

Digitalni protokol intraoralnog skeniranja i 3D printanja potpuno ozubljene čeljusti - prikaz slučaja

Meščić, Dijana

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:127:938319>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-20**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
Stomatološki fakultet

Dijana Meščić

**DIGITALNI PROTOKOL INTRAORALNOG
SKENIRANJA I 3D PRINTANJA
POTPUNO OZUBLJENE ČELJUSTI -
PRIKAZ SLUČAJA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.

Rad je ostvaren na Zavodu za mobilnu protetiku Stomatološkoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor rada: doc. dr. sc. Maja Žagar, Zavod za mobilnu protetiku, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Bojan Macan, prof.

Lektor engleskog jezika: Katarina Stojković, mag. educ. philol. angl.

Rad sadrži: 34 stranice

0 tablica

13 slika

Rad je vlastito autorsko djelo koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu 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

Zahvaljujem mentorici doc. dr. sc. Maji Žagar na pomoći i strpljenju tijekom pisanja diplomskog rada te prof. Dubravki Knezović-Zlatarić na pomoći prilikom izrade praktičnog dijela rada.

Posebno hvala mojim roditeljima na motivaciji i ljubavi koju su mi pružili tijekom svih godina školovanja te sestri i bratu na svom prenesenom znanju iz kemije i fizike.

DIGITALNI PROTOKOL INTRAORALNOG SKENIRANJA I 3D PRINTANJA POTPUNO OZUBLJENE ČELJUSTI - PRIKAZ SLUČAJA

Sažetak

Razvoj tehnologije računalom potpomognutog oblikovanja / računalom potpomognute proizvodnje (CAD-CAM, eng. *Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing*) doveo je do napretka u području dentalne medicine. Izumom intraoralnih skenera osamdesetih godina prošlog stoljeća promijenio se način rada u stomatološkoj ordinaciji. Njihovom primjenom se stanje u usnoj šupljini prenosilo u digitalni oblik stvaranjem optičkog otiska. Intraoralni skeneri polagano zamjenjuju konvencionalne metode otiskivanja, a metoda trodimenzionalnog (3D) printanja unosi promjenu u tradicionalni rad dentalnih tehničara. Umjesto tradicionalnog izlivanja modela od gipsa, tehničari mogu jednostavno isprintati 3D model ozubljene čeljusti koristeći datoteku standardnog teselacijskog jezika (STL, eng. *Standard tessellation language*) koja je stvorena intraoralnim digitalnim skeniranjem. Materijali koji se mogu 3D ispisivati su polimeri, keramika i metali. Postoje razne metode 3D printanja od kojih je najstarija i često korištena metoda stereolitografije (SLA). 3D printanje se može koristiti za izradu dentalnih modela, ali i za izradu kirurških vodilica u kirurgiji, izradu protetskih nadomjestaka, ortodontskih alignera i bravica te izradu materijala za obučavanje u pretkliničkim vježbama.

Ključne riječi: intraoralni skeneri, optički otisak, 3D printanje, SLA

DIGITAL PROTOCOL OF INTRAORAL SCANNING AND 3D PRINTING OF A MODEL OF COMPLETELY DENTULOUS JAWS - A CASE REPORT

Summary

With the development of Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) technology, dental medicine has improved. With the invention of intraoral scanners in the 80s of the last century, the principle of work in the dental office changed. Intraoral scanners are devices that can transfer the state of the oral cavity into digital form by creating an optical impression. Intraoral scanners are slowly replacing conventional printing methods, and the three dimensional (3D) printing method is changing the traditional work of dental technicians. Instead of traditional plaster casting, technicians can simply print a 3D model of the toothed jaw using an STL file created from an intraoral digital scan. Materials that can be 3D printed are polymers, ceramics and metals. There are various methods of 3D printing, of which the oldest and commonly used method is stereolithography (SLA). 3D printing can be used for the creation of dental models, but also for the creation of surgical guides in surgery, the creation of prosthetic replacements, orthodontic aligners and brackets, and the creation of training materials in preclinical exercises.

Keywords: intraoral scanning, optical impression, 3D printing, SLA

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Intraoralni otisci	2
1.1.1. Otisci.....	2
1.1.2. Definicija intraoralnih skenera	3
1.1.3. Metode nastajanja slike.....	3
1.1.4. Točnost intraoralnih skenova	4
1.1.5. Prednosti	5
1.1.6. Nedostaci	6
1.2. 3D printanje	7
1.2.2. Metode i materijali	8
1.2.3. Naknadna obrada	11
1.2.4. Primjena	11
2. PRIKAZ SLUČAJA	14
2.1. Priprema prije skeniranja.....	15
2.2. Skeniranje gornje čeljusti	15
2.3. Skeniranje donje čeljusti.....	18
2.5. Završetak skeniranja	20
2.6. Izrada virtualnog modela zubi gornje i donje čeljusti	20
2.7. 3D printanje modela.....	21
3. RASPRAVA.....	26
4. ZAKLJUČAK	30
5. LITERATURA	32
6. ŽIVOTOPIS	35

Popis skraćenica

ABO - Američki odbor za ortodonciju (eng. *The American Board of Orthodontics*)

CAD - računalom potpomognuto oblikovanje (eng. *Computer Aided Design*)

CAD/CAM - računalom potpomognuto oblikovanje/računalom potpomognuta proizvodnja (eng. *Computer aided design/Computer aided manufacturing*)

CT - kompjuterizirana tomografija

FDM - fuzijsko depozicijsko taloženje (eng. *Fused deposition modeling*)

PEEK - poli(eter-eter-keton)

PBM - metoda vezanja praha (eng. *Powder binder method*)

PLY - poligon format datoteke (eng. *Polygon file format*)

PSI - implantat specifičan za pacijenta (eng. *Patient specific implant*)

SLA - stereolitografija

SLS - selektivno lasersko sinteriranje (eng. *Selective laser sintering*)

STL - standardni teselacijski jezik (eng. *Standard tessellation language*)

sur. - suradnici

UV - ultraljubičasto

VAS - vizualna analogna ljestvica (eng. *Visual analog scale*)

3D - trodimenzionalno

1. UVOD

Svrha ovog diplomskog rada je prikazati digitalni protokol za skeniranje ozubljene čeljusti intraoralnim skenerom i 3D printanje modela zubi. U diplomskom radu će biti pobliže opisane tehnologije intraoralnog skeniranja i 3D printanja, njihove metode, prednosti i primjene.

1.1. Intraoralni otisci

1.1.1. Otisci

Gotovo u svim granama stomatologije je potrebno uzimanje otisaka. U konvencionalnoj metodi uzimanja otisaka, žlica za otisak (metalna ili napravljena od polimerizirajućeg materijala) se puni s otisnom masom i unosi se u usta pacijenta. Pacijent zagriža u otisnu masu i zadržava taj položaj određeni broj minuta, dok se otisna masa ne stvrdne, ovisno o materijalu koji se koristi.

Kada se otisna masa u potpunosti stvrdne, pažljivo se izvlači iz usta kako se otisak ne bi oštetio. Otisak se dezinficira i šalje u dentalni laboratorij gdje ga tehničar prima kao negativ stanja u usnoj šupljini. Kako bi dobio pozitiv stanja u usnoj šupljini, tehničar puni otisak gipsom ili smolom koji se stvrdnjavaju. Nedostaci ove metode su loša dimenzijska stabilnost određenih otisnih materijala, smanjivanje dimenzija pri stvrdnjavanju gipsa i opasnost od oštećenja tijekom transporta (1,2). Alternativa ovoj metodi je optički otisak napravljen intraoralnim skenerom. Intraoralni skener je uređaj koji može zabilježiti stanje u oralnoj šupljini bilježeći veliki broj slika i obrađujući ih u računalnom programu (2).

Korištenjem intraoralnih skenera eliminira se veliki broj koraka pri uzimanju otiska (odabir i proba žlice, priprema žlica, miješanje materijala za otisak, stvrdnjavanje otisnog materijala, dezinfekcija otiska) i izradi modela zuba (slanje u zubotehnički laboratorij, ulijevanje materijala za izradu modela i stvrdnjavanje) pa se znatno skratilo vrijeme potrebno za izradu otisaka u stomatologiji.

Mogućnost uzimanja optičkog otiska prvi je spomenuo Dr. François Duret, koji se smatra ocem moderne dentalne medicine. On je bio prvi koji je 1983. godine uspješno izradio krunicu na zubu koristeći tehnologiju računalno potpomognutog dizajna (CAD) (2).

Razvojem kroz godine, intraoralni skeneri su poboljšani i smanjile su im se dimenzije što ih je učinilo puno ugodnijim za korištenje pacijentu i stomatologu, posebno za skeniranje udaljenih zubi (drugih i trećih molara) (1,2).

1.1.2. Definicija intraoralnih skenera

Intraoralni skeneri su medicinski uređaji koji se sastoje od kamere koja se drži u rukama, računala i računalnog programa. Svrha intraoralnih skenera je precizno snimiti trodimenzionalnu geometriju objekta. Najčešće korišteni digitalni format je STL. Ovaj format koristi niz trokutastih površina gdje je svaki trokut definiran s 3 točke i površinom. Koriste se i drugi formati koji su se razvili kako bi se zabilježila boja, prozirnost ili tekstura dentalnih tkiva (npr. *Polygon file format*, PLY). Bez obzira na način snimanja, svi skeneri funkcioniraju tako da projiciraju svjetlo na tkivo, koje se zatim bilježi kao pojedinačna slika ili video. Nakon toga, računalo zapisuje podatke nakon prepoznavanja točaka interesa. Prve dvije koordinate (x i y) se stvaraju na slici, a treća koordinata (z) se računa ovisno o udaljenosti od kamere (3).

Postoji više podjela intraoralnih skenera: po principu nastajanja slike, po otvorenosti/zatvorenosti sustava i po potrebi za korištenjem praha za opaktnost.

Postoje otvoreni i zatvoreni sustavi. Otvoreni su oni sustavi koji koriste standardne formate slika, primjerice STL, i omogućuju da se slika nastala jednim sustavom intraoralnih skenera otvori u programu nekoga drugoga sustava. S druge strane, zatvoreni su sustavi oni kod kojih određeni program prepoznaje samo svoj odgovarajući format skenirane slike (4).

Neki skeneri zahtijevaju upotrebu opaktnog praha, poput praha titanijeva dioksida ili cirkonijeva oksida. Prozirni dijelovi zuba i restaurativnih materijala mogu raspršivati svjetlo u smjerovima koji nisu pogodni za skeniranje. Prah, u sloju debljine od 20-40 mikrometara (3), se nanosi na površine zuba prije skeniranja kako bi osigurao jednakomjerno raspršivanje svjetlosti i time povećao točnost skeniranja (5). Međutim, nanošenje praška u jednakom sloju može biti zahtjevno i prašak može biti neugodan za pacijenta (4). Također, moguće je dodatno produljenje trajanja postupka u slučaju kontaminacije praška slinom kada je potrebno u potpunosti ga otkloniti i ponovo ga aplicirati (6).

1.1.3. Metode nastajanja slike

Intraoralni skeneri se mogu podijeliti po metodama nastajanja slike na one koje koriste princip triangulacije, konfokalnog laserskog skeniranja i aktivnog testiranja valne fronte.

Triangulacija

Na površinu zuba se projiciraju zrake svjetlosti. Zraka svjetlosti se reflektira nazad na senzor i mjeri se udaljenost između projicirane zrake i reflektirane zrake. Kako je poznat kut između projektora zrake i senzora, udaljenost skenirane točke na zubu se može izračunati pomoću Pitagorinog poučka, jer je poznata duljina jedne stranice i jednog kuta trokuta. Zbog toga se princip naziva triangulacija.

Konfokalno lasersko skeniranje

Laserska zraka se projicira na objekt koji se skenira. Koristeći uređaj za razdvajanje snopa, reflektirana laserska zraka se navodi kroz žarišni filter tako da jedino slika koja se nalazi u žarištu leće se može projicirati na senzor. Kako je poznata žarišna duljina, udaljenost skeniranog dijela objekta je poznata jer odgovara žarišnoj daljini. Da bi se skenirao cijeli objekt, leća se pomiče gore i dolje, svaki put projicirajući novi dio objekta na senzor.

Aktivno testiranje valne fronte

Slika koja se reflektira sa zuba je vođena kroz sustav leća i projicirana na senzor. Ako je slika u fokusu, to znači da je udaljenost predmeta istovjetna žarišnoj duljini leće. Ako je slika izvan fokusa, udaljenost predmeta od leće se može izračunati iz veličine mutne slike predmeta kroz jednostavnu matematičku formulu (7).

1.1.4. Točnost intraoralnih skenova

Točnost intraoralnih skenera se u literaturi obično opisuje s dva neovisna čimbenika: istinitošću i preciznošću. Istinitost (*trueness*) označava stupanj varijacije između oblika koji je zabilježen testiranom metodom uzimanja otiska i originalne geometrije (primjerice uspoređivanje digitalnog otiska i njegovog anatomskog modela). Preciznost mjeri opseg varijacija ili devijacija između otisaka unutar određene testne grupe (npr., u grupi u kojoj se uspoređuju razni digitalni otisci).

Na točnost intraoralnih skenera utječe mnogo čimbenika. Neki su vezani za kliničara koji izvodi skeniranje kao što su njegov stupanj vještine, iskustvo, obuka, udaljenost i angulacija skenera koji koristi te redoslijed skeniranja. Neki su čimbenici vezani za pacijenta kao što su njihov stupanj kooperativnosti, stanje u usnoj šupljini, materijal i lokacija raznih preparacija koje trebaju biti skenirane. Tehnika skeniranja i svjetlosni uvjeti u ordinaciji također utječu na preciznost skena. Naravno, i elementi vezani za sam

skener, poput stanja hardvera, verzije softvera i rezolucija skeniranja, utječu na sveukupnu djelotvornost skenera (8).

Većina istraživanja navodi da je točnost intraoralnih skenera jednaka ili viša od točnosti konvencionalnog otiskivanja (9). Abduo i suradnici (sur.) su objavili pregledni članak u kojem su analizirali 32 studije koje su provjeravale točnost različitih intraoralnih skenera za uzimanje dentalnih otisaka te su analizirali čimbenike koji su utjecali na uspješnost skeniranja. Primjetili su da je skeniranje cijelog zubnog luka bilo više sklono devijacijama u usporedbi sa skeniranjem samo dijela zubnog luka (10).

1.1.5. Prednosti

Prednosti intraoralnih skenera su da je moguće odmah vidjeti pogreške koje su nastale u digitalnom otisku te ih ispraviti bez potrebe da se ponovo uzima cijeli otisak. Također, moguće je i selektivno skeniranje, to jest skeniranje samo područja gdje se nalazi pogreška (4).

Nakon uzimanja digitalnog otiska, doktor dentalne medicine ga može odmah poslati zubnom tehničaru putem e-maila i tehničar može provjeriti je li digitalni otisak dovoljno detaljan. U slučaju da otisak nije zadovoljavajuće kvalitete, to može odmah javiti doktoru dentalne medicine i zatražiti izradu novog otiska dok je pacijent još u uvijek u stolici. Time se eliminira potreba za ponovnim dolaskom pacijenta u slučaju neodgovarajućeg otiska (4).

Kako je digitalne modele moguće poslati u nekoliko sekundi koristeći internet, omogućena je brza komunikacija sa zubotehničkim laboratorijima. Ovime se smanjuje vrijeme koje bi inače bilo potrebno za izradu modela od gipsa te troškovi za prijevoz i dostavu modela (9).

U maksilofacijalnoj protetici je otežano uzimanje preciznog otiska jer je pacijent pod psihološkim pritiskom ili osjeća bolove. Maksilofacijalni pacijenti često kao postoperativnu komplikaciju imaju trizmus koji dodatno otežava uzimanja preciznog otiska (11). Kako bi se prevladao ovaj problem mogu se koristiti slikovne metode uzimanja otiska.

Rizik od infekcije je smanjen zato što je vršak za skeniranje intraoralnog skenera pogodan za sterilizaciju u autoklavu. Pri konvencionalnom uzimanju otiska žlica za otiskivanje se sterilizira te ju je potrebno očistiti od ostatka otisnog materijala nakon otiskivanja. Otisni materijal je kontaminiran raznim mikroorganizmima koji se nalaze u

pacijentovoj usnoj šupljini i zbog toga otisni materijal može biti izvor zaraze u stomatološkoj ordinaciji i zubotehničkom laboratoriju (9).

Prednost digitalnih otisaka je i ta što ne zahtijevaju prostor za pohranu te im se svojstva im se ne pogoršavaju s vremenom kao kod konvencionalnih otisaka. Mogu biti pohranjeni dugoročno kao digitalne datoteke i korisnici im mogu lako pristupiti bilo kad čak i sa udaljene lokacije. Smanjuje se trošak i stvaranje viška materijala jer se ne koriste otisni materijali i gips. Pohranjeni podaci o stanju zubi pacijenta bi se mogli iskoristiti kasnije za proizvodnju restauracija zuba u slučaju oštećenja u budućnosti. Spajanjem podataka dobivenih intraoralnim skeniranjem sa skenom lica ili slikom nastalom kompjuteriziranom tomografijom (CT) omogućuje se lakše planiranje terapije implantatima. Također, neki skeneri imaju ugrađenu mogućnost detekcije karijesa i pomažu u detekciji aproksimalnog, okluzalnog i sekundarnog karijesa kao i pukotina na površini zuba koristeći svjetlo slično infracrvenom (9).

Korištenjem intraoralnih skenera u školama ili velikim zajednicama bi se mogla prikupiti velika količina podataka koja bi se mogla koristiti za epidemiološka istraživanja vezana za pojavnost karijesa ili stanja mekih zubnih tkiva.

Zubni kartoni su bitno sredstvo za identifikaciju nepoznatih osoba, npr. ljudi žrtava katastrofa ili starijih ljudi s demencijom. Korištenjem intraoralnih skenera mogla bi se brzo stvoriti baza podataka kojoj bi se moglo pristupiti i naći odgovarajuću osobu (9).

1.1.6. Nedostaci

Kao najveći nedostatak intraoralnih skenera uvijek se ističe njihova visoka cijena i veliko početno ulaganje. Nedostatak je što zahtijevaju i dodatno obučavanje stomatologa, dentalnih asistenata i dentalnih tehničara (9).

Također, prisutnost tekućine poput sline u usnoj šupljini može izazvati pogrešku u otisku jer će stvoriti optičku refrakciju pa je potrebno paziti da se održi suho radno polje (9).

Neki proizvođači drže podatke potrebne za skeniranje u zatvorenom oblaku i naplaćuju korisnicima pristojbe za optičke otiske. Drugi zahtijevaju uplatu dodatnih pristojbi za ažuriranje softvera ili godišnju pretplatu.

Problem s kojim se stomatolozi često susreću tokom intraoralnog skeniranja je skeniranje dubokih linija preparacije na brušenim zubima, posebno u estetskim zonama

koje zahtijevaju smještanje margina subgingivno. Za razliku od klasičnih otisnih materijala, svjetlo ne može odmaknuti gingivu i prikazati područja ispod nje. Kao rješenje ovog problema mogu se koristiti retrakcijski konci koji će odmaknuti gingivno tkivo i prikazati granicu preparacije (4).

Iako su intraoralni skeneri pogodni za skeniranje i izradu kraćih protetskih radova, istraživanja su pokazala da u slučaju izrade radova od 5 i više članova, intraoralni skeneri za sada ne pokazuju dovoljnu preciznost i prednost se daje otiskivanju s klasičnim metodama (4).

1.2. 3D printanje

1.2.1. 3D printanje

Otac tehnologije 3D ispisa je Charles D. Hull koji je već 1984. stvorio prvi prototip 3D pisača. Godine 1986. je patentirao princip stereolitografije i sastavio prvi 3D printer. Godine 1990. Scott Crump je patentirao metodu fuzijskog deponiranja modela. Od tada se 3D printanje ubrzano razvija (12).

Tehnologija 3D printanja u svrhu volumetrijskog stvaranja objekta postoji već nekoliko desetljeća i počela se primjenjivati u stomatologiji kao zatvoren sustav kao CEREC (Dentsply Sirona), ali se u zadnjih 20 godina sve više koriste otvoreni sustavi koji omogućuju komunikaciju više odvojenih komponenti. To je omogućilo da se više uređaja za 3D skeniranje (intraoralni skeneri, CT-i, uređaji za magnetsku rezonancu) koriste za stvaranje i prijenos slika u uređaje za printanje. Većina intraoralnih skenera može proizvesti datoteke u STL formatu koji se može koristiti za printanje koristeći SLA. SLA je često korištena metoda za printanje, ali mogu se koristiti i druge metode, kao, primjerice, metode fuzijskog depozicijskog taloženja (FDM, eng. *Fusion deposition modeling*) i selektivnog laserskog sinteriranja (SLS, eng. *Selective laser sintering*) (13).

3D printanje je aditivna metoda proizvodnje što znači da se predmet stvara tako da se materijal polaže uzastopno sloj po sloj. Svaki od ovih slojeva se može predočiti kao tanko narezan poprečni presjek budućeg predmeta.

Suprotnost ovome je suptraktivna metoda, proces kojim se komad plastike ili metala reže ili brusi glodalicom. 3D printanje omogućuje stvaranje predmeta koji imaju

složeniji dizajn i oblike koristeći manje materijala. Prednosti 3D printanja u odnosu na suptraktivnu metodu su veća preciznost i stvaranje manje količine viška materijala (14). Dok su prednosti tehnike glodanja manja cijena opreme, manja naknadna obrada, brza proizvodnja i jednostavnost u korištenju intrinzično homogenih materijala (15).

1.2.2. Metode i materijali

Stereolitografija

Koristi se laser koji skenira kako bi gradio objekt sloj po sloj, u kadici napunjenoj svjetlosnopolimerizirajućom smolom. Svaki sloj se ocrta laserom na površini tekuće smole te se nakon toga gradivna platforma spušta i proces se ponavlja.

Potporne strukture se moraju isplanirati u CAD softveru i kasnije trebaju biti otklonjene iz gotovog proizvoda. Naknadna obrada uključuje otklanjanje viška smole i proces stvrdnjavanja u ultraljubičastoj (UV) pećnici.

Ova metoda je skupa kada se koristi za velike predmete, no često se primjenjuje u industrijskoj proizvodnji kirurških vodilica. Prednost ove metode je superiorna završna obrada vanjske površine i to što je minimizirana količina viška sirovog materijala (14). Također je prednost što se koriste fotosenzitivni polimeri za izradu modela, što omogućava kratko vrijeme proizvodnje i proizvodnju složenih anatomskih struktura uz manje materijalne troškove.

Nedostatak je što se može koristiti samo uzak raspon materijala i polimeri koji mogu izazvati iritacije jer se modeli ne mogu sterilizirati (11).

Smolasti materijali se smanjuju i deformiraju, ali se naknadnom obradom i dodatnom polimerizacijom ovo izbjegne. Nakon polimerizacije, poboljšava se modul elastičnosti i čvrstoća predmeta (12).

Polyjet metoda

Ova metoda koristi mlazne glave poput onih u tintnim pisačima, koje raspršuju slojeve fotopolimera i istovremeno ih svjetlosno polimeriziraju. U ovoj metodi koristi se nepomična platforma i mobilna mlazna glava ili pomična platforma i nepomična brizna glava.

Materijali koji se mogu koristiti za printanje uključuju smole i voskove, kao i neke silikonske gumaste materijale. Moguće je stvoriti veoma sitne detalje i složenu geometriju, preciznosti do 16 mikrometara.

Prednost Polyjet metode je što postoje više mlaznih glava koje mogu istovremeno printati različite materijale, i smjese materijala omogućuju stvaranje predmeta sa različitim svojstvima, koji može na primjer imati fleksibilne i rigidne dijelove, kao što su indirektna ortodontske bravice.

Nedostatak ove metode je što su oprema i materijali vrlo skupi i potporne materijale je nekad komplicirano otkloniti. Mogu se koristiti za printanje studijskih modela, ali je to neisplativo. Kirurške vodilice se mogu brzo i jeftino proizvoditi ovom metodom jer su manje glomazne.

Metoda vezanja praha (PBM, eng. *Powder binder method*)

Ovi uređaji koriste modificiranu mlaznu glavu koja stvara kapljice koje infiltriraju sloj praha. Model se gradi u slojevima kako se platforma sa prahom postepeno spušta i novi sloj praha se nanosi preko njezine površine.

Model je poduprt neinfiltriranim prahom pa nema potrebe za korištenjem potpornog materijala. Obično se koristi pigmentirana tekućina, najčešće voda, i prah, koji je najčešće gips.

Naknadna obrada uključuje infiltraciju isprintanog modela sa cijanoakrilatom ili epoksi smolom koji će poboljšati snagu i površinsku tvrdnoću. Dobiveni modeli se mogu koristiti kao studijski modeli, ali točnost je ograničena i modeli su, usprkos naknadnoj obradi, prilično krhki.

Prednost metode je što se mogu printati modeli u boji, a nedostatak je što se ne mogu sterilizirati. Točnost je nedovoljna za primjenu u protetici. Uređaji i materijali su povoljniji u usporedbi sa ostalim metodama.

Fuzijsko depozicijsko taloženje

FDM je jedna od najstarijih metoda 3D printanja. Pomična mlazna glava prelazi preko nepomične platforme ili se platforma miče ispod pomične mlazne glave. Predmeti su raspodijeljeni u slojeve od strane softvera i koordinate se prenose u printer. Materijali

koji se koriste moraju nužno biti termoplastični. Često korišten materijal je biorazgradivi polimer polilaktične kiseline.

Pri izradi složenijih oblika obično je potrebno stvoriti potporne strukture koje mogu biti od istog materijala kao i printani objekt ili od različitog materijala koji printa sekundarna mlazna glava, na primjer potporne strukture koje su topive u vodi.

Točnost printanja ovisi o brzini pomicanja mlazne glave, protočnosti materijala kao i veličini svakog sloja.

Ova metoda se koristi u većini printera nižeg cjenovnog ranga koji ne zahtijevaju visoke razine preciznosti, na primjer, za printanje jednostavnih anatomskih modela. Postoje i skuplji, moderniji FDM printeri koji se mogu koristiti u izradi studijskih modela, ali nemaju primjenu u ostatku stomatologije.

Selektivno lasersko sinteriranje

Ova metoda postoji od sredine osamdesetih godina prošlog stoljeća. Skenirajući laser spaja čestice sitnog praha kako bi sagradio strukturu sloj po sloj. Kako se platforma sa prahom postupno spušta, novi se sloj praha jednoliko nanosi preko površine. Moguće je postići visoku razinu rezolucije (do 60 mikrometara).

Strukture koje se printaju su poduprte okolnim prahom pa nema potrebe za drugim potpornim materijalom.

Polimeri koji se koriste u ovoj metodi imaju visoke temperature tališta (iznad temperatura koje se koriste u autoklavu prilikom sterilizacije) i odlična fizička svojstva. Međutim, neke od materijala je teško obrađivati.

SLS tehnologija je skupa za kupnju, održavanje i korištenje. Također zahtijeva i upotrebu velike količine stlačenog zraka. Unutrašnjost materijala je prašnjava, neki materijali imaju zdravstvene i sigurnosne zahtjeve i općenito su nespretni za rad s njima. Materijali koji se mogu koristiti su najlon, fleksibilni elastomerni materijali i mješavine najlona koje sadrže metal. Može se koristiti poli(eter-eter-eton) (PEEK) za proizvodnju medicinskih implantata, iako njegova upotreba zahtijeva visoke temperature, složenu kontrolu i stvaranje velike količine viška materijala.

Izravno lasersko sinteriranje metala (eng. *Direct metal laser sintering*)

U stomatologiji se metal često koristi kao materijal, pa je posebno zanimljiva ideja printanja metala. Postoji širok raspon metala i metalnih slitina koje uključuju titan, titanske slitine, legure kobalta i kroma te nehrđajući čelik. 3D printanjem se već izrađuju parcijalne proteze i baze proteza, a za mostove na implantatima se tehnologija 3D ispisa može kombinirati zajedno s procesom glodanja kako bi se ostvarile vrlo precizne veze. Metode 3D ispisa su većinom iste kao i SLS metoda printanja polimera, ali se mogu nazvati kao selektivno lasersko topljenje (eng. *selective laser melting*) ili izravno lasersko sinteriranje metala (15).

1.2.3. Naknadna obrada

Nakon printanja, većina objekata zahtijeva naknadnu obradu jer se na njima nalaze sitne čestice metalnog praha ili još sitnije nanočestice otpada koje mogu predstavljati opasnost za zdravlje. Treba uzeti u obzir da se u prostor dentalnog laboratorija treba smjestiti printer kao i oprema za naknadnu obradu koja je također velikih dimenzija.

Dok je u teoriji korištenje jednog uređaja za printanje različitih materijala izvedivo, u praksi je krajnje teško u potpunosti očistiti uređaj od jednog materijala prije printanja drugoga (15).

1.2.4. Primjena

U više različitih grana dentalne medicine se mogu koristiti 3D printeri, primjerice u mobilnoj i fiknoj protetici, ortodontici i oralnoj kirurgiji. Također, u pretkličke svrhe, 3D printati se mogu anatomske modeli na kojima studenti mogu učiti anatomiju.

3D printani zubi se mogu koristiti u pretkličkim vježbama umjesto pravih zubi koji mogu biti rotirani ili oštećeni karijesom. Hohne i sur. su kreirali i 3D printane zube koji oponašaju prave zube na način da imaju slojeve cakline i dentina i koji mogu biti vrlo korisni za podučavanje studenata brušenju zubi (16).

Najveću primjenu 3D printanje ima u proizvodnji radnih modela za dijagnozu i planiranje liječenja. U usporedbi s modelima od gipsa, 3D printani modeli imaju mnogo prednosti koje uključuju manju težinu modela, manju mogućnost oštećenja, bolju otpornost na vodu i mogućnost lakog dijeljenja digitalnih podataka.

Jeong i sur. su otkrili da 3D printani modeli imaju veću točnost i ponovljivost u usporedbi s gipsanim modelima, te veću točnost u usporedbi s glodanim modelima (17).

Nadalje, Hazeveld i sur. su otkrili da su modeli rađeni metodom DLP točniji nego modeli izrađeni ostalim metodama 3D printanja (18).

U restaurativnoj dentalnoj medicini se mogu printati intrakoronarne restauracije, a u endodonciji se mogu izrađivati vodilice za pristup kavitetu. Vodilice osiguravaju ispravno usmjerenje prema obliteriranim kanalima tokom izvođenja endodontskog postupka. Uspješno se koriste i 3D printane kirurške vodilice za apikotomiju (14).

U oralnoj kirurgiji se najviše printaju kirurške vodilice, okluzalni splintovi i implantati. Kirurške vodilice se koriste za operacije ugrađivanja implantata, mandibularnu i maksilofacijalnu rekonstrukciju, ortognatsku kirurgiju i operacije temporomandibularnog zgloba (14). Kirurške vodilice se mogu podijeliti na vodilice za rezanje, bušenje i pozicioniranje.

Vodilice za rezanje služe za točno pozicioniranje i angulaciju linija osteotomije. Vodilice za bušenje pomažu pri pozicioniranju implantata na predodređena mjesta, određujući mjesto insercije, kut i dubinu implantata (12). Vodilice za pozicioniranje služe za pozicioniranje osteotomiranih dijelova kosti prema kirurškom planu (14). Vodilice za bušenje i rezanje trebaju biti robustne i precizno izrađene te napravljene od materijala koji se može dezinficirati i sterilizirati jer se koriste u kirurškim salama (15). Okluzalni splintovi su intraoralne sprave koje pomažu u liječenju poremećaja temporomandibularnog zgloba tako što namještaju okluzalni odnos između gornjih i donjih zubnih lukova (12).

Implantati specifični pacijentima (PSI, eng. Patient specific implants) se koriste za popravljanje kranio-maksilofacijalnih defekata nastalih zbog tumora, trauma, infekcija ili urođenim deformitetima. Ovakvi implantati su izrađeni od polimera, titana i ostalih biokompatibilnih materijala (14).

U fiksnoj i mobilnoj protetici, liječenje se može planirati i nadomjesti dizajnirati u CAD softveru. Podaci dobiveni skeniranjem i dizajn iz CAD-a se može koristiti za printanje krunica, dijelova mosta i abutmenta za implantate (15).

Privremene krunice proizvedene metodom 3D printanja imaju odlične rubove i pristajanje na zub i točnije su nego privremene krunice izrađene CAD/CAM-om i tradicionalnim metodama glodanja.

Prednost 3D printanja za izradu proteza je brža izrada proteza u odnosu na klasični način izrade jer ima manje koraka u procesu izrade, što može smanjiti mogućnost nastajanja pogreški (12).

3D printanjem se mogu izrađivati i individualne žlice (12).

U ortodonciji se 3D printanjem mogu proizvoditi ortodontske bravice za fiksne aparatiće za zube. Bravice se rade po mjeri da pristaju na individualne površine zubi (14).

2. PRIKAZ SLUČAJA

Pacijentica je došla na Zavod za mobilnu protetiku Stomatološkog fakulteta u Zagrebu na pregled. Usmeno joj je detaljno objašnjen plan intraoralnog skeniranja potreban za izradu prikaza slučaja, kao i njegova svrha, te joj je ponuđeno sudjelovanje. Pacijentica je svoju privolu za sudjelovanje potvrdila potpisom na dokumentu informiranog pristanka.

2.1. Priprema prije skeniranja

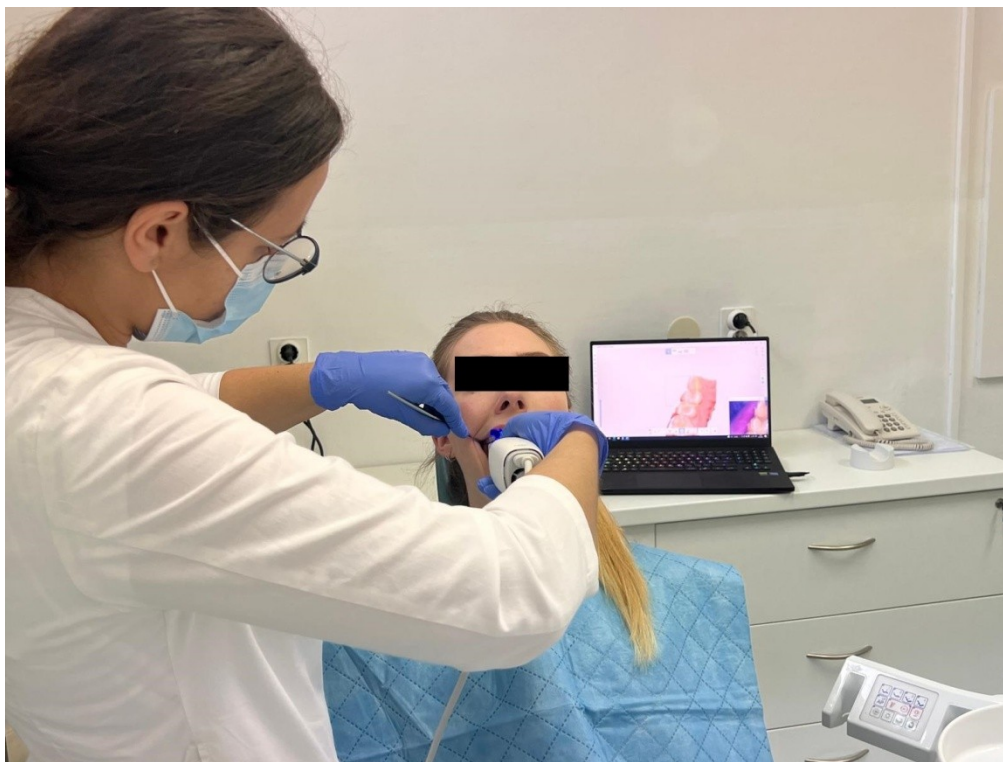
Na prijenosno računalo (ASUS, Taipei, Tajvan) se spaja digitalni intraoralni skener Medit i700 (Medit Corp., Seoul, Južna Koreja) i povezuje se sa programom Medit Scan for Clinics (Medit Corp., Seoul, Južna Koreja) koji će nam služiti za skeniranje ozubljenih čeljusti.

Prije intraoralnog skeniranja potrebno je sa površine zubiju maknuti plak.

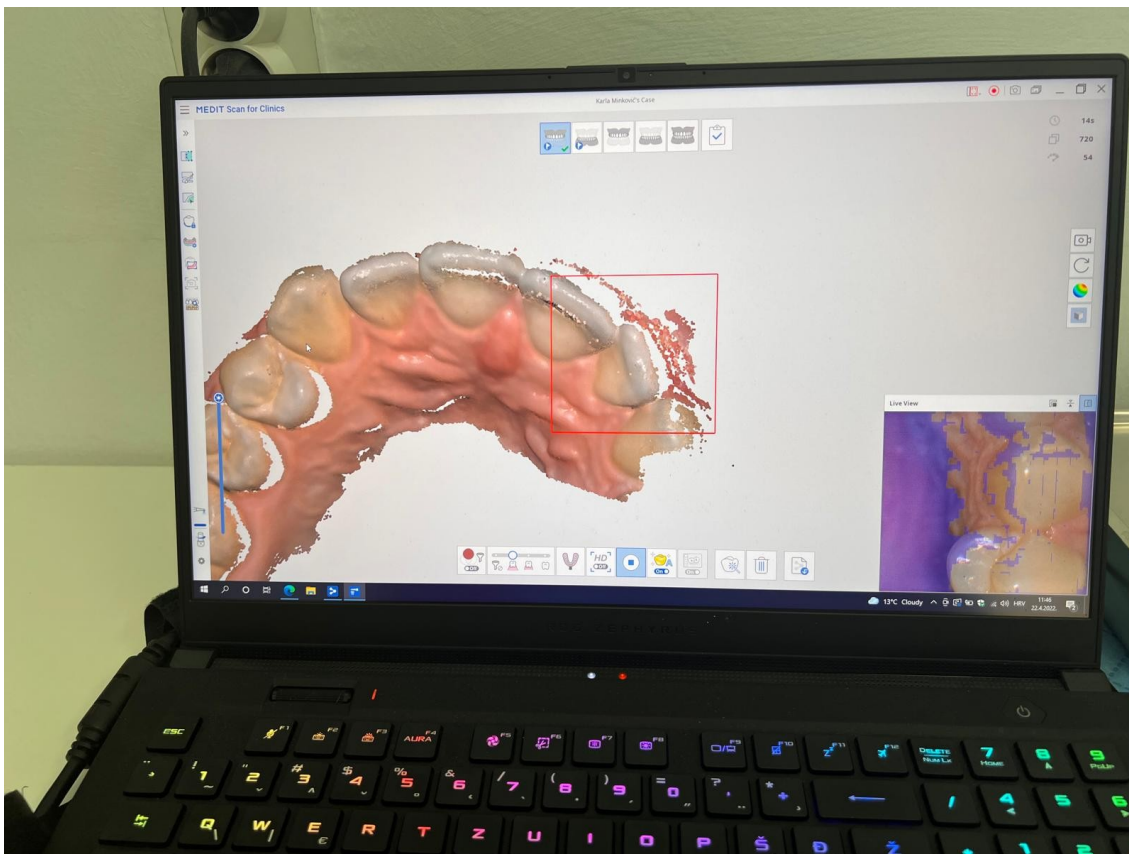
Zbog veće točnosti otiska bilo je potrebno i u potpunosti posušiti zube pusterom kako slina ne bi utjecala na refleksiju.

2.2. Skeniranje gornje čeljusti

Skener se drži 10 mm od zuba. Na ekranu računala se može pratiti iznad kojeg dijela zubi se trenutno nalazi kamera. Sa računala se čuje glazbena melodija dok je skeniranje u tijeku. Kada se izgubi kontinuitet skeniranja, melodija se zaustavi kako bi nas upozorila da je skeniranje prekinuto i kako bismo znali da se trebamo vratiti na prijašnje skenirano područje. Skeniraju se okluzalne površine zubi od stražnjih zubi prema prednjima (Slika 1.). U području sjekutića, skenira se pokretima palatinalno-labijalno (Slika 2.) i nastavlja se skenirati okluzalno druga strana zubiju do zadnjeg kutnjaka. Nastavljaju se skenirati sve palatinalne strane zubiju. Nakon završetka skeniranja palatinalno, skeniraju se bukalne strane zubi jedne strane, nastavlja labijalno i završava skenirajući bukalno drugu stranu. Koristi se stomatološko ogledalce za odmicanje bukalne sluznice (Slika 3.).



Slika 1. Skeniranje okluzalne plohe gornjih zubi i prikaz skeniranog područja na ekranu računala.



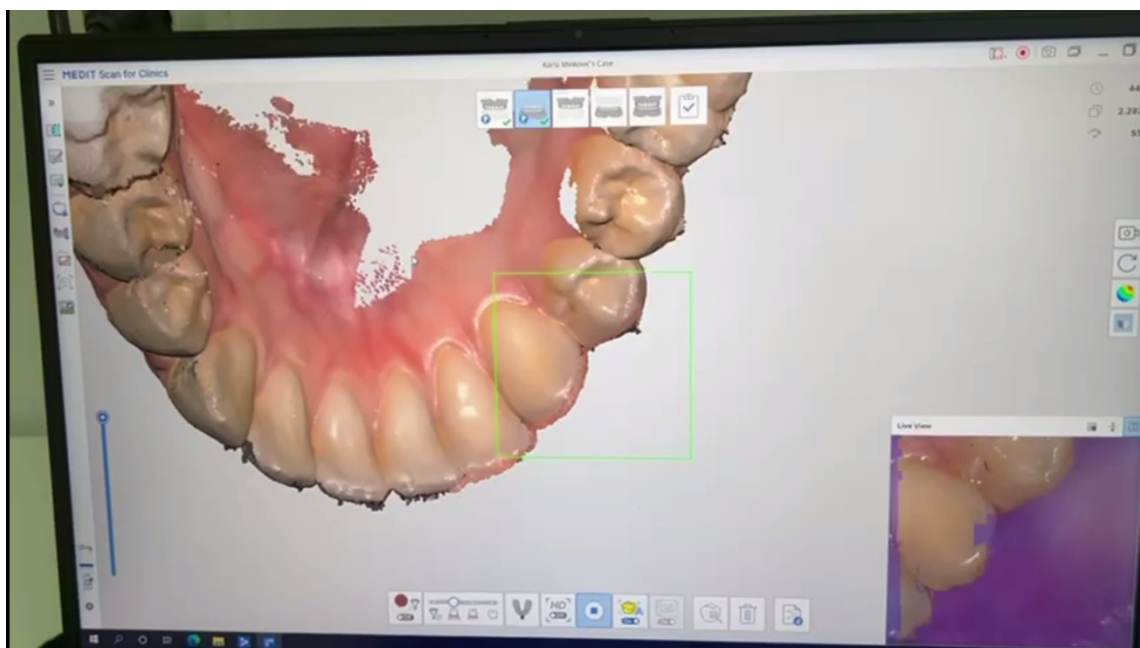
Slika 2. Skeniranje inciziva gornje čeljusti.



Slika 3. Skeniranje bukalne strane gornjih zubi i odmicanje bukalne sluznice stomatološkim ogledalcem.

2.3. Skeniranje donje čeljusti

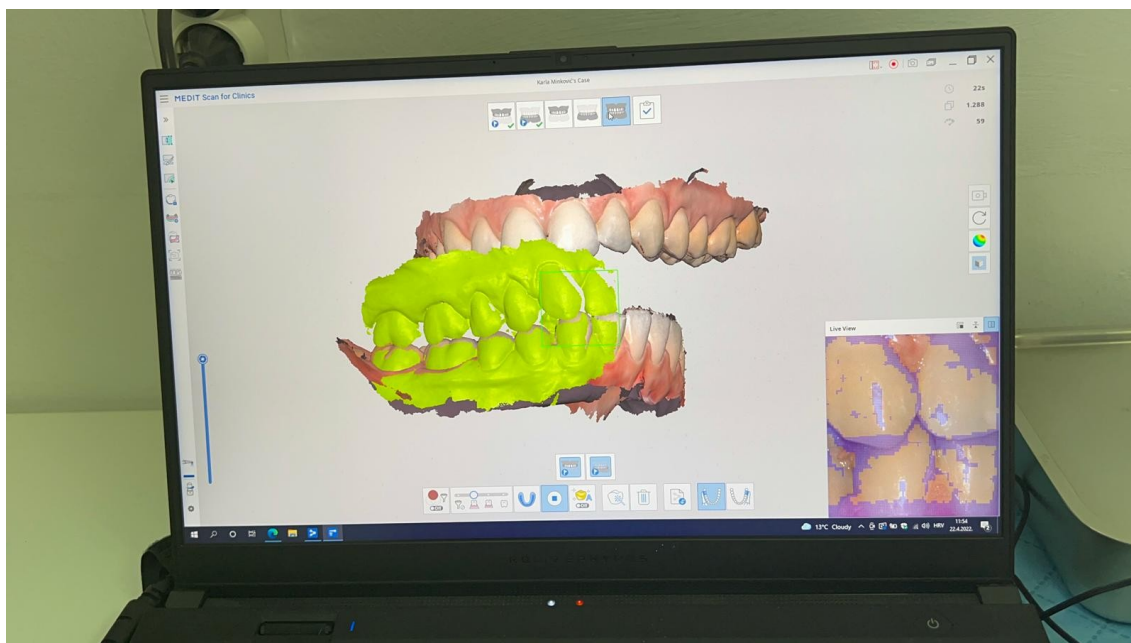
Držeći skener 10 mm od zuba, skeniraju se okluzalne površine stražnjih zubi prema prednjima. U području inciziva donje čeljusti, skenira se pokretima lingvalno-labijalno i nastavlja se skenirati okluzalno druga strana zubiju. Nastavljaju se skenirati sve lingvalne strane zubiju (Slika 4.). Vrškom intraoralnog skenera se može odmaknuti jezik od skeniranog područja. Na kraju se skeniraju sve vestibularne i labijalne strane donjih zubi.



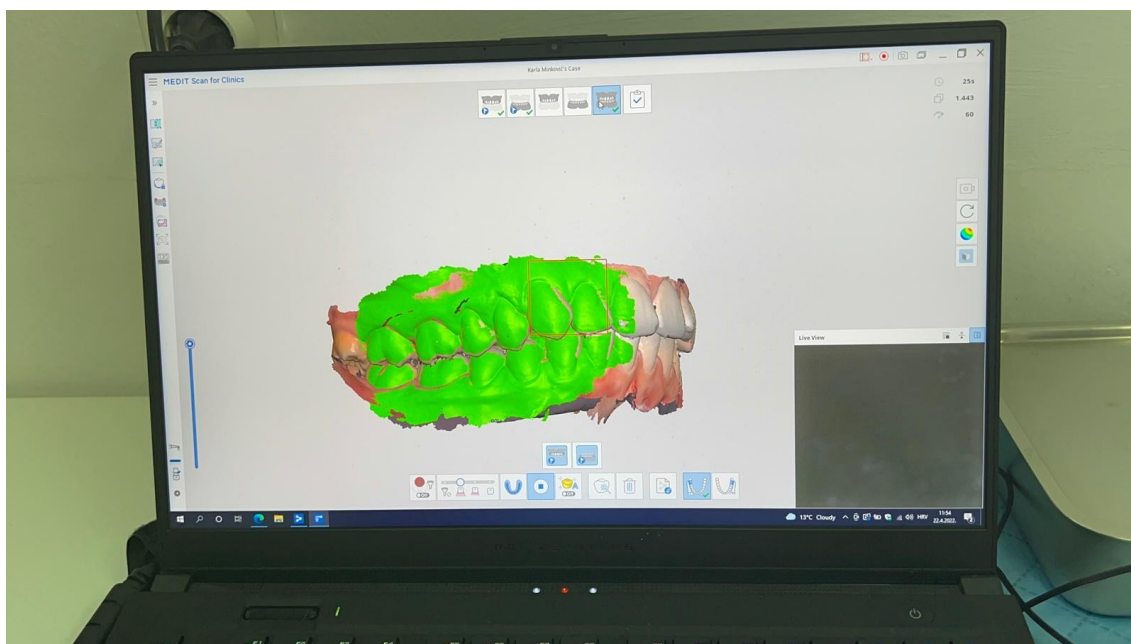
Slika 4. Skeniranje lingvalne strane donjih inciziva.

2.4. Skeniranje zagriz

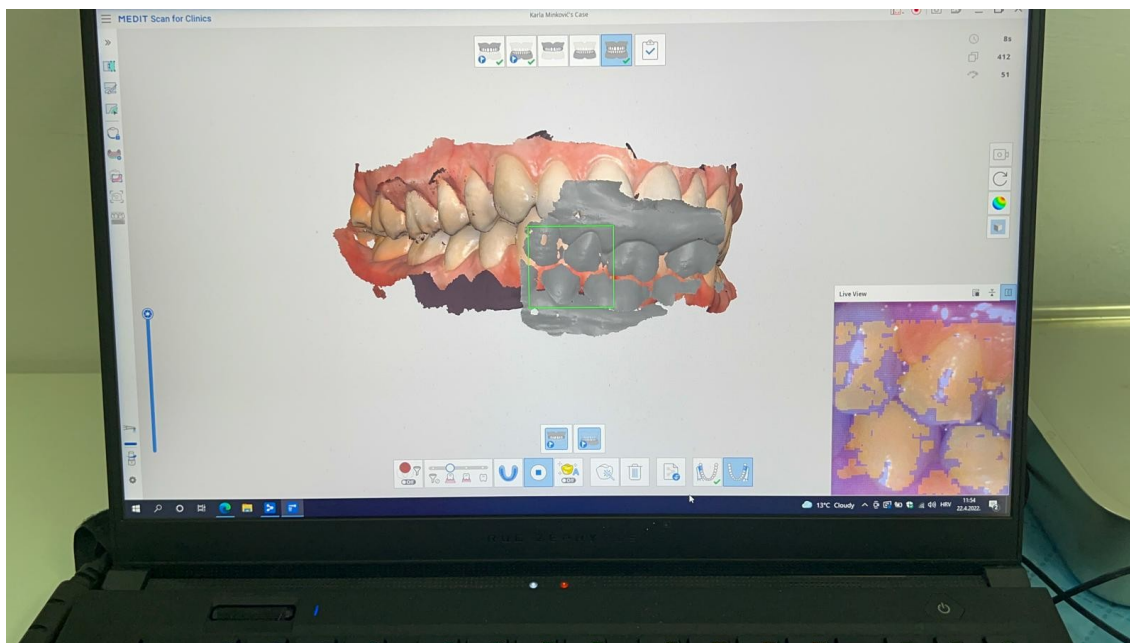
Pacijentici se kaže da zagrije i skeniraju se stražnji zubi (Slika 5.). Nije potrebno skenirati cijeli zubni luk jer će program sam nakon nekoliko zubi spojiti sken gornje i donje čeljusti. U trenutku kada skener prepozna zagriz (Slika 6.), čuje se zvuk sličan fanfari. U svrhu davanja dodatnih informacija skeneru, skeniraju se i stražnji zubi druge strane (Slika 7.).



Slika 5. Skeniranje zagriza desne strane.



Slika 6. Program je spojio skenove gornje i donje čeljusti.



Slika 7. Dodatno skeniranje zagriža lijeve strane.

2.5. Završetak skeniranja

Nakon skeniranja provjerava se uspješnost skena. Provjerava se nedostaje li igdje dio skena i naknadno se skenira. Program nam sam pokazuje plavim strelicama *Smart Arrows* područja koja zahtijevaju više informacija skeniranjem.

Nakon skeniranja svu korištenu opremu potrebno je sterilizirati, uključujući i vršak skenera koji je pogodan za autoklaviranje.

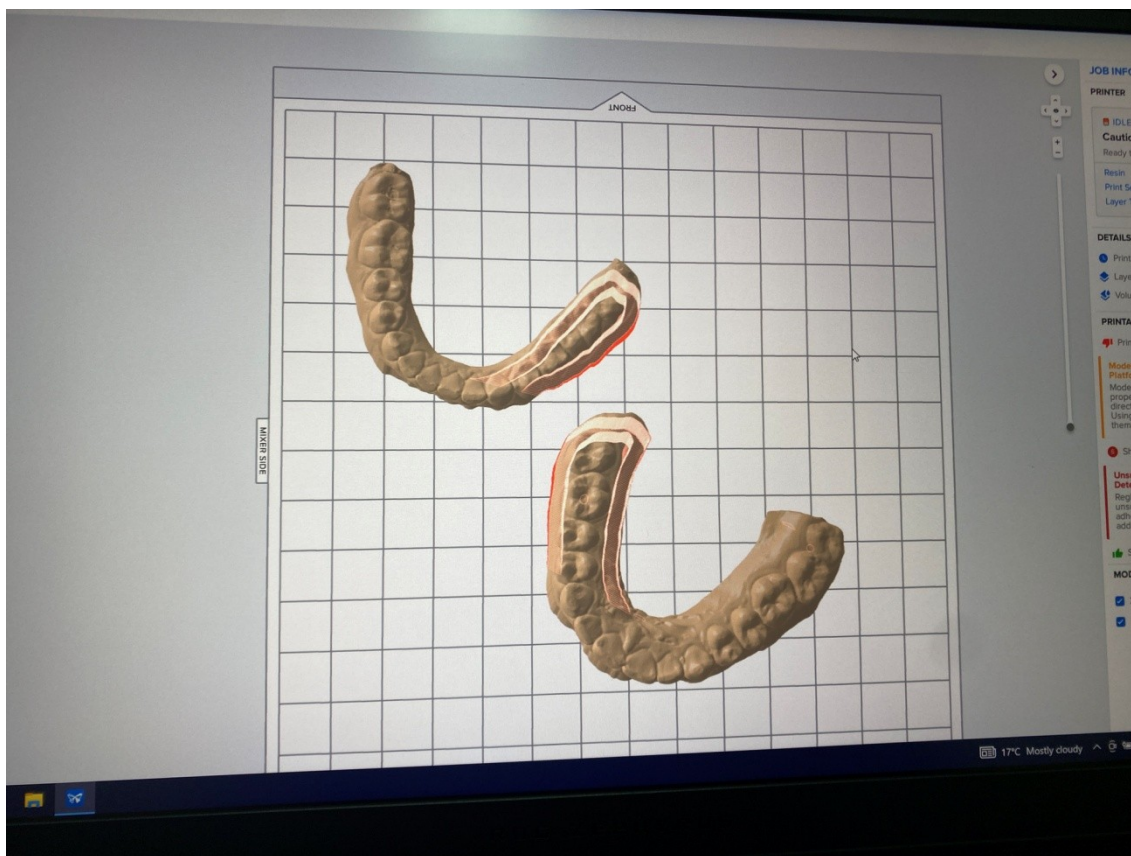
2.6. Izrada virtualnog modela zubi gornje i donje čeljusti

Nakon korištenja iMedit skenera, skenovi gornje i donje čeljusti su automatski uvezeni u program Medit Model Builder (Medit Corp., Seoul, South Korea). Za izradu modela, bilo je potrebno označiti koji dio skeniranog područja želimo u budućem modelu i otkloniti viškove skeniranog tkiva. To se učinilo opcijom *Area Designation Mode* koja je automatski odabrala područje otiska koje program preporučuje za izradu modela, ali ovo područje se može dodatno proširiti ili suziti pomicanjem klizača koristeći opciju *Expand Selection*, ili crtanjem po otisku s opcijom *Line Selection*. Sljedeći korak je trodimenzionalno pozicioniranje skena koje se odvija pod opcijom *Alignment Mode*. Odabirom triju točaka na otisku postignuto je poravnanje otiska s protetskom ravninom. Zatim je izrada virtualnog modela nastavljena korištenjem opcije *Base Creation Mode*,

koja je omogućila razne prilagodbe, poput podešavanja visine i debljine zidova baze, odabira tipa baze (standardna ABO (*American Board of Ortodontics*) baza, pločasta baza ili baza bez ploče) te postavljanja i prilagođavanja broja i promjera otvora za odvod viška smole prilikom 3D printanja.

2.7. 3D printanje modela

U programu PreForm (Formlabs, Sommerville, Massachusetts, SAD) se izvodi postavljanje potpornih struktura i orijentacija radnih modela na postolju (Slika 8.). Ne preporuča se postavljanje potpornih struktura na dijelove modela koji zahtijevaju veliku preciznost jer bi se ti dijelovi mogli oštetiti naknadnom obradom pri njihovom otklanjanju. Zatim se izvodi 3D printanje u printeru Formlabs 3/3B (Formlabs, Sommerville, Massachusetts, SAD) (Slika 9.). Modele je nakon printanja (Slika 10.) bilo potrebno isprati u izopropilnom alkoholu u trajanju od 10 minuta (Slika 11.) i potom sušiti 30 minuta na sobnoj temperaturi. Završni korak je bila dodatna toplinska polimerizacija na temperaturi od 60°C tijekom 30 minuta (Slika 12.). Time je gotova izrada radnih modela (Slika 13.).



Slika 8. Orijentacija radnih modela na postolju.



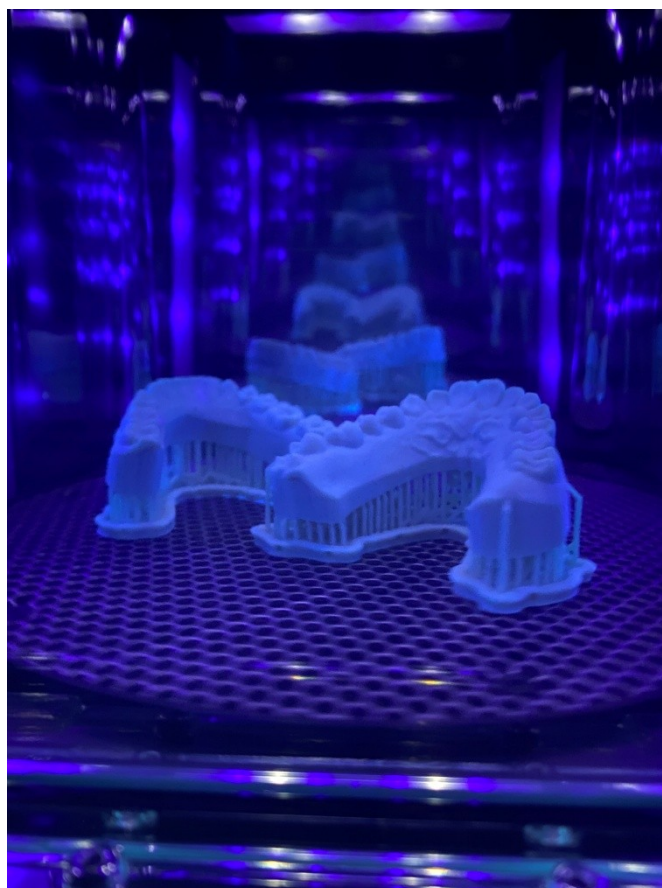
Slika 9. Printanje radnih modela u tijeku.



Slika 10. Printani modeli.



Slika 11. Ispiranje modela u izopropilnom alkoholu.



Slika 12. Polimerizacija modela.



Slika 13. Gotovi radni modeli.

3. RASPRAVA

Razvoj tehnologije u svijetu se odrazio i na polje biomedicine, medicine i biotehnologije s izumima koji su utjecali i na kliničare i na pacijente (2).

Procesi koji uključuju oblikovanje pomoću računala i računalom potpomognutu proizvodnju (CAD/CAM procesi) uvedeni su u dentalnu industriju osamdesetih godina prošlog stoljeća.

CAD/CAM sistem se sastoji od 4 glavna dijela: 3D uređaja za skeniranje koji pretvara informacije iz usne šupljine u digitalne podatke, CAD softvera koji dizajnira model nadomjestka, CAM softvera koji odabire željene materijale i upravlja programom za proizvodnju te uređaja za proizvodnju dizajniranog modela nadomjestka (9).

Uzimanje otisaka korištenjem konvencionalnih otisnih materijala poput alginata i polivinilsiloksana je povezano sa raznim poteškoćama koje uključuju kidanje otiska, stvaranje mjehurića zraka, kontakt zuba i otisne žlice, osjetljivost materijala na temperaturu, kratko vrijeme rada, neprecizno izlivanje i lom tijekom transporta. Uzimanje klasičnih otisaka također povećava aksioznost i neugodu kod pacijenata, posebno kod onih koji imaju osjetljiv nagon na povraćanje. Ovi nedostaci se mogu izbjeći korištenjem intraoralnih otisaka (19).

Intraoralni skeneri su izumljeni sa željom da se poboljšaju tradicionalne metode uzimanja otiska koje su bile dosta podložne ljudskim greškama. Preciznost ovih uređaja izravno utječe na pristajanje zubnih nadomjestaka, njihovu funkcionalnost i estetiku.

Neprecizni skenovi mogu dovesti do nepristajanja nadomjestka, što može ugroziti parodontno zdravlje, funkciju i dugovječnost nadomjestka i zahtijevati revizije i dodatne posjete stomatologu. Dakle, osiguravanje točnosti intraoralnih skenera treba biti najvažniji čimbenik za uspješnu implementaciju ovih uređaja u kliničku i laboratorijsku praksu (8).

Vasudavan i sur. su otkrili da 77% pacijenata preferira intraoralno skeniranje više od alginatnih otisaka (20). Mangano i sur. su proveli istraživanje na 30 ortodontskih pacijenata u kojem su uspoređivali konvencionalni otisak uzet ireverzibilnim hidrokoloidom s optičkim otiskom koristeći metodu vizualne analogne ljestvice (VAS). Rezultati su pokazali da je optički otisak ostvario bolje rezultate po pitanju udobnosti otiska, refleksu na povraćanje i lakoći disanja tijekom otiskivanja (1).

Osobe koje su sklonije tehnologiji i računalima, poput mlađih kliničara, lakše prihvaćaju intraoralno skeniranje u svoj klinički rad (21). S druge strane, stariji kliničari

su manje skloni novim tehnološkim naprecima i uređaje i softver mogu smatrati složenijima (4).

3D printanje je inovativna tehnologija koja donosi veliku promjenu u proizvodnji. Pomaže u izradnji objekata "prema narudžbi" koristeći računalno potpomognut dizajn (CAD). Ova tehnologija kombinirana s modernim metodama slikovnog prikazivanja i CAD softvera je omogućila doktorima dentalne medicine, posebno oralnim kirurzima, precizno planiranje i izvedbu liječenja s većom lakoćom, preciznošću i u manje potrebnog vremena.

3D printanje se također koristi u ostalim granama dentalne medicine za izradu alignera, krunica i mostova, endodontskih vodilica, vodilica za parodontološke operacije i kirurških modela za planiranje liječenja i komunikaciju sa pacijentom. 3D printeri su našli primjenu i u izradi pretkliničkih materijala za edukaciju studenata dentalne medicine (14).

Iako 3D printeri koji su sada na tržištu mogu printati modele u relativno kratkom vremenskom roku, preuzimanje digitalnih datoteka traje duže što trenutno onemogućuje korištenje printanih modela u slučajima gdje se trebaju izraditi hitno u kratkom vremenskom roku (12).

Iako su uređaji i tehnologije za 3D printanje dostupni već više desetljeća, razvoj CAD softvera i računala te razvoj i pristup tehnologiji skeniranja je taj koji je učinio primjenu ove tehnologije praktičnom, dok je javni interes podigao svijest i poboljšao pristup resursima (15).

Moguća poboljšanja u budućnosti koja bi dovela do većeg korištenja ove tehnologije su smanjenje troškova, veća brzina proizvodnje, potencijal 3D printanja keramike sa digitalnim bojenjem, smanjenje naknadne obrade potrebne za određene materijale. (15) Razni čimbenici poput postavki printanja, sastava materijala i naknadne obrade, utječu na uspješnost i preciznost printanja, što se odražava na točnost, vrijeme proizvodnje i svojstva materijala, kao to su modul elastičnosti, otpornost na udarce i vlak (12).

Istraživanje Cheng i sur. pokazalo je da manji broj slojeva (povećana debljina slojeva) rezultira kraćim vremenom proizvodnje, ali to dovodi i do manje točnosti. Također, pri korištenju SLA metode za printanje predmeta sa smanjenom debljinom sloja, povećava se čvrstoća predmeta (12).

3D tehnologija nam daje više mogućnosti u razvijanju novih materijala i novih predvidljivijih, manje invazivnih i manje skupih zahvata za naše pacijente (15).

4. ZAKLJUČAK

Prvi korak digitalnog protokola je upotreba intraoralnog skenera koji bilježi podatke o stanju u ustima.

Intraoralni skeneri su uređaji koji stvaraju optički otisak u dentalnoj medicini. Oni projiciraju svjetlosni snop na premet koji se skenira, zubne lukove, zube i transfere. Slike zahvaćene senzorom se obrađuju u softveru za skeniranje koji stvara oblak točaka koje se obrađuju po principu triangulacije te se stvara 3D model koji je virtualna alternativa klasičnom modelu od gipsa.

Nedavni napredak u tehnologiji intraoralnih skenera uključuje smanjenje dimenzija i težine vrška za skeniranje, povećanje brzine skeniranja, povećanje rezolucije i poboljšanje softvera koji se koristi za skeniranje.

3D printanje je donijelo revoluciju u svim granama dentalne medicine. Ovu tehnologiju prihvaćaju doktori dentalne medicine diljem svijeta zbog dostupnosti preciznih i isplativih 3D printera koji omogućuju proizvodnju zubnih proteza, krunica, ortodontskih *alignera* i raznih kirurških vodilica za planiranje liječenja i liječenje. Međutim, potrebno je i dodatno osposobljavanje doktora dentalne medicine i zubotehničkog osoblja.

3D printanje ima široku primjenu, što omogućuje stvaranje novih i učinkovitijih metoda za proizvodnju stomatoloških predmeta. Najčešća primjena je stvaranje radnih modela i predmeta koji mogu pomoći doktorima dentalne medicine da lakše isplaniraju zahvate potrebne pacijentima. Za izradu predmeta sa složenim strukturama i sitnim strukturama, 3D printanje može koristiti mnogo različitih vrsta materijala i osloniti se na digitalne podatke kako bi se stvorili složeni geometrijski oblici. No, visoka cijena opreme predstavlja prepreku u popularizaciji 3D printanja.

Fokus daljnjih istraživanja je na razvitku materijala za 3D printanje koji su pogodni za korištenje u dentalnoj medicini. U budućnosti, će istraživanja biti usmjerena i na mehanička svojstva, biokompatibilnost, točnosti i ponovljivosti materijala za 3D printanje.

Budući razvoj tehnologije 3D printanja u dentalnoj medicini bi trebao uzrokovati smanjenje cijene uređaja, ubrzanje vremena izrade, poboljšanje kvalitete površine predmeta i razvoj novih biokompatibilnih materijala za 3D printanje.

5. LITERATURA

1. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res.* 2020 Apr;64(2):109–13.
2. Ciccù M, Fiorillo L, D'Amico C, Gambino D, Amantia EM, Laino L, et al. 3D Digital Impression Systems Compared with Traditional Techniques in Dentistry: A Recent Data Systematic Review. *Mater Basel Switz.* 2020 Apr 23;13(8):1982.
3. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng.* 2017;2017(1):8427595.
4. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health.* 2017 Dec 12;17(1):149.
5. Kravitz ND, Groth C, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Intraoral digital scanners. *J Clin Orthod JCO.* 2014 Jun;48(6):337–47.
6. Joda T, Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: A randomized crossover trial. *Clin Oral Implants Res.* 2015 Apr 12;27.
7. Meer WJ van der, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of Intra-Oral Dental Scanners in the Digital Workflow of Implantology. *PLOS ONE.* 2012 kol;7(8):e43312.
8. Alkadi L. A Comprehensive Review of Factors That Influence the Accuracy of Intraoral Scanners. *Diagnostics.* 2023 Jan;13(21):3291.
9. Suese K. Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. *Dent Mater J.* 2020;39(1):52–6.
10. Abduo J, Elseyoufi M. Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2018 Aug 30;26(3):101–21.
11. Tasopoulos T, Kouveliotis G, Polyzois G, Karathanasi V. Korištenje 3D ispisa u izradi trajne proteze s opturatorom: prikaz slučaja. *Acta Stomatol Croat Int J Oral Sci Dent Med.* 2017 Mar 17;51(1):53–9.
12. Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, et al. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning.* 2021 Jul 17;2021:9950131.

13. Nikoyan L, Patel R. Intraoral Scanner, Three-Dimensional Imaging, and Three-Dimensional Printing in the Dental Office. *Dent Clin North Am.* 2020 Apr 1;64(2):365–78.
14. Shaikh S, Nahar P, Shaikh S, Sayed AJ, Mohammed Ali H. Current perspectives of 3d printing in dental applications. *Braz Dent Sci [Internet].* 2021 Jul 1 [cited 2024 Sep 19];24(3). Available from: <https://bds.ict.unesp.br/index.php/cob/article/view/2481>
15. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J.* 2015 Dec;219(11):521–9.
16. Höhne C, Schwarzbauer R, Schmitter M. 3D Printed Teeth with Enamel and Dentin Layer for Educating Dental Students in Crown Preparation. *J Dent Educ.* 2019 Dec;83(12):1457–63.
17. Jeong YG, Lee WS, Lee KB. Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. *J Adv Prosthodont.* 2018 Jun 1;10(3):245–51.
18. Hazeveld A, Slater JJRH, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014 Jan 1;145(1):108–15.
20. Vasudavan S, Sullivan SR, Sonis AL. Comparison of intraoral 3D scanning and conventional impressions for fabrication of orthodontic retainers. *J Clin Orthod.* 2010 Aug 1;44(8):495–7.
21. Zitzmann NU, Kovaltschuk I, Lenherr P, Dedem P, Joda T. Dental Students' Perceptions of Digital and Conventional Impression Techniques: A Randomized Controlled Trial. *J Dent Educ.* 2017 Oct;81(10):1227–32.

6. ŽIVOTOPIS

Dijana Meščić rođena je 24.03.1998. u Virovitici. Pohađala je Osnovnu školu Ivane Brlić-Mažuranić u Virovitici gdje je sudjelovala na nekoliko školskih i županijskih natjecanja. Godine 2013. upisuje Katoličku klasičnu gimnaziju sa pravom javnosti u Virovitici, te ju završava 2017. godine s najboljim uspjehom u generaciji. Iste godine upisuje Stomatološki fakultet u Zagrebu. Tijekom studiranja pomaže u organizaciji EVP Zagreb 2021. (European Visiting Program) te sudjeluje u programima EVP Plovdiv i EVP Chisinau 2023. godine. Itop tečaj završava 2022. godine. Član je Sekcije za parodontologiju i sudjeluje u organizaciji radionica u sklopu Simpozija studenata dentalne medicine.