehnologije podrazumijevaju prilagodbu postojećih materijala ili razvitak novih.

U stomatologiji 3D printanje nalazi svoju primjenu u više grana kao što su to protetika, implantologija, maksilofacijalna kirurgija i ortodoncija. Osim kliničke primjene, 3D printer se može koristiti za izradu prekliničkih pomoćnih sredstava za usavršavanje vještina.

Često se postavlja pitanje koja je razlika između tehnike 3D printanja i glodalica. U oba slučaja se koristi softverska podrška kojom se dizajnira rad (CAD – *Computer Aided Design*), no glodalica iz tvornički

izrađenog bloka odabranog materijala izrezuje do konačnog oblika (definiranog CAD-om), dok 3D printer slaže sloj po sloj materijala dok se ne dobije željeni oblik. Slika 2 prikazuje proceduru izrade predmeta prilikom 3D printanja (neovisno da li se radi o stomatološkom radu ili nečem drugom). Kod kliničke primjene (npr. izrada krunica, mostova, proteza itd.) za prikupljanje podataka se koristi skener. Skenirati se može otisak, izliveni model (Slika 3 i 4) (laboratorijski skener) ili čeljust direktno u pacijentovim ustima pomoću intraoralnog skenera. Zatim je potrebno dizajniranje proizvoda u 3D CAD programskom paketu (Slika 5 i 6). Izdizajnirani proizvod se prebacuje u *Standard Tessellation Language (STL)* format (STL datoteka). STL datoteka se prenosi na računalo koje upravlja 3D printerom (Slika 7). Proizvod se 3D printa (Slika 8) i dodatno obrađuje, nakon čega slijedi njegova primjena.



Slika 1. Charles W. Hull (6).



Slika 2. Postupci brze izrade prototipova (11).



Slika 4. Skeniran radni model (ljubaznošću doc. dr. sc. Samira Čimića)



Slika 5. Dizajniranje skeleta djelomične proteze na digitalnom modelu (1).



Slika 3. Laboratorijski skener (ljubaznošću doc. dr. sc. Samira Čimića).



Slika 6. Dizajniranje metala (ljubaznošću doc. dr. sc. Samira Čimića).



Slika 7. Konačni oblik željenog rada (metal, STL datoteka) (ljubaznošću doc. dr. sc. Samira Čimića).



Slika 8. Printani metal (krunice i mostovi) (ljubaznošću doc. dr. sc. Samira Čimića).

Postoji više načina 3D printanja koje ovise o samoj tehnologiji i materijalu koji se printa kao npr. stereolitografija (SLA, *stereolithography*), selektivno lasersko taljenje (SLM, *Selective Laser Melting*), PBP (*Plaster-Based 3D Printing*), PJ (*Photopolymerjetting*), DLP (*Digital Light Processing*) itd. Treba napomenuti da se dosta (novih) pojmova preklapa i/ili označava iste ili slične tehnike s minimalnom razlikom, kao i da različiti proizvođači iste tehnologije nazivaju drugačije. Pored toga i dalje se ubrzano razvijaju nove tehnologije i materijali za 3D printanje. Stoga, iako se 3D printanje puno koristi u stomatologiji za očekivati je i sve veću upotrebu.

- SLA (*Stereolithography*) - koristi pokretna ogledala za usmjeravanje UV zrake koja spaja površinske slojeve unutar spremnika koji sadrže tekuću smolu.
- DLP (*Digital Light Processing*) - slično SLA, osim što koristi *Digital Micromirror Device*™ (*Texas Instruments, Dallas, TX, USA*) umjesto pokretne zrake.
- PJ (*Photopolymerjetting*) - uključuje ispuštanje fotoreaktivnog polimera koji se spaja UV svjetlom.
- PBP (*Plaster-Based 3D Printing*) - tehnologija koja pomoću glave printera raspršuje vezno sredstvo na površinu čestica praha.

- SLS (*Selective Laser Sintering*) - spaja slojeve čestica različitih materijala (metala, keramike ili polimera) uz pomoć laserske zrake.

SLA (*Stereolithography*)/DLP(*Digital Light Processing*)

Stereolitografija(SLA) je jedna od prvih aditivnih tehnologija čiji se rad temelji na usmjeravanju laserske UV zrake pomoću pokretnih ogledala na radnu platformu i spremnik koji sadrži tekući polimer (fotopolimer) (Slika 9). Računalo upravlja procesom polimerizacije putem STL datoteke (dizajnirani konačni oblik rada). Radi se o konverziji fotopolimera iz tekućeg u kruto stanje pod utjecajem usmjerene UV zrake (Slika 10). Nakon polimerizacije sloja radna platforma unutar spremnika materijala se spušta (za debljinu sloja materijala), čime polimerizirani sloj prekriva tekući (nopolimerizirani) polimer, a proces se nastavlja polimerizacijom slijedećeg sloja. Polimerizira se sloj po sloj do konačnog oblika rada. Slijedi ispiranje tekućim otapalom i polimerizacija pod UV lampom (kako bi se završio proces polimerizacije). Debljina sloja, tj. preciznost, ovisi o standardu printera, a iznosi od 15 do 150 µm.

DLP (*Digital Light Processing*) je tehnologija 3D printanja jako slična SLA

(negdje se spominje i kao podvrsta SLA). Izvor svjetlosti nije laserska zraka već *Digital Light Processing* projektor. Njegova glavna komponenta je *Digital Micromirror Device* uređaj koji putem mnoštva individualnih zrcala omogućuje digitalnu projekciju potrebnu za polimerizaciju fotopolimera. Predmet/rad se izrađuje uzdizanjem platforme (naspram spuštanja kod SLA). Brži je i troši se manje materijala u odnosu na SLA.

PJ (*Photopolymerjetting*)

Kao i SLA/DLP Photopolymerjetting tehnika koristi fotopolimere (polimeri, voskovi, gumasti materijal na bazi silikona). Princip rada je sličan inkjet printerima. Ispisna glava/glave printera polažu sloj fotopolimera na radnu platformu, koji se polimerizira sa svakim prolaskom glave. Kod konstrukcije printera moguća je kombinacija stacionarne radne platforme uz dinamičku radnu glavu, ili obratno. Naspram SLA/DLP tehnike moguća je kombinacija različitih materijala i boja istovremeno čime se još više povećavaju mogućnosti ispisa i uporabe.

Spomenute tehnike SLA/DLP i PJ se najviše koriste kod izrade modela (Slika 11-14), individualnih žlica, privremenih radova (Slika 15), udlaga, ortodontskih retainera



Slika 9. Tekući fotopolimer za 3D printanje (ljubaznošću doc.dr.sc. Samira Čimića).



Slika 10. SLA (7).



Slika 11. 3D printani model (ljubaznošću doc.dr.sc. Samira Čimića).



Slika 12. 3D printanigeller model (ljubaznošću izv.prof.dr.sc. Nikše Dulčića).



Slika 13. 3D printanigeller model (ljubaznošću izv.prof.dr.sc. Nikše Dulčića).



Slika 14. Konačan rad (cirkon-keramika) na 3D printanomgeller modelu (ljubaznošću izv.prof.dr.sc. Nikše Dulčića).

i kirurških vodilica (Slika 16). U zadnje vrijeme je omogućena i izrada 3D printane baze proteze (Slika 17). Naspram modela, individualnih žlica i provizorija, printana baza proteze se još ne koristi previše u praksi. Najveći problem je što se zubi spajaju s bazom proteze na klasični način (topla ili hladna polimerizacija). Postoji mogućnost printanja cijele proteze *Photopolymerjetting* tehnologijom (Slika 18), međutim još ne postoje licencirani materijali za korištenje u ustima kroz duži period. Koristi se i 3D printanje voštanog predloška (koji se onda lijeva klasičnim putem) – izrada skeleta djelomične proteze ili metala fiksno protetskih radova.

SLS (*Selective Laser Sintering*)/SLM (*Selective Laser Melting*)

Iako se termin „sinteriranje“ (okrupnjavanje čestica materijala povišenjem temperature do temperature površinskog taljenja) i taljenje razlikuju, selektivno lasersko sraščivanje („sinteriranje“) (SLS) i selektivno lasersko taljenje (SLM) su u načelu iste tehnike 3D printanja. Ipak, u literaturi se termin SLS više veže uz nemetale (keramika i polimeri), dok se SLM više spominje uz metale. SLS/SLM imaju veliku primjenu u dentalnoj medicini, osobito u protetici gdje se koriste u izradi fiksno protetskih radova

(metalna osnova) i skeleta djelomičnih proteza. Najviše se koristi Co-Cr legura, a moguće je i printanje titana i čelika. Moguće je printanje 400-500 krunica unutar 24 sata na jednom printeru.

Rad SLS/SLM sustava temelji se na spajanju slojeva metalnog praha pomoću laserske zrake. Sam postupak izrade kreće dizajniranjem 3D formata željenog objekta u CAD sustavu, te se putem STL datoteke prebacuje u SLM uređaj. Metalni prah, koji je smješten u plastičnom spremniku, prolazi kroz cijev do sita i distribucijske jedinice koje doziraju točno određenu količinu praha koja je potrebna za svaki sloj. Lasersku zraku proizvode laserske jedinice koje se putem optičkih kabela transportiraju u optičku jedinicu unutar koje se nalaze leće, koje optimiziraju širinu laserske zrake i ogledala koja usmjeravaju zraku. Laserske zrake proizvode toplinu za sinteriranje/ taljenje čestica praha i formiranje sloja. Zraka udara o sloj metalnog praha i sabija njihove čestice. Nakon toga slijedi novi sloj metalnog praha, a gradivna jedinica pomiče se niže za debljinu jednog formiranog sloja. Nakon završetka cijelog procesa ostatak neiskorištenog praha se uklanja. Na taj način dobiveni proizvod izrađen je sloj po sloj (Slika 19). Bilo da se radi metalna osnova krunica i mostova ili

metalna baza proteze slijedeće faze rada su identične konvencionalnim (znači potreban je radni model dobiven izlivanjem ili printanjem kako bi se rad mogao završiti).

Prednosti i nedostaci

Za razliku od aditivnih tehnika, konvencionalne tehnike izrade uključuju više koraka čime se povećava mogućnost pogreške. Pogreške se mogu javiti tijekom bilo koje faze izrade: od otiska, izlivanja modela, dubliranja do ulaganja i lijevanja. SLM tehnika izrade ne uključuje većinu ovih koraka ili su oni izrađeni digitalno te je na taj način znatno reducirana mogućnost pogreške. Preciznost ovako izrađenih radova je iznimno velika, a digitalno planiranje omogućuje izradu i najsitnijih detalja. Također, kod tradicionalnih tehnika javljaju se dimenzijske promjene koje dovode do nesavršenosti rada i veće potrošnje materijala koja aditivnom tehnikom može biti smanjena i do 40 %. Mehanička svojstva i otpornost na koroziju nadomjestaka izrađenih SLM tehnikom su jednaka ili čak bolja od onih izrađenih konvencionalno. Osim toga, dizajnirani objekt ostaje spremljen u računalu pa ukoliko se ukaže potreba za ponavljanjem, možemo to učiniti bilo kada bez ponovnog uzimanja otisaka. 



Slika 15. 3D printani model (*Photopolymerjetting*) (ljubaznošću doc.dr.sc. Samira Čimića).



Slika 16. Prototip „all on four“ mosta (ljubaznošću izv.prof.dr.sc. Nikše Dulčića).



Slika 19. 3D printana cijela proteza



Slika 17. Kirurška vodilica (3D printana) (ljubaznošću doc.dr.sc. Samira Čimića).



Slika 18. 3D printana baza proteze (12).

LITERATURA

1. Rist K, Ćimić S. Selective Laser Melting Technique in Fabrication of Partial Denture Metal Framework. *RJPBC* 2016;7:2039-43.
2. Shah P, Chong BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. *Clin Oral Invest* 2018;22:641-54.
3. Guo N, Leu MC. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Front Mech Eng* 2013;8:215-43.
4. Koutsoukis T, Zinelis S, Eliades G, Al-Wazzan K, Al Rifaiy M, 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* 2015;24:303-12.
5. Alharbi N, Wismeijer D, Osman RB. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *Int J Prosthodont* 2017;30:474-84.
6. 3D PRINT.COM. The Voice of 3D Printing/ Additive Manufacturing. [Internet]. Available from: <https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/>, [download 2018 Oct 18].
7. 3D Printing Studios. [Internet]. Available from: <https://www.3dprintingstudios.com/product/asia-form2/>, [download 2018 Oct 18].
8. METAL AM. [Internet]. Available from: <https://www.metal-am.com/slm-solutions-beamit-agree-multi-machine-deal/>, [download 2018 Oct 18].
9. Revilla-León M, Özcan M. Additive Manufacturing Technologies Used for Processing Polymers: Current Status and Potential Application in Prosthetic Dentistry. *J Prosthodont* 2018;doi: 10.1111/jopr.12801. [Epub ahead of print].
10. Dawood A, Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015;219:521-9.
11. Šimunić N, Benić Z, Brozović M. Postupci brze izrade prototipova. *Zbornik*
12. Veleučilišta u Karlovcu 2013; 1:49-56.
13. Micron Dental. [Internet]. Available from: <https://www.microndental.com/resins/nextdent-denture-base-material>. [download 2018 Nov 11].