

Utjecaj različitih vrsta otisnih nadogradnji na kvalitetu digitalnih otisaka u implantoprotetskoj terapiji

Banožić Ćosić, Ana

Postgraduate specialist thesis / Završni specijalistički

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:127:764254>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Ana Banožić Ćosić

**UTJECAJ RAZLIČITIH VRSTA OTISNIH
NADOGRADNJI NA KVALITETU
DIGITALNIH OTISAKA U
IMPLANTOPROTETSKOJ TERAPIJI**

POSLIJEDIPLOMSKI SPECIJALISTIČKI RAD

Zagreb, 2024.

Rad je ostvaren u: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Naziv poslijediplomskog specijalističkog studija: Dentalna implantologija

Mentor rada: Nikša Dulčić, prof.dr.sc., Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Ljiljana Brzić, prof. hrvatskog i engleskog jezika

Lektor engleskog jezika: Ljiljana Brzić, prof. hrvatskog i engleskog jezika

Sastav Povjerenstva za ocjenu poslijediplomskog specijalističkog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Sastav Povjerenstva za obranu poslijediplomskog specijalističkog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 49 stranica

2 tablice

7 slika

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 drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni doprinos autora poslijediplomskog specijalističkog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihovog podrijetla.

Zahvala

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Nikši Dulčiću na mentorstvu, trudu i angažmanu prilikom izrade ovog rada.

Hvala mojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci u svemu, a posebno hvala mojim Ćoskićima na strpljenju, razumijevanju i ljubavi.

Sažetak

UTJECAJ RAZLIČITIH VRSTA OTISNIH NADOGRAĐNJI NA KVALITETU DIGITALNIH OTISAKA U IMPLANTOPROTETSKOJ TERAPIJI

Razvoj digitalne dentalne tehnologije, posebice intraoralnih skenera, revolucionirao je pristup protetskim rehabilitacijama nošenim implantatima, omogućavajući točnije i efikasnije kliničke postupke. Preciznost digitalnih otisaka ključna je za uspjeh implantoprotetske terapije i ovisi o čimbenicima ovisnima o pacijentu i o terapeutu. Svrha ovog preglednog rada bila je analizirati kako različite karakteristike otisnih nadogradnji za digitalni otisak, uključujući materijal izrade, geometriju i metode pričvršćivanja, utječu na točnost digitalnih otisaka. Analizirat će se i kako navedeni faktori doprinose kvaliteti konačnih protetskih radova te će se osvrnuti na usporedbu digitalnog protokola i konvencionalnog otiskivanja u implantoprotetskoj terapiji. U ovom sustavnom pregledu, metodologija se temelji na detaljnoj elektroničkoj pretrazi znanstvenih baza podataka (PubMed), kako bi se identificirale studije koje evaluiraju točnost intraoralnih skenova u kontekstu implantoprotetske terapije. Kriteriji uključivanja obuhvaćali su objavljene radove koji detaljno opisuju karakteristike otisnih nadogradnji za digitalni otisak (eng. *scanbodies*), uključujući materijale izrade (PEEK, titanij), geometriju (oblik, visina, promjer, površina), i metode pričvršćivanja (vijčano, magnetno, frikcijsko), te njihov utjecaj na preciznost i točnost digitalnih otisaka. Iz pregleda trenutano dostupne znanstvene literature se zaključuje da je za uzimanje digitalnog otiska na implantatu najbolji odabir otisna nadogradnja izrađena od PEEK-a, sa što jednostavnijim dizajnom i jasno naznačenim područjem skeniranja, te vijčano pričvršćena na implantat.

Ključne riječi: otisne nadogradnje; digitalni otisak; intraoralni skener; implantoprotetska terapija

Summary

IMPACT OF DIFFERENT TYPES OF IMPLANT SCANBODIES ON THE QUALITY OF DIGITAL IMPRESSIONS IN IMPLANT PROSTHODONTICS

The development of digital dental technology, especially intraoral scanners, has revolutionized the approach to implant prosthetic rehabilitations, enabling more accurate and efficient clinical procedures. The precision of digital impressions is crucial for the success of implant prosthodontic therapy and depends on factors related to both the patient and the therapist. The purpose of this review paper was to analyze how different characteristics of scanbodies for digital impressions, including manufacturing material, geometry, and attachment methods, affect the accuracy of digital impressions. It will also examine how these factors contribute to the quality of the final prosthetic work and will discuss the comparison between the digital and conventional impression protocols in implant prosthodontic therapy. In this systematic review, the methodology is based on a detailed electronic search of scientific databases (PubMed), to identify studies evaluating the accuracy of intraoral scans in the context of implant prosthodontic therapy. Inclusion criteria included published papers that describe in detail the characteristics of scanbodies for digital impressions, including manufacturing materials (PEEK, titanium), geometry (shape, height, diameter, surface), and attachment methods (screw, magnetic, frictional), and their impact on the precision and accuracy of digital impressions. From the review of currently available scientific literature, it is concluded that the best choice for taking a digital impression on an implant is a scanbody made of PEEK, with as simple a design as possible and a clearly indicated scanning area, and screw-retained to the implant.

Keywords: scanbodies; digital impression; intraoral scanner; implant prosthodontics

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PROTOKOL IMPLANTOPROTETSKE TERAPIJE	4
2.1. Usporedba analognog i digitalnog protokola u implantoprotetskoj terapiji.....	6
3. OTISAK U IMPLANTOPROTETSKOJ TERAPIJI	8
3.1. Analogne tehnike otiskivanja.....	11
3.1.1. Tehnika otiskivanja otvorenom žlicom	11
3.1.2. Tehnika otiskivanja zatvorenom žlicom.....	12
3.2. Digitalni otisak.....	13
4. INTRAORALNI SKENERI	15
4.1. Tehnike rada IOS-a	18
4.1.1. IOS bazirani na laserskoj zruci.....	18
4.1.2. IOS bazirani na vidljivom svijetlu	19
4.2. Digitalni protokol rada uz IOS.....	20
4.3. Tehnike uzimanja digitalnog otiska	21
5. VRSTE I KARAKTERISTIKE OTISNIH NADOGRAĐNJI ZA DIGITALNI OTISAK....	24
5.1. Klasifikacija otisnih nadogradnji	28
5.2. Dizajn, materijali i metode pričvršćivanja otisnih nadogradnji	29
6. RASPRAVA	34
6.1. Smjernice za kliničku upotrebu otisnih nadogradnji za digitalni otisak	38
7. ZAKLJUČAK	40
8. LITERATURA	42
9. ŽIVOTOPIS	48

Popis skraćenica

3D - trodimenzionalno

CAD/CAM - engl. *computer aided design / computer aided manufacturing*; hrv. računalom potpomognuto oblikovanje / računalom potpomognuta izrada

CBCT - engl. *cone beam computed tomography*; hrv. kompjuterizirana tomografija koničnih zraka

IOS - engl. *intraoral scanner*; hrv. intraoralni skener

PROM - eng. *Patient-reported outcome measures*

CEREC – engl. *Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics*

STL - engl. *stereolithography file*; hrv. stereolitografska datoteka

Ti - titanij

PEEK – engl. *poly-ether-ether-ketone*; hrv. poli-eter-eter-keton

U svakom segmentu naših života digitalna tehnologija igra sve veću ulogu, te se s teškoćom pronalaze osobe koje nisu povezane s internetom ili ne koriste pametne telefone. Ovaj sveprisutni utjecaj digitalizacije proširio se i na medicinsku struku, uključujući stomatologiju, gdje nove digitalne inovacije mijenjaju paradigme u planiranju i provođenju terapija. Napredak digitalnih sustava, paralelno s unaprjeđenjem konvencionalnih metoda, doveo je do poboljšanja u procesima oralne rehabilitacije, podižući brigu o pacijentima na novu razinu kroz svaki korak terapijskog procesa. Svakodnevnica moderne stomatologije sada obuhvaća računala, virtualne baze pacijenata, laptopove, tablete, radiološku dijagnostiku, digitalne fotografije i video zapise, koji postaju ključni alati u digitalnom protokolu rada. Osnova ovog protokola su skeneri, kako intraoralni tako i laboratorijski, uz širok spektar softvera koji omogućavaju komunikaciju između stomatologa, dentalnog laboratorija i pacijenta. Sve to rezultira poboljšanjem u preciznosti i efikasnosti stomatoloških postupaka, predstavljajući korak naprijed u pružanju kvalitetne njege pacijenata (1).

Razvoj i integracija digitalne tehnologije u dentalnu medicinu označava jedno od najznačajnijih poboljšanja u kvaliteti i preciznosti stomatoloških postupaka, osobito u području implantoprotetske terapije. Digitalna era u stomatologiji, koja je počela svoj intenzivan razvoj u posljednjim desetljećima 20. stoljeća, kontinuirano unapređuje kliničke i laboratorijske postupke, čineći ih bržima, efikasnijima i udobnijima za pacijente. Središnji element ovog napretka jest digitalno intraoralno otiskivanje, koje postupno zamjenjuje tradicionalne metode otiskivanja, pružajući temelj za preciznu izradu protetskih nadomjestaka. Napredak u tehnologiji intraoralnih skenera doveo je do neprestanih napora u prevladavanju izazova povezanih s tradicionalnim, analognim metodama otiskivanja. Među tim izazovima su neadekvatan odabir žlica za otisak, problemi s odvajanjem otisnog materijala od žlice i deformacija otiska tijekom procesa izlivanja. Više od polovice analogno uzetih otisaka pokazalo se kao nedovoljno preciznim u smislu točnosti reprodukcije rubova preparacije, iako pojedina istraživanja sugeriraju da bi taj udio mogao biti i znatno viši (2).

U implantoprotetskoj terapiji se otiskom prenosi informacija u dentalni laboratorij o točnoj poziciji implantata u usnoj šupljini, bilježeći pritom trodimenzionalni (3D) položaj implantata i njegov odnos prema drugim strukturama unutar usne šupljine, kao što su susjedni zubi ili implantati, te nasuprotna čeljust, gingiva i alveolarna kost (3).

Postoje dvije vrste otisaka: analogni i digitalni, obje u svrhu preciznog prijenosa informacija sa pacijenta do dentalnog tehničara. Analogni otisak obuhvaća tehnike otvorene i zatvorene žlice. Tehnika otvorene žlice koristi se s individualnim žlicama i vijčano pričvršćenim otisnim nadogradnjama za precizno prenošenje pozicije implantata na radni model u laboratorij kroz jednovremeni otisak s jednim ili dva materijala. S druge strane, tehnika zatvorene žlice jednostavnija je i koristi se s konfekcijskim ili individualnim žlicama zajedno s otisnim nadogradnjama koje imaju prijenosnu kapicu čiji plastični dio ostaje unutar otiska. Drugi se dio otisne nadogradnje dodaje naknadno u otisak u laboratoriju, što pak može povećati mogućnost pogreške (3).

Digitalni otisak dobiva se pomoću intraoralnog skenera i otisne nadogradnje za digitalni otisak (eng. *scanbody*), čiji dizajn i trodimenzionalna geometrija omogućavaju točan prijenos položaja implantata u digitalni model. Ovaj digitalni model postaje dio procesa računalom potpomognutog dizajniranja i računalom potpomognute izrade (engl. *computer aided design/computer aided manufacturing - CAD/CAM*), gdje se situacija iz usta pacijenta prenosi u računalni softver, omogućavajući dentalnom tehničaru da dizajnira i izradi protetski nadomjestak. Uz to, digitalnim otisakom potrebno je precizno prijenijeti informacije o međučeljusnim odnosima, kako bi se omogućila precizna izrada implantoprotetskog nadomjestka (3).

Kvaliteta digitalnih otisaka temelji se na preciznosti prenošenja ključnih podataka o geometriji i poziciji implantata, što izravno utječe na uspjeh implantoprotetske terapije. Otisne nadogradnje od vitalnog su značaja za ovaj proces jer služe kao spona između intraoralnog skenera i samog implantata, omogućavajući digitalni prijenos točnih informacija o implantatu. Kako bi se osigurao visok stupanj preciznosti digitalnih otisaka, neophodno je razumjeti i optimizirati karakteristike otisnih nadogradnji, uključujući materijale iz kojih su izrađene, njihovu geometriju, kao i metode pričvršćivanja (4).

Svrha ovog rada je pregledom znanstvene literature istražiti kako različite karakteristike otisnih nadogradnji (dizajn, materijal, promjer, visina, površina, sustav pričvršćivanja) utječu na kvalitetu digitalnih otisaka u implantoprotetskoj terapiji i postizanje optimalnih kliničkih ishoda.

2. PROTOKOL IMPLANTOPROTETSKE TERAPIJE

Implantoprotetika predstavlja poseban segment stomatološke protetike koji se oslanja na upotrebu dentalnih implantata, koji postavljeni u alveolarnu kost simuliraju korijen zuba, a na koje se kasnije pričvršćuje implantoprotetski nadomjestak (5).

Protokol rada protetske terapije sastoji se od četiri faze, a koje se također primjenjuju i u implantoprotetici te obuhvaća i analogne i digitalne tehnike rada. Faze protokola su: planiranje – provedba – izradba – završavanje (eng. *planning – executing – manufacturing – finalising*). Prva faza je planiranje, koja je najvažniji korak u cijelome protokolu i uključuje sve pripremne postupke i kompletnu dijagnostiku. Dugi niz godina je faza planiranja bila najkraća faza rada i oslanjala se prvenstveno na iskustvo kliničara, koji je na temelju kliničkog pregleda i dodatno, analize rendgenskih snimaka, donosio odluku o daljnjem planu terapije. (6)

Proces implantoprotetske terapije započinje standardnim postupcima, kao i u drugim oblicima terapije u stomatološkoj protetici, uključujući uzimanje anamneze i temeljit klinički pregled. U anamnezi, koja uključuje socijalnu, opću i stomatološku anamnezu, se poseban fokus stavlja na prethodne dentalne intervencije i potencijalne rizike koji mogu utjecati na tijek terapije. Zatim se izvodi dijagnostičko snimanje, uključujući intraoralne i ekstraoralne rendgenske snimke te 3D snimku pomoću *cone-beam* kompjuterske tomografije (CBCT), koja je ključna za određivanje optimalnog mjesta za ugradnju implantata. Prije samog kirurškog postupka, pacijent prolazi kroz sve potrebne faze preprotetske pripreme. Oralni kirurg zatim provodi planiranje i pripremu ležišta za implantat, gdje se dodatno može koristiti kirurškom šablonom za maksimalnu preciznost. Definitivni protetski nadomjestak izrađuje se nakon završene oseointegracije (7).

Terapija mobilnim ili fiksnim protetskim nadomjestkom nošenim ili poduprtim dentalnim implantatima, danas se smatra standardom najviše kvalitete za liječenje djelomične ili potpune bezubosti. Njena glavna prednost leži u očuvanju prirodnih zubnih struktura, budući da za razliku od izrade mostova, ne zahtijeva brušenje susjednih zubi. Osim toga, proces oseointegracije, koji omogućuje usko povezivanje implantata s kosti, pruža funkcionalnu i strukturalnu stabilnost. Ovaj pristup liječenju, posebno u kompleksnijim slučajevima, zahtijeva suradnju više specijalista iz područja dentalne medicine, uključujući oralnog kirurga i protetičara, a u situacijama kada je potrebna dodatna priprema prije postavljanja protetskih nadomjestaka, može uključiti i stručnjake drugih specijalizacija kao što su parodontologija i ortodoncija (8, 9, 10, 11).

Svaki se implantoprotetski rad sastoji od tri osnovne komponente: implantata, protetske nadogradnje s vijkom i protetskog nadomjestka. Implantati se kirurški ugrađuju u kost, služeći kao zamjena za prirodni korijen zuba. Protetska nadogradnja, koja se vijkom fiksira na implantat, služi kao poveznica između implantata i protetskog nadomjestka koji funkcionalno predstavlja kliničku krunu zuba. Protetski nadomjestak može biti fiksiran trajnim cementom ili pričvršćen vijkom, pri čemu se za zatezanje koristi momentni ključ. Moderna praksa favorizira protetske nadomjestke koji se vijkom fiksiraju na nadogradnju zbog smanjenja rizika od bioloških i mehaničkih komplikacija, to jest, od upalnih procesa uzrokovanih ostacima cementa oko mekih tkiva, kao i zbog olakšavanja zamjene, popravka ili izrade novog nadomjestka (8,12). Nakon kirurške faze implantacije započinje faza kreiranja protetskog nadomjeska. Uzimanje otiska predstavlja prvi korak u tom procesu, detaljnije opisanom u narednom poglavlju. Nakon otiskivanja i određivanja međučeljsnih odnosa tehničar prelazi na dizajniranje i izradu nadomjeska na implantatu. U okviru analogne metode, tehničar spaja laboratorijski implantat u otisni transfer te izlijeva radni model. Početna faza uključuje izradu individualne ili korištenje konfekcijske nadogradnje, na kojoj se zatim oblikuje protetski nadomjestak. Kod digitalnog otiska, tehničar obrađuje minimalno četiri slike, obuhvaćajući gornju i donju čeljust te međučeljsne odnose. Postoji i kombinirani pristup, gdje tehničar nakon izrade sadrenog radnog modela vrši skeniranje ekstraoralnim skenerom i potom nastavlja s planiranjem i izradom finalnog nadomjeska koristeći računalni program (10).

2.1. Usporedba analognog i digitalnog protokola u implantoprotetskoj terapiji

U usporedbi digitalne i analogne metode, digitalizacija olakšava komunikaciju s laboratorijem i omogućava brz prijenos podataka (10). Izbor između ove dvije metode ovisi o različitim faktorima kao što su dostupnost opreme i tehnologije, financijska sredstva pacijenta, te znanja i vještine liječnika i tehničara (6). Odluka o metodama fiksacije krunice na implantat donosi se unaprijed, omogućavajući opciju vijčanog pričvršćivanja ili trajnog cementiranja. Nadogradnje, koje mogu biti metalne ili keramičke, individualne ili konfekcijske, oblikuju se prema veličini implantata, odnosu prema mekim tkivima i vrsti protetskog nadomjestka i mogu se izrađivati pomoću CAD/CAM tehnologije ili analognim putem. Važno je odabrati nadogradnju koja odgovara visini i širini implantata, te izlaznom profilu mekih tkiva, a one namijenjene za vijčanu fiksaciju sadrže unutarnji navoj za protetski nadomjestak. Vijčana fiksacija je preporučljiva jer se smanjuje rizik od

bolesti mekih tkiva, kao što su mukozitis i periimplantitis, zbog zaostatnog cementa u sulkusu (10,11).

CAD/CAM tehnologija obuhvaća četiri ključna elementa: digitalni skener, računalo, računalni softver i glodalicu. Skener se upotrebljava za intraoralno snimanje i stvaranje digitalnih otisaka, koji se zatim prenose u računalo. Računalni softver spaja snimke u trodimenzionalni - virtualni model, koji dentalni tehničar koristi za dizajniranje i izradu protetskog nadomjeska pomoću glodalice (5). Pritom se može koristiti i digitalni obrazni luk za određivanje međučeljskih odnosa, npr. *JMA for Ceramill* (Amann Girrbach AG, Maeder, Austrija). Učitavanjem podataka iz digitalnog obraznog luka dobiva se digitalni artikulator, kao još jedan digitalni alat, koji se koristi za osiguravanje pravilnih okluzijskih dodira i morfologije budućeg protetskog nadomjeska, uzimajući u obzir optimalnu veličinu, oblik i položaj implantata i nadogradnje (61). Procesi planiranja i odlučivanja o terapiji, uz korištenje digitalnih alata, omogućuju integraciju ekstraoralnih i intraoralnih fotografija te analizu trodimenzionalne snimke tj. CBCT za planiranje postavljanja implantata i izradu protetskog nadomjeska. CBCT pruža detaljan prikaz anatomije, omogućavajući terapeutu precizno određivanje gustoće, kvalitete i kvantitete raspoložive alveolarne kosti (13).

Dodatno je moguće, uz softver za kirurško planiranje, izraditi individualiziranu kiruršku vodilicu (šablonu) koja olakšava kirurgu precizno postavljanje implantata. 3D snimke iz virtualnog modela omogućavaju definiranje optimalnog, protetski orijentiranog položaja implantata i kreiranje individualne kirurške šablone. Ova metoda pojednostavljuje kirurški postupak, smanjuje rizike i potencijalne pogreške tijekom ugradnje implantata (14, 15, 16).

3. OTISAK U IMPLANTOPROTETSKOJ TERAPIJI

U procesu izrade fiksnog protetskog nadomjeska potrebno je uzimanje otiska trenutnog stanja u pacijentovim ustima. Tijekom implantoprotetske terapije, otisak precizno dokumentira položaj implantata i njegov odnos prema okolnim strukturama kao što su zubi, alveolarna kost i gingiva (17).

Točan otisak je prvi važan korak pri izradi protetskog nadomjestka nošenog implantatom i najznačajniji je parametar za uspjeh protetske restauracije. Svaka distorzija otiska na implantatima rezultira netočnim prijenosom pozicije implantata i posljedično kompromitiranim, nepasivnim dosjedom protetskog nadomjeska, što može dovesti do daljnjih mehaničkih i bioloških komplikacija, kao što su otpuštanje vijka, frakture, peri-implantatne lezije ili akumulacija plaka. Pasivan dosjed protetskog nadomjeska na implantatu preduvjet je za dugotrajano preživljenje implantata i izravno ovisi o preciznosti otiska (4).

Razni autori su istaknuli da je postizanje apsolutnog pasivnog dosjeda gotovo nemoguće zbog broja koraka uključenih u proces izrade protetskog nadomjeska, posebno kod semicirkularnih i nadomjestaka nošenih većim brojem implantata. Ipak, postoji mala pogreška koja se može tolerirati bez izazivanja budućih komplikacija. Tako se pasivan dosjed definira kao razina dosjeda koja ne dovodi do dugoročnih kliničkih komplikacija. Dok neki autori navode da je maksimalno prihvatljivi nedostatak pasivnog dosjeda 150 μm , drugi postavljaju granicu na 60 μm . Drugi autori pak tvrde da implantati pokazuju maksimalnu pokretljivost od 50 μm u kosti, pa se ova vrijednost može smatrati maksimalnim nedostatkom pasivnog dosjeda za svaki kompleks implantat – protetski nadomjetak (18).

Postoje dvije vrste otisaka: analogni i digitalni. Analogni otisak predstavlja negativ tvrdih i mekih struktura unutar usne šupljine, koji se izlivanjem pretvara u pozitiv - gipsani model. Digitalni otisak se dobiva intraoralnim skeniranjem, pružajući direktnu sliku struktura unutar usne šupljine. Otisak je ključan za prijenos informacija iz usta u dentalni laboratorij, služeći kao glavni komunikacijski alat između stomatologa i dentalnog tehničara (10). Digitalni otisak nudi prednost u kraćem vremenu potrebnom za uzimanje otiska u usporedbi s analogim procesom koji zahtijeva odabir i prilagodbu žlice, nanošenje adhezivnog sredstva, miješanje materijala i čekanje na polimerizaciju materijala. Kod analognog otiska, koristi se individualna žlica dobivena prethodnim situacijskim otiskom u konfekcijskoj žlici. Nasuprot tome, pri digitalnom skeniranju odmah se pristupa skeniranju, što omogućava trenutnu vizualizaciju i provjeru ispravnosti otiska te analizu

detalja i mogućih pogrešaka, što je kod analogne metode moguće tek nakon pregleda gipsanog modela. Digitalna tehnologija također omogućava istovremeno uzimanje međučeljusnog registrata tijekom skeniranja, za razliku od analogne metode, gdje je to zasebna faza (19).

Za analogni otisak koriste se konfekcijske ili individualne žlice i odgovarajući otisni materijal. Individualne žlice, posebno važne tijekom implantoprotetske rehabilitacije, osiguravaju jednakomjernu debljinu otisnog materijala zahvaljujući jednolikoj udaljenosti od svih tkiva usne šupljine, što doprinosi ravnomjernoj polimerizaciji. Današnji materijali za otiskivanje su precizni, elastični i dimenzijski stabilni, a dijele se na neelastične i elastične, pri čemu se preferiraju elastični materijali kao što su sintetički elastomeri i hidrokoloide. Hidrokoloide se dalje dijele na ireverzibilne, koji su hidrofilni, jednostavni za korištenje i cjenovno pristupačni, te se koriste za uzimanje anatomskih otisaka i izradu studijskih modela, i reverzibilne, koji zahtijevaju posebnu opremu i nisu uobičajeni u praksi. Pri izradi radnih modela, preferiraju se sintetički elastomeri kao što su polisulfidi, silikoni i polieteri, s posebnim naglaskom na adicijske silikone zbog njihove visoke preciznosti i dimenzijske stabilnosti, za razliku od kondenzacijskih silikona koji gube na dimenzijskoj stabilnosti zbog otpuštanja alkohola tijekom polimerizacije. Polieteri su također visoko precizni i stabilni bez nusprodukata polimerizacije. Materijali variraju po viskoznosti, od rijetkih, srednje gustih do gustih (6).

Za visokokvalitetan analogni otisak, osobito na implantatima, gdje je potrebna izuzetna preciznost, preporuča se upotreba elastičnih materijala, specifično adicijskih silikona ili polietera, unutar individualne žlice. Nakon uzimanja analognog otiska, dentalni tehničar izlijeva radni model i započinje s izradom protetskog nadomjeska. Korištenjem digitalne tehnologije se, intraoralnim skeniranjem u ordinaciji, uzima digitalni otisak te se time direktno prenose informacije u laboratorij za nastavak izrade nadomjeska u računalnom softveru. Treća mogućnost jest kombinacija analogne i digitalne metode koja uključuje uzimanje otiska u ordinaciji analognom metodom te potom izlijevanje radnog modela iz sadre i zatim skeniranje izlivenih radnih modela ekstraoralnim skenerom za daljnju digitalnu obradu u računalnom softveru (19).

Postoje dvije glavne metode analognog otiskivanja pri implantoprotetskoj terapiji: tehnika otvorene i zatvorene žlice, te digitalni otisak intraoralnim skenerom (eng. *intraoral scanner*, IOS) (19).

3.1. Analogne tehnike otiskivanja

3.1.1. Tehnika otiskivanja otvorenom žlicom

U procesu implantoprotetske terapije, otvorena tehnika otiskivanja se često koristi. Za otisak se može upotrijebiti individualna žlica, ili u izuzetnim situacijama konfekcijska žlica s otvorima na mjestima implantata. Izrada individualne žlice započinje uzimanjem prvog, anatomskeg otiska pomoću konfekcijske žlice i najčešće, alginata, nakon čega slijedi izrada same individualne žlice u laboratoriju. Ovaj anatomske otisak poslužit će dentalnom tehničaru za izradu individualne žlice s perforacijama na odgovarajućim mjestima gdje je ugrađen implantat, a pritom koristeći svjetlosno ili kemijski polimerizirajući akrilat kao materijal izbora (19).

Za uzimanje otiska tehnikom otvorene žlice, kao i kod zatvorene žlice, prvi korak je pričvršćivanje otisnih nadogradnji na implantate uz pomoć momentnog ključa na iznos sile koju preporučuje proizvođač izabranog implantoprotetskog sustava. Prije samog otiskivanja, terapeut isprobava dosjed i rubove individualne žlice, čiji rubovi moraju biti dovoljno dugi da prekrivaju gingivne girlande za 3 do 5 mm. Žlica mora osigurati prostor od oko 3 mm za otisni materijal između žlice i struktura koje se otiskuju. Ako je potrebno, terapeut frezom prilagođava žlicu, skraćuje ju ili proširuje otvore za otisne nadogradnje ako su premali. Prije apliciranja otisnog materijala u žlicu, potrebno ju je premazati adhezivom ovisno o materijalu koji se koristi, i po potrebi dodati male perforacije za bolju retenciju otisnog materijala (19).

Otisak se uzima jednovremeno, koristeći jedan ili dva otisna materijala različite konzistencije, koji se mogu miješati ručno ili preporučljivo, strojno. Otisni materijal srednje konzistencije se aplicira u individualnu žlicu, dok se direktno oko otisnih nadogradnji, preostalih zubi, te alveolarnog grebena štrcaljkom nanosi materijal srednje ili rijetke konzistencije. Nakon nanošenja materijala, žlica se precizno pozicionira te se otiskuje položaj implantata. Fiksacijski vijak otisne nadogradnje prolazi kroz perforaciju u individualnoj žlici, omogućavajući njezino odvijanje i vađenje sa žlicom iz usta, nakon polimerizacije otisnog materijala. Na taj način otisna nadogradnja ostaje unutar žlice s polimeriziranim otisnim materijalom te se šalje u dentalni laboratorij (19).

Glavni nedostatak ove metode jest složenost postupka i potreba za izradom individualne žlice, što povećava troškove i produžuje vrijeme izrade u laboratoriju. Međutim, prednost je visoka

preciznost u prijenosu položaja implantata u laboratorij, s minimalnim rizikom od odvajanja otisne nadogradnje od otiska (19).

3.1.2. Tehnika otiskivanja zatvorenom žlicom

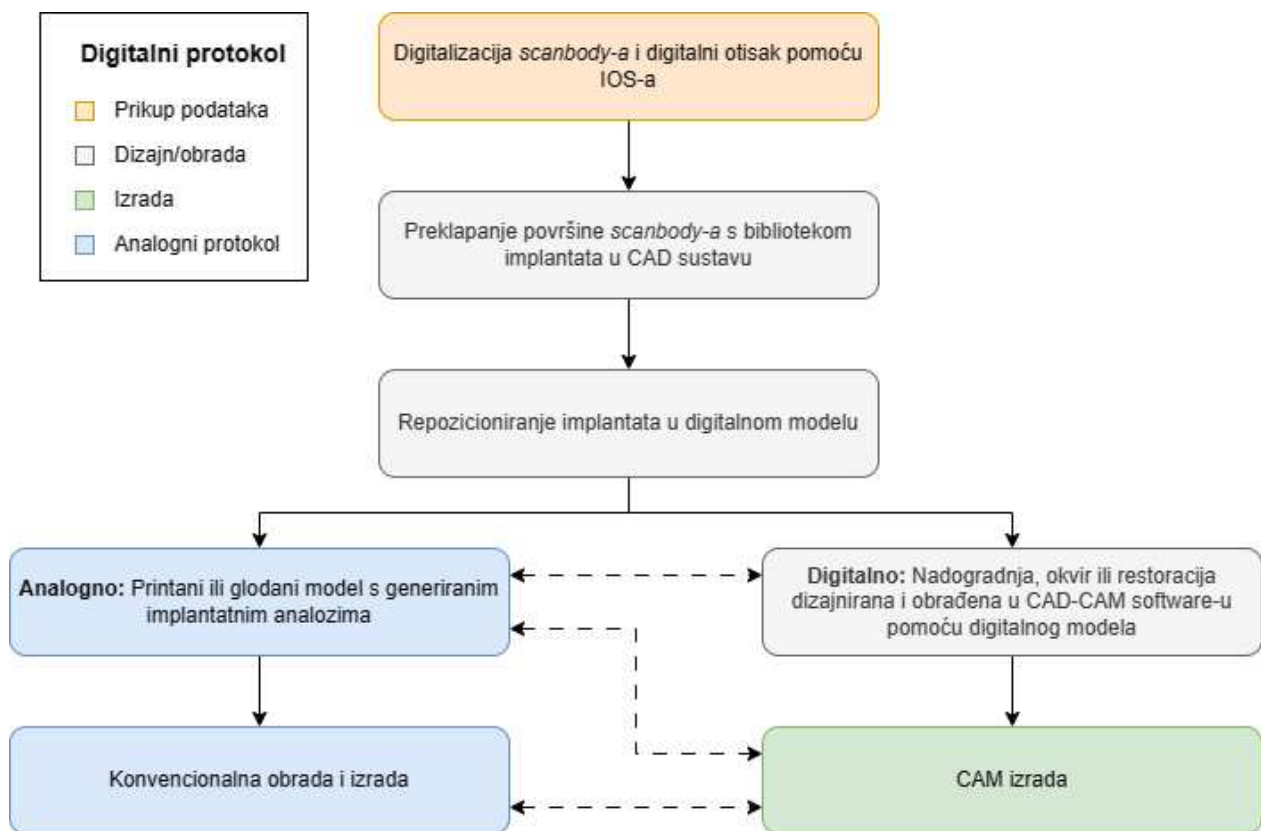
Za otiskivanje u procesu implantoprotetske terapije, tehnika zatvorene žlice uključuje upotrebu konfekcijske žlice. Položaj implantata prenosi se u laboratorij s otisnom nadogradnjom koja se fiksira na implantat, a zatim se na njih pričvršćuje plastična prijenosna kapica pomoću sustava „priključka“ koja ostaje unutar otiska nakon što se otisni materijal polimerizira. Sintetički elastomeri, polieteri ili adicijski silikoni, su materijali izbora, te se kao i kod tehnike otiskivanja otvorenom žlicom, najčešće koriste u jednovremenoj tehnici s dva materijala različite konzistencije. Materijal za otiskivanje se preferira miješati strojno, iako je moguće i ručno miješanje. Materijal guste ili srednje konzistencije aplicira se unutar žlice, dok se otisni materijal srednje ili rijetke konzistencije aplicira direktno oko otisnih nadogradnji, preostalih zubi i struktura koje se otiskuju pomoću štrcaljke. Nakon polimerizacije materijala i vađenja otiska, prijenosne kapice ostaju unutar otiska, dok otisne nadogradnje ostaju fiksirane na implantatima te ih je potrebno ukloniti i poslati u laboratorij zajedno s otiskom. Dentalni tehničar tada ponovno postavlja otisne nadogradnje u otisak prilikom izlivanja radnog modela, što omogućuje precizan prijenos položaja implantata (19).

Glavni nedostatak ove metode je potencijalno manja preciznost spoja između otisne nadogradnje i prijenosne kapice, što čini ovu tehniku manje točnom od tehnike s otvorenom žlicom, gdje otisna nadogradnja ostaje fiksirana unutar otisnog materijala. Postoji i rizik od loma plastičnih prijenosnih kapica, što može zahtijevati ponovno otiskivanje. Međutim, prednosti uključuju jednostavnost postupka, upotrebu konfekcijskih žlica, i nisku cijenu prijenosnih kapica i otisnih nadogradnji (19).

Istraživanje Leeja i suradnika pokazalo je da je tehnika otvorene žlice preciznija za protetske radove koji uključuju tri ili više implantata, dok su za radove s jednim do tri implantata otvorena i zatvorena tehnika podjednako precizne. Ovo omogućava terapeutima izbor tehnike otiskivanja na temelju opsega posla i osobnih preferencija, posebice kada rad uključuje do tri implantata (20).

3.2. Digitalni otisak

Digitalni otisci se dobivaju korištenjem intraoralnog skenera koji skenira meka i tvrda tkiva unutar usne šupljine te ih prenosi u računalni program za stvaranje 3D virtualnog modela. Virtualni modeli su poželjni zbog njihove praktičnosti - osim što pružaju sve neophodne informacije za planiranje i izradu protetskog nadomjeska kao i fizički modeli, ne zauzimaju prostor, olakšavaju komunikaciju s laboratorijem, i jednostavniji su za pohranjivanje za eventualne buduće popravke ili izradu novog nadomjeska. Studija Yuzbasioglu E. i suradnika pokazala je da je proces digitalnog otiskivanja brži i ugodniji za pacijenta u usporedbi s konvencionalnim metodama, posebice zbog odsutnosti neugodnih mirisa otisnih materijala i refleksa povraćanja. U dentalnom laboratoriju se, nakon uzimanja digitalnog otiska intraoralnim skenerom, nastavlja digitalni tijek planiranja i izrade protetskog nadomjeska, a moguće je i ispisivanje fizičkog modela pomoću 3D printera ukoliko je potrebno za planiranje i/ili izradu nadomjeska, (Slika 1.) (21).



Slika 1. Protokol rada s otisnom nadogradnjom može biti potpuno ili djelomično digitalan.

Primjenom digitalnih otisaka i CAD/CAM tehnologije skraćuje se vrijeme potrebno za izradu protetskog nadomjeska, kako za doktora dentalne medicine, tako i za dentalnog tehničara.

Digitalnim tijekom izrade smanjuju se broj koraka u procesu izrade, što dovodi do manje mogućnosti za pogreške. Već pri uzimanju digitalnog otiska intraoralnim skenerom, moguće je u realnom vremenu identificirati i ponovnim skeniranjem ispraviti pogreške, tako osiguravajući visoku kvalitetu otiska koji se šalje u dentalni laboratorij. Također, pacijentima je postupak uzimanja digitalnog otiska značajno ugodniji u usporedbi s klasičnim metodama, posebice za one s povećanom salivacijom ili s naglašenim nadražajem na povraćanje (*gag* refleks) (17).

Smanjeno vrijeme kliničkog rada povezano s korištenjem intraoralnih skenera može poboljšati kliničku učinkovitost i iskustvo pacijenata tijekom postupaka otiskivanja (eng. *Patient-reported outcome measures*, PROM). PROMs su bitna komponenta dentalne medicine utemeljene na dokazima jer omogućuju evaluaciju terapijskih metoda iz perspektive pacijenta. IOS je generalno preferiran od strane pacijenata u odnosu na konvencionalne otiske (23).

Za digitalno otiskivanje tijekom implantoprotetske terapije koristi se otisna nadogradnja, skenirana zajedno s tkivima usne šupljine, prenoseći tehničaru točne informacije o poziciji implantata. Prvi korak uključuje skeniranje izlaznog profila, odnosno arhitekture mekih tkiva bez pričvršćenog gingiva formera i bez privremenih nadomjestaka na implantatu. Zatim slijedi pričvršćivanje otisne nadogradnje na implantat, najčešće vijčanom fiksacijom. Optičko skeniranje otisne nadogradnje, zbog njezine specifične trodimenzionalne geometrije, omogućava precizno određivanje položaja implantata u virtualnom modelu i njegov odnos prema okolnim strukturama. Digitalno otiskivanje u implantoprotetskoj terapiji, koristeći intraoralni skener, smanjuje pogreške koje se mogu pojaviti kod konvencionalnih metoda otiskivanja i pričvršćivanja to jest, uklanjanja otisnih nadogradnji. Skeniraju se kompletan gornji i donji zubni luk s otisnom nadogradnjom te dodatna dva skena kojima se određuju međučeljusni odnosi (15).

4. INTRAORALNI SKENERI

Era digitalne stomatologije započela je u ranim osamdesetim godinama prošlog stoljeća s razvojem digitalnih otisaka potpomognutih računalom i CAD/CAM sustava koji su se razvijali gotovo istodobno. Prvi patent za CAD/CAM uređaj registriran je 1984. (1), iako su doktori dentalne medicine već tijekom 1970-ih godina eksperimentirali s optičkim uređajima za mapiranje unutar usne šupljine u potrazi za naprednim tehnološkim rješenjima. CEREC (engl. *Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics*), koji je lansiran 1987., postao je prvi CAD/CAM uređaj dostupan na tržištu, čime je postavio temelje za široku upotrebu ove tehnologije unatoč ranim eksploracijama drugih kompanija i pojedinaca u polju tehnološkog napretka dentalne medicine. CEREC je nastao iz vizije njegovih kreatora da se omogući izrada bioloških, funkcionalnih i estetski dosljednih restauracija zuba u samo jednom posjetu. U početku je primjena bila ograničena na izradu inlaya, no nadogradnjama CEREC 2 i CEREC 3 proširena je i na onlaye te krunice. Nakon 2005., tržište je obogaćeno novim generacijama intraoralnih skenera s unaprijeđenim karakteristikama, dok se u posljednje vrijeme bilježi pojava brojnih novih skenera ili poboljšanih verzija postojećih modela (24). Razvojem intraoralnih skenera uspješno su prevladane brojne poteškoće povezane s konvencionalnim metodama otiskivanja, kao što su neprikladan odabir otisnih žlica, problemi s odvajanjem otisnog materijala od žlice, deformacije otisnog materijala, te izazovi vezani uz fizičku obradu i čuvanje modela (25).

Intraoralni skeneri predstavljaju medicinske uređaje namijenjene za točno uzimanje optičkih, digitalnih otisaka i pretvaranje geometrije zuba ili protetskih nadogradnji u standardni transformacijski jezik (STL format). Oni digitaliziraju intraoralnu situaciju u virtualni model, čime se započinje digitalni radni proces uključen u sustav računalno potpomognutog dizajniranja i izrade (CAD/CAM). Osim intraoralnog skenera, sustav uključuje softver za obradu snimljenih podataka i dizajniranje nadomjestaka, te uređaje kao što su glodalice ili 3D pisaci za proizvodnju konačnog nadomjestka. Digitalni otisci smanjuju mogućnost pogrešaka povezanih s konvencionalnim otiscima, pojednostavljujući proceduru i skraćujući vrijeme potrebno za izradu protetskog rada (26). Snimanje digitalnog otiska je jednostavan klinički postupak u čijoj se pozadini nalazi prilično složen radni mehanizam. Tijek rada započinje emitiranjem svjetlosne zrake prema objektu koji se digitalizira. Kontakt s površinom dovodi do refleksije zrake što snimaju dvije ili više kamera na vrhu intraoralnog skenera i stvaraju 3D prikaz u obliku individualnih slika i videa, a koje zatim obrađuje softver raspoznavanjem točaka od interesa. Intenzitet refleksije registrira se kao napon. Tamniji dijelovi zuba predstavljaju viši napon, a svjetliji dijelovi niži napon. Postoje tri najčešća

principa rada IOS-a, triangulacija, paralelno konfokalno lasersko skeniranje i aktivno uzorkovanje valne fronte od kojih se posljednje navedeni princip smatra najpreciznijim i sve je popularniji među korisnicima (26,27).

Pri odabiru IOS-a, važno je uzeti u obzir ne samo njegove operativne značajke - kao što su veličina vrha za intraoralno skeniranje, brzina stjecanja slike ili jednostavnost manipulacije - već i njegovu točnost (eng. *accuracy*), tj. sposobnost da proizvede vjerodostojan otisak. Prema DIN ISO 5725 standardu, za skenere se koriste dva pojma kojima se opisuje točnost mjerenja, a to su preciznost (eng. *precision*) i istinitost (eng. *trueness*). Istinitost se sastoji od sposobnosti mjerenja da se podudara s stvarnom vrijednošću koja se procjenjuje. Istinitost IOS-a može se ocijeniti superponiranjem digitalnog otiska skeniranog objekta s referentnim modelom istog objekta, dobivenim industrijskim referentnim skenerima (kao što su koordinatni mjerni uređaj ili industrijski optički skener s točnošću $<5 \mu\text{m}$). Superponiranje modela ocjenjuje se korištenjem softvera za reverzno inženjerstvo kako bi se matematički odredila odstupanja. Dok je preciznost definirana kao sposobnost dosljednog dobivanja iste vrijednosti mjerenja. Odabrani IOS bi trebao pokazivati visoku istinitost i preciznost. Preciznost IOS-a može se ocijeniti superponiranjem različitih skenova istog objekta izvedenih istim IOS uređajem (26, 28, 29).

Pouzdanost intraoralnih skenera, za snimanje visokokvalitetnih otisaka za izradu jednostavnih i složenih protetskih nadomjestaka, dokazana je mnogim *in vitro* studijama, iako istraživanja o preciznosti digitalnih otisaka u implantologiji ostaju ograničena. Razlog tome je neusklađenost brzine objavljivanja znanstvenih radova i brzine napretka digitalne dentalne tehnologije pa je vrlo mali broj istraživanja koja se bave pitanjem točnosti digitalnih otisaka u implantoprotetici (30). Intraoralni skeneri trenutno ne mogu snimati subgingivalne površine ili unutrašnjost implantata, stoga se za to koriste posebne otisne nadogradnje za digitalni otisak. Iako većina studija pokazuje zadovoljavajuće rezultate za pojedinačne implantate, upotreba intraoralnih skenera za semicirkularne mostove još uvijek nije u potpunosti podržana (31, 32). Superpozicija slika tijekom njihovog spajanja može nastati zbog teškoće u prepoznavanju bezubih područja jer nedostaje referentnih anatomskih struktura, a preciznost može opadati s većim brojem implantata. Također, i dubina ugradnje implantata ima utjecaj na preciznost, gdje su dublje postavljeni implantati skloniji pogreškama, dok njihova angulacija ne utječe značajno na preciznost (33). S obzirom na

raznolikost dostupnih skenera i brz razvoj digitalne tehnologije, važno je pratiti napredak i odabrati uređaj koji najbolje zadovoljava potrebe prakse (34).

4.1. Tehnike rada IOS-a

Intraoralni skeneri funkcioniraju na osnovi optičkog skeniranja, koristeći ili vidljivo svjetlo ili pojačanu zraku svjetlosti (laser) za osvjetljavanje objekta ili se koriste poljem uzoraka gdje se zabilježene informacije pretvaraju u digitalni format pomoću senzora.

4.1.1. IOS bazirani na laserskoj zruci

IOS bazirani na laserskoj zruci mogu funkcionirati na dva načina. Podatci za nastanak digitalnog otiska dobivaju se ili tehnikom pojedinačne slike ili slijedom kontinuiranih slika. Ove tehnike omogućuju skeneru da registrira slijed slika kroz različite kutove i pozicije. Trodimenzionalni model pritom nastaje spajanjem slika u stvarnom vremenu, dok model, ovisno o sustavu, koji se koristi može biti monokromatski ili multikromatski. Jedna od glavnih karakteristika ovih skenera je ta da ne trebaju koristiti reflektirajući prah.

- Paralelne konfokalne zrake

U ovoj tehnici rada paralelne laserske zrake prolaze kroz glavu skenera i padaju na obasjani objekt. Zrake se ponašaju kao točkasti izvori te se zatim odbijaju od objekta i prolaze kroz mali otvor, aperturu i padaju na detektor. Slika se, bilježeći intenzitet emitirane svjetlosti točku po točku pomoću odgovarajućeg detektora, može formirati tek u memoriji računala i biti prikazana na zaslonu. Najznačajnija je prednost konfokalnih zraka u mogućnosti detekcije svjetlosti emitirane iz vrlo malog volumena u uzorku, gdje u prosjeku sustav detektira oko tri i pol milijuna podatkovnih točaka po čeljusti (17).

- Laserska triangulacijska tehnika

Skener u ovoj tehnici koristi crvenu lasersku zraku i mikrozrcala koja titraju 20 000 ciklusa u sekundi. Ovdje 3D model nastaje slijedom pojedinačnih slika iz različitih kutova.

- Tehnika strukturirane svjetlosti i laserska triangulacija

Ovaj način rada objedinjuje laser i vidljivo svjetlo. Koriste se zeleni laser i četiri emitirajuće diode s ciljem osvjetljavanja objekta dok metalno-oksidni poluvodič prihvaća reflektirane zrake kako bi slijedom kontinuiranih slika stvorio precizni 3D model zubnog luka.

4.1.2. IOS bazirani na vidljivom svjetlu

Ova grupa skenera koristi se vidljivim spektrom svjetlosti. Tri su tehnike snimanja slike: pojedinačne slike, videozapisa i slike u stvarnom vremenu:

- Tehnika pojedinačne slike

Ova metoda se koristi aktivnom triangulacijom. Tri pravocrtne svjetlosne zrake koriste se za pronalaženje željenog objekta promatranja u trodimenzionalnom prostoru. Dolaskom svjetlosne zrake na objekt dolazi do disperzije svjetla i ono se nejednako reflektira, što utječe na preciznost otiska te se zato koristi prah za smanjenje disperzije. Kod novih generacija skenera nije nužna upotreba praha. Primjer je *Cerec Omnicam* (Sirona Dental Systems, Bensheim, Njemačka) koji u pravilu ne treba prah prije skeniranja te se na njemu slike obrađuju i prikazuju u stvarnom vremenu na ekranu u punoj boji (35).

- Tehnika videozapisa

Ova tehnika koristi se aktivnim pretvaranjem videozapisa u trodimenzionalne podatke i stvaranje digitalnog modela, dok sve ostale tehnike skupljanja podataka koriste neku od tehnika hvatanja slike. Preko algoritama za obradu pomoću fokusiranja i defokusiranja zabilježenog zapisa određuje dubinu polja. Primjer je *Lava Chairside Oral Scanner* (3M ESPE, Seefeld, Njemačka) koji sadrži 192 plave LED lampe, 3 senzora i 22 leće, koje odjednom hvataju informacije o objektu iz različitih perspektiva (3). Skener hvata 20 trodimenzionalnih setova podataka po sekundi što rezultira sveukupnim brojem od 24 milijuna podatkovnih točaka po luku (36).

- Tehnika ultrabrzog optičkog razdvajanja

Ova tehnika ima sličnosti s tehnikom videozapisa. Dok se kod tehnike videozapisa model stvara umjetno, na temelju već spomenutog algoritma, kod tehnike ultrabrzog optičkog razdvajanja se upotrebljava slijed kontinuiranih slika, i to oko 1000 trodimenzionalnih slika, kako bi se stvorio pravi geometrijski oblik. Intraoralni skener koji radi na principu ove tehnologije nalazi se u *3Shape TRIOS IOS System* (3Shape, Copenhagen, Danska). Odlikuje se sposobnošću hvatanja 3000

dvodimenzionalnih slika u sekundi te ne zahtijeva upotrebu reflektirajućeg sredstva, titandioksidnog praha. Također ima mogućnost oslanjanja na zube prilikom skeniranja kao oslonac tijekom skeniranja (37).

4.2. Digitalni protokol rada uz IOS

CAD/CAM tehnologija obuhvaća četiri ključna elementa: digitalni skener, računalo s pripadajućim softverom i uređaj za glodanje. Osnovna funkcija skenera jest sakupljanje podataka nužnih za sljedeće korake obrade. Stoga, snimanje digitalnog otiska predstavlja inicijalni korak u radnom procesu (17).

U digitalnom su protokolu za izradu protetskih nadomjestaka nošenih implantatom potrebne tri faze ili koraka. Prvi je intraoralno skeniranje koje generira datoteku (obično u STL formatu), drugi je preuzimanje IOS datoteke putem CAD softvera koji zatim stvara virtualni model i dizajnira protetski nadomjestak, a treći je proizvodnja samog nadomjestka i, ako je potrebno, 3D modela, koristeći razne tehnologije koje se kreću od subtraktivnih do aditivnih (38).

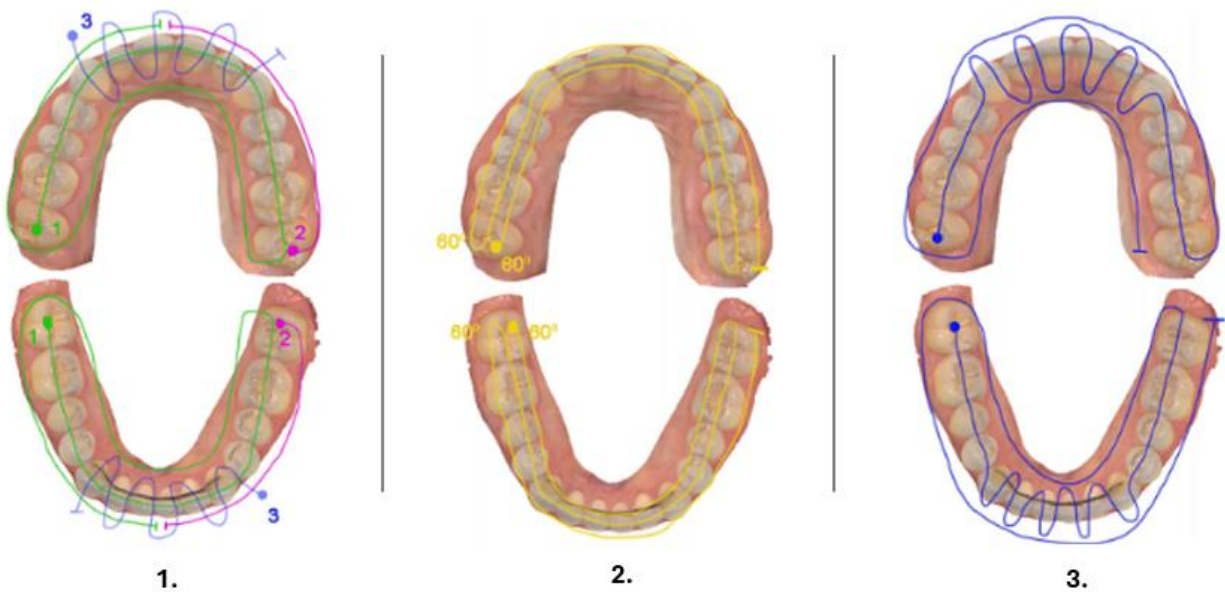
S tehničkog aspekta, CAD/CAM tehnologija se razvrstava u tri osnovna pristupa. Prvi pristup obuhvaća kompletnu proceduru unutar ordinacije – od skeniranja zuba, preko dizajniranja nadomjestka, do glodanja u CAM uređaju i završne obrade nadomjestka (eng. *in-house*). Drugi pristup podrazumijeva da se skeniranje i dizajniranje obavljaju u ordinaciji, dok se faza glodanja i završne obrade nadomjestka izvodi u dentalnom laboratoriju. Treći pristup predstavlja najjednostavniju opciju za onoga tko skenira, jer se nakon skeniranja sve daljnje faze, uključujući dizajniranje i proizvodnju, odrađuju u dentalnom laboratoriju ili specijaliziranom CAD/CAM centru kojem se šalju digitalni otisci (17).

Ovisno o IOS-u koji je u upotrebi, daljni se tijek rada može podijeliti na tri vrste: otvoreni sustav, zatvoreni sustav te zatvoreno-otvoreni sustav. U otvorenom sustavu kliničar izabire željeni CAD softver i CAM uređaj te se u tom slučaju skenirani podatci moraju pretvoriti u poseban format, *standardni teselacijski jezik* (engl. *Standard Tessellation Language*, STL). STL datoteka točno prenosi geometrijski oblik trodimenzionalnog objekta jer može nastati pogreška u čitanju podataka kada se datoteka otvara u drugom softveru. Ovaj je tip datoteke univerzalan i podržan od većine CAD platformi. Pritom isti proizvođač proizvodi intraoralni skener, CAD softver i CAM jedinicu.

Zatvoreno-otvoreni sustavi su slični otvorenima samo što u ovom slučaju dentalni tehničar/dizajner radi u drugom CAD softveru nego proizvođač skenera (17).

4.3. Tehnike uzimanja digitalnog otiska

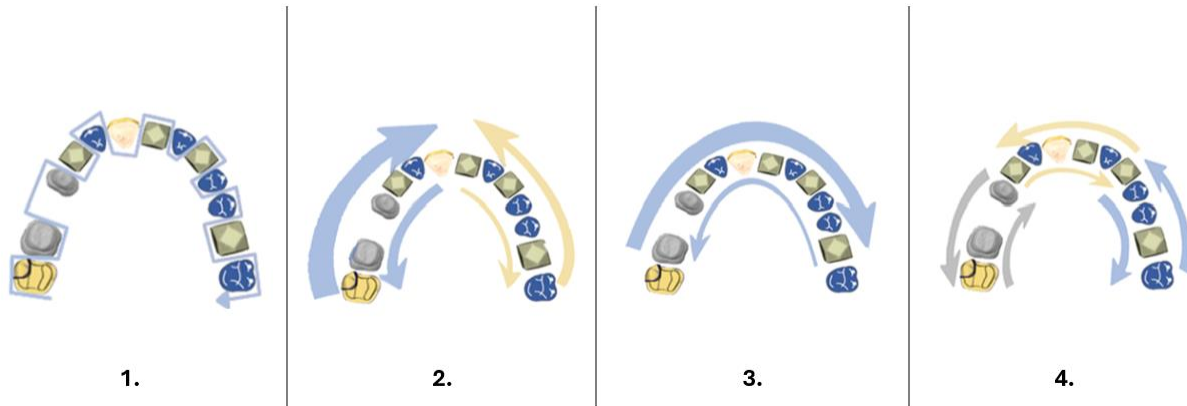
Obrazac skeniranja (eng. *scanning pattern*) može se definirati kao redoslijed kojim se stječe digitalni intraoralni sken. Općenito se preporučuje slijediti obrazac skeniranja koji preporučuje proizvođač odabranog IOS-a, (Slika 2.) (39).



Slika 2. Tehnike skeniranja prema preporukama IOS proizvođača:

1. iTerо, Align Technologies
2. Primescan, Dentsplay Sirona
3. Trios, 3Shape.

Postupak dobivanja digitalnog otiska podliježe općim uputama koje variraju ovisno o korištenom sustavu, no ključno je razumjeti različite metode skeniranja kako bi se uspješno prilagodile različitim kliničkim situacijama bez kompromitiranja preciznosti. Medina-Sotomayor i suradnici identificirali su četiri glavne tehnike skeniranja, (Slika 3.) (40).



Slika 3. Tehnike skeniranja.

Vanjsko-unutarnje (1.): Prvo, okluzalne površine, počevši od lijevog drugog molara do desnog drugog molara, vraćajući se preko vestibularnih površina i na kraju prelazak preko palatinalnih površina.

Kvadranti (2.): Prvo, okluzalne površine, počevši od desnog središnjeg sjekutića prema desnom drugom molaru, vraćajući se preko vestibularnih površina, a zatim palatinalne površine. Drugo, okluzalne površine, počevši od lijevog središnjeg sjekutića do lijevog drugog molara, vraćajući se preko vestibularnih površina, a zatim palatinalne površine.

Sekstanti (3.): Prvo, okluzalne površine, počevši od desnog drugog molara do desnog prvog premolara, vraćajući se preko vestibularnih površina, a zatim palatinalne površine. Drugo, okluzalne površine, počevši od desnog očnjaka do lijevog očnjaka, vraćajući se preko vestibularnih površina, a zatim palatinalne površine. Treće, okluzalne površine, počevši od lijevog prvog premolara do lijevog drugog molara, vraćajući se preko vestibularnih površina, a zatim palatinalne površine.

Sekvencijalno (4.): Sekvencijalno skeniranje tri površine svakog zuba (okluzalne, vestibularne i palatinalne), izvodeći pokret u obliku slova "S" od desnog drugog molara u svim smjerovima i bez povratka na početnu točku.

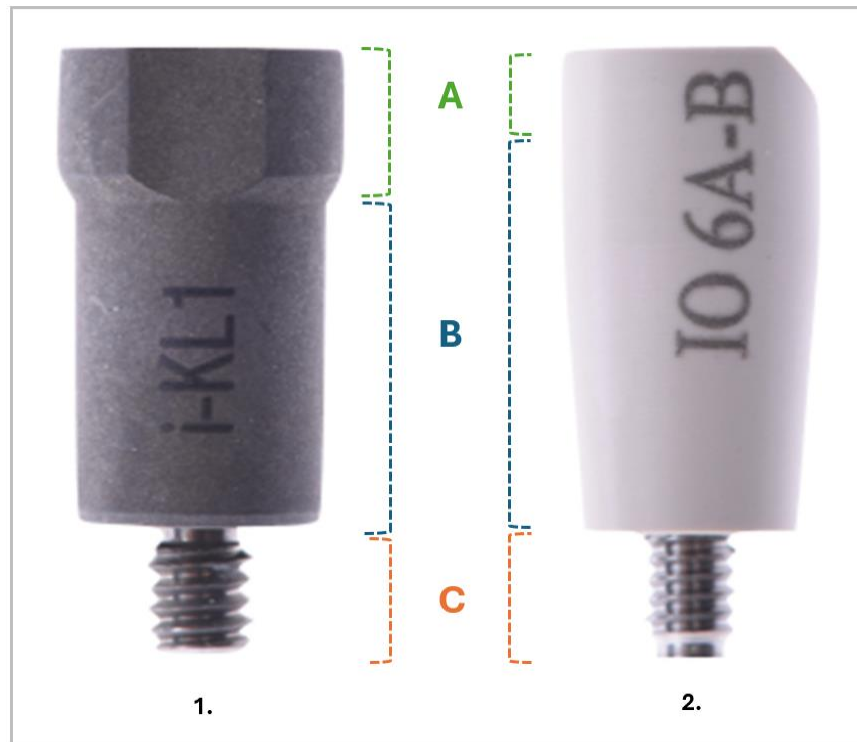
Proces je uvijek započinjao s okluzalnim površinama kao referencama prilikom uzimanja otiska, a konačni prelazak izvodio se kako bi se popunili prostori koji nisu imali digitalne informacije, općenito interproksimalni prostori (40).

Nekoliko se praktičnih savjeta navodi za korištenje IOS-a zprilikom procesa skeniranja:

- Nastavak IOS-a držati blizu i paralelno s okluzalnim površinama zuba ili gingive.
- Ne treba napredovati prebrzo, kako bi se olakšalo spajanje slika digitalnog skena (savjetuje se skenirati površine najbolje što možete, a zatim nastaviti dalje, izbjegavajući povratak na područja koja su već u potpunosti skenirana).
- Pokreti trebaju biti linearni, a ne kaotični ili nasumični; linearni pokret stvara dijelove površina na kojima se temelje nove točke za napredovanje skena.
- Obrazi, usne i jezik trebaju biti odmaknuti od zuba uz pomoć odgovarajućih uređaja (retraktori) te bi polje skeniranja trebalo biti što je više moguće suho kako bi se smanjila refleksija svjetlosti uzrokovana skinom (vidljivost i dostupnost operativnog polja ključni su faktori). Uloga asistenta je pratiti pokrete stomatologa pomažući u odmicanju jezika dalje od zubnih površina i njegov fokus je na pacijentu, dok bi stomatolog trebao pratiti samo napredak prikupljanja informacija na monitoru, izbjegavajući koliko je moguće gledanje u usta pacijenta.
- U slučaju potpuno bezubog luka s malo ili nimalo pričvrzne gingive, iskustvo i znanje operatera o ograničenjima IOS-a su ključni za uspjeh skeniranja. Napredovanje skeniranja na pokretnim i nestabilnim tkivima bez fiksnih referenci (kao što su zubi ili širok pojas pričvrzne gingive) stvara poteškoće za proces spajanja slika. Međutim, postoje praktični trikovi kako ih prevladati. Neki autori su predložili posebne oblike otisnih nadogradnji s pričvrscima u obliku zastavica ili prstenova, koji se pričvršćuju na otisne nadogradnje i time stvaraju fiksne referentne točke koje olakšavaju proces skeniranja (38).

5. VRSTE I KARAKTERISTIKE OTISNIH NADogradnji ZA DIGITALNI OTISAK

Komponenta poznata kao otisna nadogradnja za digitalni otisak (*scanbody*, *scan abutment*, *scan flag*, *scan post*, *scan peg*), ključan je element u digitalnom procesu izrade protetskih struktura koje se oslanjaju na dentalne implantate. Njezina primarna funkcija je omogućavanje preciznog digitalnog otiskivanja, čime se identificira precizan položaj implantata za daljnju izradu protetskog nadomjestka. Korištenjem intraoralnog skenera, otisna nadogradnja efikasno prikuplja detaljne informacije o poziciji implantata. Otisne nadogradnje za digitalni otisak su uglavnom izrađene od materijala kao što su titanij (Ti) i polietereeterketon (PEEK), zbog čega se ističu svojom preciznošću i sposobnošću da budu sterilizirane (17). Otisna nadogradnja se sastoji iz tri segmenta: baza, tijelo - centralni dio i regija skeniranja, (Slika 4.). Regija skeniranja je posebno značajna jer je njome određena digitalna usmjerenost i kut nagiba otisne nadogradnje. Pored toga, otisna nadogradnja obično uključuje specifično oblikovan ravni segment kojim se poboljšava identifikacija površina tijekom skeniranja. Otisna nadogradnja može biti dostupna u kliničkoj i laboratorijskoj verziji, pri čemu se razlikuju prema gradivnom materijalu iz kojeg je napravljena regija skeniranja i često po veličini, jer su prostorne mogućnosti unutar usne šupljine pacijenta ograničene, osobito kada je riječ o duljini otisne nadogradnje. Naprotiv, modeli namijenjeni laboratorijskom skeniranju mogu biti dulji. Ova razlika je ključna jer veća površina otisne nadogradnje koja se skenira povećava točnost njezine orijentacije unutar virtualnog modela, te time i preciznost reprodukcije trodimenzionalnog položaja implantata u pacijentovoj čeljusti. Otisne nadogradnje namijenjene korištenju s intraoralnim skenerima obuhvaćaju materijale koji su radioopakni, dok one za ekstraoralno skeniranje sadrže radiolucentne materijale (17, 22, 38, 41, 42).



Slika 4. Dizajn otisne nadogradnje za digitalni otisak: A – regija skeniranja, B – tijelo, C – baza.

(1.) Otisna nadogradnja izrađena od titanija. (2.) Otisna nadogradnja izrađena od PEEK-a.

Preuzeto sa (26).

Tržište je bogato raznolikim proizvođačima implantoprotetskih sustava koji su, uslijed razvoja digitalnog procesa rada, kreirali specifične otisne nadogradnje za upotrebu s vlastitim implantatima. Otisne nadogradnje su dizajnirane s posebnim karakteristikama i namijenjene su isključivo za uporabu s implantatima istog proizvođača. Među njima se izdvajaju proizvođači kao što su: Nobel Biocare, Straumann, Dentsply Sirona, Zimvie, i mnogi drugi, (Slika 5.). Od navedenih proizvođača, Straumann (Basel, Švicarska) primjerice, u svom asortimanu nudi različite otisne nadogradnje prilagođene za upotrebu s njihovim implantatnim sustavom, uključujući modele za intraoralno i ekstraoralno skeniranje, čime se omogućava njihova primjena kako u stomatološkoj ordinaciji, tako i u dentalnom laboratoriju, s preko 50 različitih otisnih nadogradnji dostupnih (43).



Slika 5. Pregled dostupnih otisnih nadogradnji za digitalni otisak. Preuzeto sa (22).

Drugi proizvođač je Dentsply Sirona (Charlotte, Sjeverna Karolina, SAD) koji nudi otisne nadogradnje kompatibilne sa svim svojim implantološkim sistemima, uključujući Ankylos CX, Xive S, Astra EV, Prime.

Osim proizvođača implantoprotetskih sistema, postoje i kompanije poput 3Shape (Kopenhagen, Danska), koje se fokusiraju na proizvodnju intraoralnih i laboratorijskih skenera i CAD softvera, ali također nude i otisne nadogradnje kompatibilne s različitim implantološkim sustavima. Računalni softver intraoralnog i ekstraoralnog, laboratorijskog skenera prepoznaje otisne nadogradnje koristeći njihov jedinstveni identifikacijski broj i uspoređujući njihovu geometriju s bazom podataka unutar samog softvera (eng. *scanbody library*) (44).

Postoje i proizvođači zamjenskih otisnih nadogradnji kao što je Elos Medtech Dental (Göteborg, Švedska), koji su u suradnji s 3Shape-om od 2010. razvijali otisne nadogradnje za višestruke implantatne sisteme (45), te Ticare implants (Valladolid, Španjolska), tvrtka poznata po razvoju

inovativnih tehnoloških proizvoda, uključujući otisne nadogradnje za digitalne otiske za sisteme poput Zimmer Biomet-a, Straumann-a i Nobel Biocare-a (46).

5.1. Klasifikacija otisnih nadogradnji

Na tržištu je dostupan velik broj dostupnih otisnih nadogradnji za digitalne otiske različitih dizajna koje se mogu klasificirati prema materijalu iz kojeg su izrađene te prema načinu pričvršćivanja na implantat (39).

Točnost prenošenja pozicije implantata u digitalni model ovisi o više faktora vezanih za otisne nadogradnje za digitalni otisak, uključujući upravo njihov dizajn ili trodimenzionalnu geometriju, veličinu, materijal izrade, broj sterilizacija i način povezivanja sa samim implantatom. Otisna nadogradnja može biti izrađen kao jedinstveni dio ili se sastojati od dvije razdvojene komponente. Prethodno je spomenuto da otisna nadogradnja za digitalni otisak obuhvaća tri segmenta: bazu, tijelo i regiju skeniranja. Ključna je regija za skeniranje koja određuje trodimenzionalnu geometriju otisne nadogradnje. Baza i tijelo otisne nadogradnje imaju ulogu u uspostavljanju veze između otisne nadogradnje i implantata, a konstrukcija te veze ovisi o tipu implantata koji se koristi, (Tablica 1.) (47).

Tablica 1. Klasifikacija otisnih nadogradnji za digitalni otisak.

Klasifikacija	Tip
Materijal	<ul style="list-style-type: none"> • Jednodijelni PEEK • Dvodijelni PEEK • Metalni
Sustav pričvršćivanja	<ul style="list-style-type: none"> • Vijčano (eng. <i>screw-retained</i>) • Sustav <i>priključka</i> (eng. <i>snap-on</i>) • Magnetska retencija (eng. <i>magnet-retained</i>)

5.2. Dizajn, materijali i metode pričvršćivanja otisnih nadogradnji

Razni su **materijali** od kojih se izrađuju otisne nadogradnje za digitalni otisak: metali (titanij, aluminij ili nehrđajući čelik), PEEK ili plastika. Materijal od kojeg je otisna nadogradnja napravljena utječe na broj mogućih sterilizacija i trajnost veze između implantata i otisne nadogradnje. Otisna nadogradnja za digitalni otisak se najčešće izrađuje od PEEK-a i titanija ili njihove kombinacije, gdje je osnova, tj. baza napravljena od titanija prekrivenog slojem PEEK-a (38).

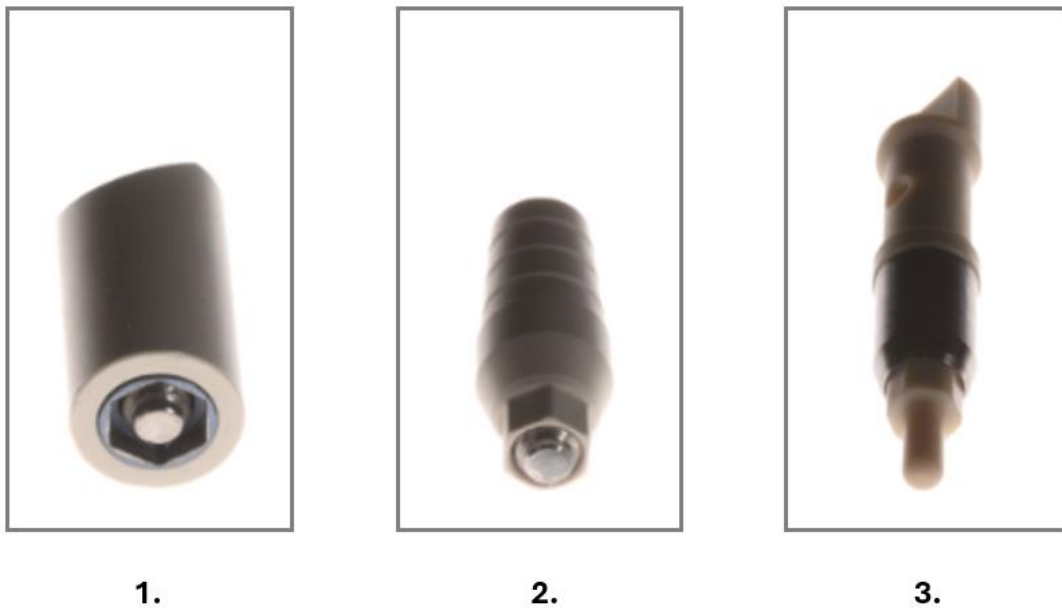
Titan i titanske legure, koje se koriste za izradu dentalnih implantata i protetskih radova, poznati su po svojoj biokompatibilnosti, izvrsnim mehaničkim svojstvima, visokoj čvrstoći i tvrdoći i otpornosti na koroziju, ali s druge strane, i visokoj cijeni i specifičnim nedostacima poput visokog tališta te nekompatibilnosti s termičkim koeficijentom keramičkih materijala (48).

PEEK je polimerni materijal koji se koristi u CAD/CAM tehnologiji za izradu raznih fiksnih i mobilnih protetskih radova, a ističe se biokompatibilnošću i dobrim mehaničkim svojstvima, te je njegova prednost u odnosu na titanij u boljim optičkim svojstvima koja olakšavaju skeniranje, budući da ne reflektira svjetlost kao metal (48, 49). Jednodijelne otisne nadogradnje izrađene isključivo od PEEK-a pokazuju najveću točnost, zatim su iduće jednodijelne izrađene od titanija, dok dvodijelne, tj. kombinacija titanija i PEEK-a može dovesti do manje preciznosti zbog mogućih mikronskih odstupanja pri spajanju ta dva materijala – titanske baze s PEEK-om (50). Međutim, titanij pokazuje veću preciznost nakon više ciklusa sterilizacija u usporedbi s PEEK-om, koji može doživjeti kemijske promjene na visokim temperaturama i time dovesti do manjih pomaka. Iz tog su razloga neke PEEK otisne nadogradnje napravljene za jednokratnu upotrebu ili ih je nužno sterilizirati prema uputama proizvođača (51).

Veza između otisne nadogradnje za digitalni otisak i implantata može se ostvariti vijčanim putem (eng. *screw-retained*), metodom „priključka“ (eng. *snap-on*) i putem sustava magneta (eng. *magnet-retained*).

Vijčana fiksacija se postiže vijkom koji se nalazi u bazi i tijelu otisne nadogradnje. Preporučeni iznos sile na koji se zavija otisna nadogradnja u implantat razlikuje se među proizvođačima. *Snap-on* način fiksiranja zasniva se na načelu frikcije između otisne nadogradnje i implantata, implantatne nadogradnje ili gingiva formera. Time je izbjegnuta potreba za korištenjem vijka.

Sustav magnetske retencije odnosi se uglavnom na dvodijelne otisne nadogradnje gdje je metalna baza vijkom pričvršćena u implantat, dok je regija skeniranja, izrađena od PEEK-a, magnetom povezana s metalnim dijelom (39). Pritom se dosjed titanske otisne nadogradnje na implantat smatra preciznijim u odnosu na dosjed onih izrađenih od PEEK-a jer titanska otisna nadogradnja bolje odgovara na promjene u zakretnom momentu prilikom fiksacije moment ključem i time svaki put osigurava isti dosjed otisne nadogradnje u implantat. Dodatno, upotrebom titanske otisne nadogradnje moguće je na rendgenskoj smimci provjeriti ispravan dosjed otisne nadogradnje. Upotrebom otisne nadogradnje s metalnom bazom osigurava se čvrsta veza s implantatom, dok izrada tijela od PEEK-a olakšava skeniranje i daje bolje optička svojstva, ali se svakako ne smije zanemariti potencijalno odstupanje u dimenzijama, koje je kod ove vrste otisnih nadogradnji najveće, (Slika 6.) (51).



Slika 6. Sustav pričvršćivanja otisnih nadogradnji: vijčana veza (1. i 2.) i frikcijska veza (3.).

Preuzeto sa (38).

Dizajn regije za skeniranje varira među proizvođačima, a cilj je optimizirati 3D geometriju, odnosno dizajn i veličinu otisne nadogradnje, kako bi se omogućilo efikasno skeniranje s više referentnih točaka za jasnu sliku virtualnog modela (26). Za precizno prenošenje pozicije implantata, bitno je da fizička otisna nadogradnja, korištena tijekom skeniranja, odgovara onoj u digitalnoj bazi CAD softvera. Dimenzije otisne nadogradnje, kao što su visina, promjer i kut ravnih površina na regiji za skeniranje, igraju važnu ulogu u dizajnu. Dizajn otisne nadogradnje može

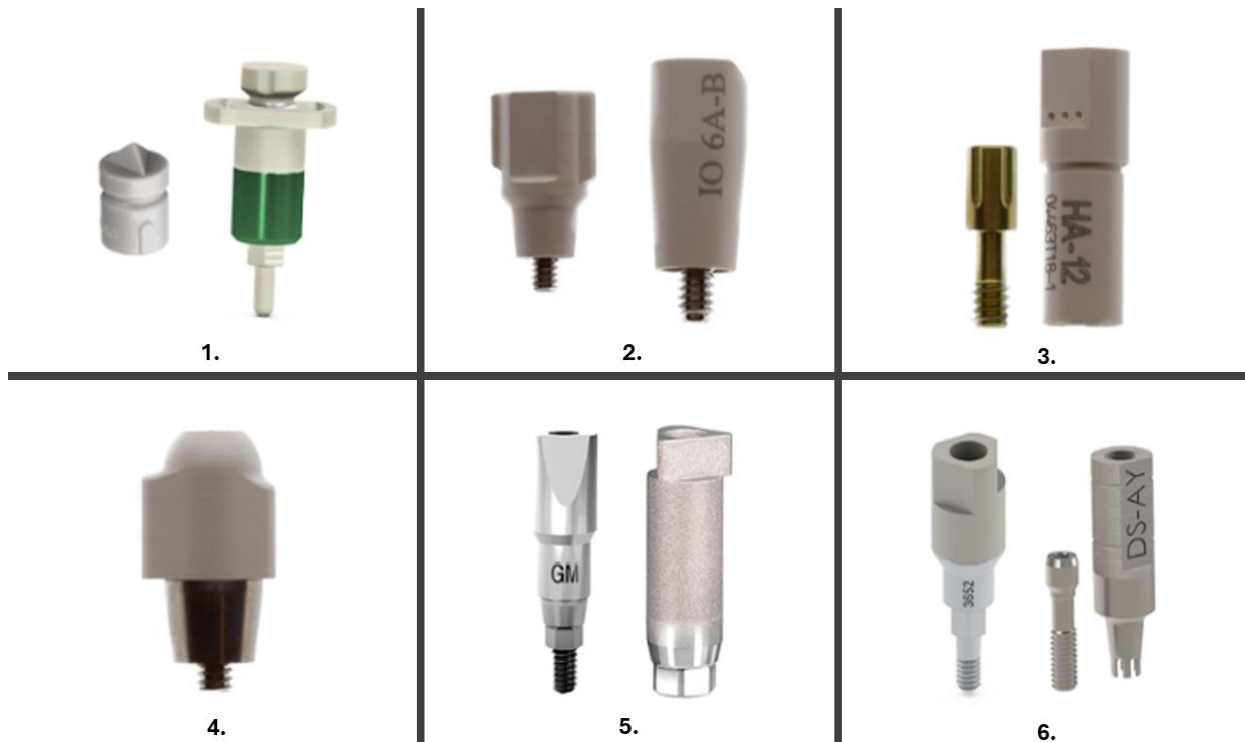
varirati od jednostavnih cilindričnih oblika do složenijih s više ravnih površina i kutova, pri čemu se jednostavniji cilindrični oblici smatraju pouzdanijima i omogućuju operateru brže i preciznije skeniranje, (Slika 7.). U idealnom slučaju bi otisna nadogradnja trebala u potpunosti biti „pročitana“ u samo jednom prolazu skenera preko okluzalne površine (47, 38). Samo će jednostavna otisna nadogradnja, linearnog oblika, bez zareza i konkavnosti, omogućiti operateru da jednostavnim pokretima uhvati i dosegne svaki dio geometrijskog oblika otisne nadogradnje. To se zatim pretvara u kraće vrijeme skeniranja i smanjenje mogućih pogrešaka koje mogu nastati prilikom višestrukog prelaska preko istih površina skenerom. S druge strane, otisne nadogradnje koje nemaju kosine za određivanje položaja i orijentacije implantata mogu otežati skeniranje u odsutnosti drugih jedinstvenih referentnih točaka (kao što su stabilni okolni zubi ili pričvrtna gingiva). U tom slučaju skener može imati poteškoće u prepoznavanju pojedinačnih otisnih nadogradnji jer su one međusobno identične, pa će se dodatkom kosine u dizajn svako otisnoj nadogradnji, kao elementu raspoznavanja, omogućiti skeneru da raspozna komponente budući da će imati različite orijentacije (38).

Visina otisne nadogradnje za digitalni otisak često je faktor s najviše varijacija u odnosu na standardne dimenzije, a korištenje otisne nadogradnje na ispravan način ključno je za smanjenje pogrešaka u prenošenju položaja implantata u virtualni model (52). Visinu otisne nadogradnje treba izabrati na temelju kliničke situacije koju je potrebno skenirati tako da svojoj visinom bude što bliže visini susjednih struktura u usnoj šupljini. Kod ozubljenih pacijenata bi visina otisne nadogradnje trebala biti što bliža visini susjednih zuba ili ostalih otisnih nadogradnji, kako bi se olakšalo linearno napredovanje skenera tijekom skeniranja, ograničavajući koliko je god moguće, vertikalne ekscurzije vrha skenera. Kod potpuno bezubih pacijenata, visina otisne nadogradnje bi trebala biti što niža. U obje je situacije važno da je regija skeniranja otisne nadogradnje potpuno izložena i da nije djelomično pokrivena mekim tkivima (38).

Još jedan element u dizajnu otisne nadogradnje za digitalni otisak jest vrsta njezine **površine**, za koju je preporučljivo da ne bude reflektirajuća. Iz tog se razloga površine metalnih otisnih nadogradnji pjeskare ili se na njih nanosi poseban premaz. Usprkos tim postupcima, nailazi se na poteškoće prilikom skeniranja. S druge strane, PEEK je kao materijal, zbog svoje strukture i nereflektirajuće površine samim time, radioopaktan. Istraživanja su u tijeku u razvoju premaza koji kombiniraju prednosti lako skenirane površine s trajnošću i pouzdanošću metalnih komponenata.

Primjer toga je eng. *Plasma Electrolytic Oxidation*, tvrtke Thommen Medical, Švicarska. Proizvedeni premaz je keramizirana modifikacija pjeskarene površine titan dioksida, proizvedena u mokrom kemijskom postupku. Trenutačno je glavni problem s primjenom ovih premaza osigurati ravnomjernu distribuciju i homogenu debljinu nanesenog materijala. Osim toga, tijekom postupaka čišćenja i sterilizacije može doći do degradacije materijala (38).

Još jedna važna značajka je **promjer**. Kod djelomično bezubih pacijenata, promjer otisne nadogradnje za digitalni otisak bi trebao biti takav da ne ometa susjedne zube ili druge otisne nadogradnje, a istovremeno bi trebao pružiti dovoljno prostora za snimanje aproksimalnih površina zubi ili otisnih nadogradnji. Neke otisne nadogradnje za digitalni otisak imaju vijak za fiksiranje unutar samog tijela komponente, bez mogućnosti njegovog uklanjanja, a pristup vijku je osiguran kroz mali okluzalni otvor, dovoljan samo za prolazak tankog odvijača. Ovo rješenje odgovara na dva zahtjeva: prvo, da se ne izgubi horizontalni dio okluzalne površine komponente (potreban za precizan dosjed), kao što se događa kada je otvor velik, a dimenzije otisne nadogradnje su zadržane unutar određenih granica kako ne bi ometale susjedne zube u uskim prostorima. Drugo, omogućuje korisniku da ne izgubi vijak tijekom umetanja u usta i procesa sterilizacije. Nedostatak je što nije moguće vizualno provjeriti integritet protetskog vijka i, ako je oštećen, zamijeniti ga (38).



Slika 7. Dizajn različitih otisnih nadogradnji za digitalni otisak. (1.) eng. snapped-on. (2.) jednodijelna PEEK. (3.) magnetno pričvršćena. (4.) dvodijelna PEEK. (5.) metalna. (6.) vijčano pričvršćena. Preuzeto sa (39).

Implementacija IOS-a u svakodnevnu dentalnu kliničku praksu u porastu je u posljednjih nekoliko godina, prvenstveno kako bi se unaprijedilo kliničku učinkovitost, te postupno prešlo iz analognog protokola rada u digitalni. Cilj digitalizacije procesa je pojednostavniti terapijske postupke kako za pacijente, tako i za terapeute i dentalne tehničare. Pritom je važno obratiti pažnju na faktore koji utječu na kvalitetu intraoralnog skena. Stručna literatura navodi varijable koje utječu na preciznost digitalnog otiskivanja, a mogu se podijeliti na čimbenike povezane s operaterom te na čimbenike povezane s pacijentom, (Tablica 2.) (39).

Tablica 2. Čimbenici koji utječu na preciznost digitalnog otiska.

Čimbenik	
Terapeut	<ul style="list-style-type: none"> • Uvjeti ambijentalne rasvjete • Tehnike skeniranja • Dizajn otisne nadogradnje za digitalni otisak (materijal, geometrija i sustav pričvršćivanja) • Tehnike povezivanja otisnih nadogradnji (eng. <i>splinting techniques</i>)
Pacijent	<ul style="list-style-type: none"> • Zubni luk - maksila/mandibula • Pozicija implantata u zubnom luku • Udaljenost između implantata te dubina i nagib implantata • Veličina interdentalnog prostora (susjedni zubi i otisne nadogradnje)

U čimbenike povezane s operaterom ubrajaju se: vrsta korištenog skenera i softvera, uvjeti ambijentalne rasvjete, tehnike uzimanja digitalnog otiska, veličina područja koje je potrebno skenirati, dizajn otisnih nadogradnji za digitalni otisak (materijal, geometrija i sustav pričvršćivanja), te iskustvo operatera, dok se u čimbenike povezane s pacijentom ubrajaju zubni luk koji se skenira (maksila ili mandibula), pozicija implantata u zubnom luku, udaljenost između implantata te dubina i nagib postave implantata, prisutnost implantata različitih dimenzija, veličina interdentalnog prostora (tj. udaljenost između susjednog zuba ili otisne nadogradnje), te specifične karakteristike pacijenta, kao npr. prekomjerna salivacija. (21, 39).

Istraživanje Michelinakisa i suradnika ukazuje na to da je veličina skeniranog područja (eng. *scan window*) bitan faktor za preciznost digitalnog otiska pri čemu skeniranje manjih područja omogućava veću točnost, dok je za veća područja skeniranja još uvijek iz istraživanja nejasno može li digitalni otisak konzistentno nadmašiti analogni (51). Veličina prozora skeniranja utječe na količinu informacija koje se detektiraju u jednom prolazu skenera. Veliki prozor će prikupiti više podataka brže, ali, u isto vrijeme, vrh glave skenera biti veći i nezgrapniji. U situacijama gdje same otisne nadogradnje, svojom pozicijom ili oblikom, ograničavaju pristup skeneru, teže je izvoditi linearno skeniranje kako bi se zabilježio oblik komponente. Mogućnost odabira manjih vrhova ili korištenje softverskih značajki koje variraju dubinu skeniranja može dati kliničaru prednost u takvim situacijama (53). Preciznost intraoralnog snimka poboljšava se kada su postavljeni implantati istih dimenzija i kada su postavljeni s većim međusobnim razmakom, jer to omogućava bolje snimanje svih površina otisne nadogradnje (51).

Svojim istraživanjem Abduo J. i Elseyoufi M. potvrđuju da su intraoralni skeneri posebno precizni za skeniranje manjih područja alveolarnog grebena, dok su kod skeniranja cijelog zubnog luka moguće manje nepreciznosti (30). Nadalje, digitalni otisci se smatraju dovoljno preciznima za izradu krunica ili manjih mostova na implantatima, često zahtijevajući samo manje korekcije u ordinaciji (16).

Istraživanja također naglašavaju da iskustvo i spretnost terapeuta s digitalnim tehnologijama može utjecati na brzinu i kvalitetu skeniranja u usporedbi s onima koji su manje iskusni, iako početnici mogu imati prednost u korištenju intraoralnih skenera zbog poteškoća s konvencionalnim metodama otiskivanja (54). Međutim, tehnika skeniranja – način na koji je skener pozicioniran i kako se pomiče po zubnom luku, ne utječe značajno na točnost digitalnog otiska, prema istraživanju Gavounelisa i suradnika (55), dok druga istraživanja ipak naglašavaju važnost utjecaja tehnike skeniranja na preciznost digitalnog otiska. Naglašava se kako je IOS zapravo beskontaktni mjerni instrument koji koristi optičku tehnologiju te je podložan pogreškama jer nema fiksnih mjernih referentnih točaka i ovisi o terapeutu (56).

Dosad spomenute karakteristike intraoralnog skenera te performanse terapeuta uz karakteristike otisnih nadogradnji za digitalni otisak, predstavljaju tri ključna čimbenika o kojima ovisi preciznost digitalnog otiska (38).

U studiji, koju su realizirali Diker i njegovi kolege, gdje su se usporedili otisne nadogradnje napravljene od PEEK materijala s onima napravljenima od titanija, došli su do zaključka da su oni izrađeni od PEEK-a manje precizni. Također, uočili su da kada se koristi prekomjeran zakretni moment, veći od 15 Ncm na otisnim nadogradnjama od PEEK-a, dolazi do pomaka i smanjenja preciznosti. Učinak sterilizacije bio je izraženiji na otisne nadogradnje izrađene od PEEK-a (51).

Mizumoto i suradnici su analizirali četiri različite tehnike za izvođenje intraoralnog skeniranja koristeći pet različitih otisnih nadogradnji procjenjujući njihov učinak na preciznost i brzinu skeniranja. Ispitali su razlike u točnosti tehnika skeniranja korištenjem intraoralnih skenera u usporedbi s tvorničkim skenerima, ne nalazeći pritom značajne razlike u preciznosti, dok je vrijeme skeniranja bilo slično za sve tehnike. Naglasili su da vrsta otisne nadogradnje najviše utječe na točnost otiska (22).

U svom su istraživanju Alvarez i suradnici usporedili četiri različite otisne nadogradnje, sve pričvršćene zakretnim momentom od 5 Ncm. Istaknuli su da se površine veće širine i duljine lakše skeniraju te točnije prenose položaj implantata u laboratorij. Otisne nadogradnje s oštrim prijelazima između površina uzrokuju veće netočnosti u odnosu na one s glatkim i kontinuiranim prijelazima. Polirane i jednostavne površine na digitalnom otisku bolje se prikazuju od grubih i nepravilnih. Preporučuju korištenje otisnih nadogradnji s radioopaknim završetkom umjesto onih s metalnim sjajem. Zaključuju da je geometrija otisne nadogradnje ključna za točnost digitalnog otiska, uz napomenu da i vanjski čimbenici poput temperature, vlažnosti, atmosferskog tlaka, svjetlosti u prostoriji, vještina terapeuta i tip skenera mogu utjecati na točnost (57).

U sistematskom pregledu literature Marquesa i sur. iz 2021. godine navodi se da za točan prijenos visine implantata mora biti vidljiva cijela dužina otisne nadogradnje na skeniranju. Prema tome, za duboko postavljene implantate potrebne su duže otisne nadogradnje. Većina otisnih nadogradnji precizno prikazuje angulaciju implantata, te autori ne nalaze dokaze da paralelno postavljeni implantati omogućuju precizniji prijenos s intraoralnim skeniranjem. Za uske interproksimalne prostore preporučuju se upotreba užih otisnih nadogradnji, dok za pacijente s ograničenim otvaranjem usta preporučuju korištenje kraćih otisnih nadogradnji radi olakšavanja procesa skeniranja. Naglašavaju potrebu za dodatnim istraživanjima o dizajnu i 3D geometriji otisnih nadogradnji te njihovom utjecaju na preciznost položaja implantata u virtualnom modelu (26).

Istraživanje Revilla-Leona i sur. pokazuje veću preciznost titanijskih otisnih nadogradnji nakon višestrukih sterilizacija u odnosu na one izrađene od PEEK-a, te ističu važnost pridržavanja uputa proizvođača prilikom uporabe otisnih nadogradnji, s posebnim osvrtom na određivanje vrijednosti zakretnog momenta i broja sterilizacija za svaku specifičnu otisnu nadogradnju. Također sugeriraju fokus budućih istraživanja na proces proizvodnje, materijal izrade, iznos zakretnog momenta i sterilizaciju samih otisnih nadogradnji (58).

Istraživanje Lawanda i sur. o 3D geometriji otisnih nadogradnji razvrstalo je otisne nadogradnje za digitalni otisak u tri kategorije: one s najjednostavnijim dizajnom, djelomično modificiranim dizajnom i potpuno modificiranim dizajnom. Zaključuju da je najprecizniji prijenos položaja implantata u digitalni model ostvaren upotrebom otisnih nadogradnji s najjednostavnijim dizajnom, temeljeći svoje nalaze na skeniranju punih zubnih lukova (59).

Iz navedenih istraživanja proizlazi da upravo oblik i trodimenzionalna geometrija otisnih nadogradnji igraju ključnu ulogu u preciznosti digitalnog otiska i prijenosu položaja implantata u dentalni laboratorij, s napomenom da još uvijek nedostaje sveobuhvatnih studija koje bi definirale optimalni dizajn otisne nadogradnje za najprecizniji prijenos informacija.

6.1. Smjernice za kliničku upotrebu otisnih nadogradnji za digitalni otisak

Kliničarima se savjetuje da tijekom digitalnog protokola implantoprotetske terapije za digitalno otiskivanje upotrebljavaju otisnu nadogradnju koja je ispravno postavljena na implantat, kompatibilna s korištenim implantološkim sustavom i što jednostavnijeg dizajna, radi lakšeg skeniranja i točnog prijenosa položaja implantata (22). Najtočniji prijenos položaja implantata u digitalnom modelu postiže se upotrebom otisne nadogradnje s najjednostavnijim dizajnom, izbjegavajući složene 3D geometrije za jasno i precizno skeniranje. Također se preporučuje uporaba otisne nadogradnje izrađene od materijala koji zadržava stabilnost nakon mnogobrojnih sterilizacija, dajući prednost onima napravljenima od titanija (60).

Preporučuje se izabrati otisnu nadogradnju koji ne posjeduje glatku metalnu površinu jer intraoralni skeneri ne skeniraju efikasno površine koje reflektiraju svjetlost (50).

Za implantate postavljene duboko unutar tkiva, korištenje dužih otisnih nadogradnji omogućuje skeniranje adekvatnog broja referentnih točaka za točan prijenos položaja implantata. Važno je odabrati odgovarajuću otisnu nadogradnju prema veličini interproksimalnog prostora, pri čemu se

uže otisne nadogradnje koriste za uže prostore, dok su za šire prostore potrebne veće otisne nadogradnje (26).

U slučajevima kada pacijenti imaju ograničeno otvaranje usta, preporučljivo je koristiti kraće otisne nadogradnje kako bi se omogućilo uspješno skeniranje svih područja (26).

Na temelju dosada iznesenih podataka mogu se sumirati sljedeće preporuke prilikom izbora otisne nadogradnje za digitalni otisak za odabrani implantološki sustav:

- Jednodijelna otisna nadogradnja za digitalni otisak
- S vijčanom retencijom, s iznosom zakretnog momenta ne većim od 10 Ncm
- Izrađene od metala (svojstvo radioopaknosti)
- Grube, nereflektirajuće površine (pjeskarene ili s posebnim premazom)
- Istog oblika, ali u različitim visinama (ovisno o kliničkoj situaciji – ozubljeno/bezubo)
- Linearnog oblika, sa što je moguće širom okluzalnom površinom
- Sa sustavom kodiranja za automatsku detekciju platforme implantata (38).

7. ZAKLJUČAK

Digitalizacija procesa izrade protetskih nadomjestaka nošenih implantatima donijela je značajne promjene u implantoprotetskoj terapiji, olakšavajući i ubrzavajući proceduru otiskivanja te omogućavajući precizniji prijenos položaja implantata u digitalni radni model. Ovaj pregledni rad je analizirao utjecaj različitih vrsta otisnih nadogradnji na kvalitetu digitalnih otisaka, s posebnim naglaskom na njihove materijale, geometriju i načine pričvršćivanja. Na temelju pregleda znanstvene literature, možemo izvesti sljedeće zaključke:

1. Materijali od kojih su izrađene otisne nadogradnje značajno utječu na preciznost digitalnih otisaka. Titanijske nadogradnje pokazale su veću točnost i izdržljivost nakon višekratnih sterilizacija u usporedbi s nadogradnjama izrađenim od PEEK-a, ali se otisne nadogradnje izrađene od metala ne preporučuju zbog svoje reflektirajuće površine.
2. Geometrija otisnih nadogradnji ključna je za točnost otiska. Nadogradnje s jednostavnijim dizajnom i jasno naznačenim područjem skeniranja omogućuju lakše i točnije skeniranje, čime se smanjuje mogućnost pogreške.
3. Univerzalnost pričvršćivanja nadogradnji, poput korištenja jednostavnih vijčanih spojeva s definiranim zakretnim momentom, pokazuje se kao efikasna u smanjenju komplikacija tijekom kliničke primjene.

Uvođenje standardiziranih protokola za odabir i primjenu otisnih nadogradnji može značajno unaprijediti preciznost digitalnih otisaka i konačnih protetskih radova na implantatima. Stoga je nužno nastaviti istraživanja u ovom području kako bi se dodatno poboljšale specifikacije i preporuke za kliničku praksu, čime bi se optimizirala implantoprotetska terapija u cjelini.

8. LITERATURA

1. Att W, Witkowski S, Strub J. Digital Workflow in Reconstructive Dentistry. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH; 2019. 327 p.
2. Christensen GJ. The state of fixed prosthodontic impressions: room for improvement. J Am Dent Assoc. 2005 Mar;136(3):343-6.
3. Birnbaum NS, Aaronson HB. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. Compend Contin Educ Dent. 2008; 29(8):494-505.
4. Pachiou A, Zervou E, Tsirogiannis P, Sykaras N, Tortopidis D, Kourtis S. Characteristics of intraoral scan bodies and their influence on impression accuracy: A systematic review. J Esthet Restor Dent. 2023;35(8):1205-17.
5. Knežević G i sur. Osnove dentalne implantologije. Zagreb: Školska knjiga; 2002. 91 p.
6. Jakovac M. Protokol. 1. izd. Zagreb: Stega tisak; 2023. p. 2-10.
7. Živko-Babić J, Jakovac M, Carek A, Lovrić Ž. Implantoprotetička terapija manjka prednjeg zuba. Acta Stomatol Croat. 2009;43(3):234-41.
8. Ćatović A, Komar D, Ćatić A i sur. Klinička fiksna protetika – krunice. 1. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2015. p. 149-155.
9. Ćatović A. Klinička fiksna protetika. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet; 1999. p. 5-9.
10. Jakovac M, Kranjčić J. Pretklinička i laboratorijska fiksna protetika. 1. izd. Zagreb: Stega tisak; 2020. p. 93-105.
11. Wittneben JG, Millen C, Brägger U. Clinical performance of screw- versus cementretained fixed implant-supported reconstructions- a systematic review. Int J Oral Maxillofac Implants. 2014;29 Suppl:84-98.
12. Nissan J, Narobal D, Gross O, Ghelfen O, Chausnu G. Long-term outcome of cemented versus screw-retained implant-supported partial restorations. Int J Oral Maxillofac Implants. 2011;26(5):1102-7.
13. Greenberg AM. Advanced dental implant placement techniques. J Istanb Univ Fac Dent. 2017;51:76–89.
14. Lindhe, J. Klinička parodontologija i dentalna implantologija. 5. izd. Zagreb: Nakladni zavod Globus; 2010. p. 99; 1073-76.

15. Ajioka H, Kihara H, Odaira C, Kobayashi T, Kondo H. Examination of the Position Accuracy of Implant Abutments Reproduced by Intra-Oral Optical Impression. *PLoS One*. 2016;11(10)
16. Parashis A, Diamatopoulos P. *Clinical Application of Computer-Guided Implant Surgery*. Boca Raton: CRC Press; 2013. p.176.
17. Henkel GL. A comparison of fixed prostheses generated from conventional vs digitally scanned dental impressions. *Compend Contin Educ Dent*. 2007;28(8):422-31.
18. Albanchez-González MI, Brinkmann JC, Peláez-Rico J, López-Suárez C, Rodríguez-Alonso V, Suárez-García MJ. Accuracy of Digital Dental Implants Impression Taking with Intraoral Scanners Compared with Conventional Impression Techniques: A Systematic Review of In Vitro Studies. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(4):2026.
19. Dulčić N. Otisni postupci u implantoprotetskoj terapiji. *Sonda*. 2011;12(22):61- 63.
20. Lee H, So JS, Hochstedler JL, Ercoli C. The accuracy of implant impressions: a systematic review. *J Prosthet Dent*. 2008;100(4):285-91.
21. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health*. 2014;14:10.
22. Mizumoto RM, Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: A systematic review. *J Prosthet Dent*. 2018;120(3):343-52.
23. Siqueira, R., Galli, M., Chen, Z. et al. Intraoral scanning reduces procedure time and improves patient comfort in fixed prosthodontics and implant dentistry: a systematic review. *Clin Oral Invest*, 2021; 25:6517–31.
24. Mörmann WH. The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc*. 2006;137 Suppl:7S-13S.
25. Zimmermann M, Mehl A, Mormann Wh, Reich S. Intraoral scanning systems – a current overview. *Int J Comput Dent*. 2015;18:101-29.
26. Marques S, Ribeiro P, Falcão C, Lemos BF, Ríos-Carrasco B, Ríos-Santos JV, Herrero-Climent M. Digital Impressions in Implant Dentistry: A Literature Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(3):1020.

27. Joda T, Bragger U, Zitzmann NU. CAD/CAM implant crowns in a digital workflow: Five year follow-up of a prospective clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2019;21:169–74.
28. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. *J Prosthodont.* 2018;27(1):35-41.
29. Standard DIN ISO 5725-1 (1997-11). Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – part 1 : general principles and definitions (ISO 5725-1 : 1993). Berlin: Beuth Publishing; 1997. 17 p.
30. Abduo J, Elseyoufi M. Accuracy of intraoral scanners: A systematic review of influencing factors. *Eur J Prost Rest Dent.* 2018;26:101–21.
31. Alikhasi M, Alsharbaty MHM, Moharrami M. Digital implant impression technique accuracy: A systematic review. *Implant Dent.* 2017;26:929–35.
32. Khraishi H, Duane B. Evidence for use of intraoral scanners under clinical conditions for obtaining full-arch digital impressions is insufficient. *Evid Based Dent.* 2017;18:245.
33. Mangano F, Veronesi G. Digital versus analog procedures for the prosthetic restoration of single implants: A randomized controlled trial with 1 year of follow-up. *Biomed Res Int.* 2018;2:1-20.
34. Rekow ED. Digital dentistry: The new state of the art - is it disruptive or destructive? *Dent Mater.* 2020;36:9-24.
35. Wiedhahn K, Schenk O, Fritzsche G. Cerec Omnicam – Intraoralscan 2.0. *Int J Comput Dent.* 2012;15:199-205.
36. Kachalia PR, Geissberger MJ. Dentistry a la carte: in office CAD/CAM technology. *J Calif Dent Assoc.* 2010;38:323-30.
37. Decker JD, Bollen AM, Chen CS. A model for digital archiving of radiographs into a searchable database. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132:856-9.
38. Gracis S, Appiani A, Noè G. Digital workflow in implant prosthodontics: The critical aspects for reliable accuracy. *J Esthet Restor Dent.* 2023;35(1):250-61.
39. Revilla-León M, Lanis A, Yilmaz B, Kois JC, Gallucci GO. Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy. *J Prosthodont.* 2023;32:150–64.

40. Medina-Sotomayor P, Pascual-Moscardó A, Camps I. Accuracy of four digital scanners according to scanning strategy in complete-arch impressions. *PLoS One*. 2018;13(9).
41. Editorial D. The guide to intraoral scan bodies: Everything you need to know. 2023. Dostupno na: <https://www.meetdandy.com/learning-center/articles/intraoral-scan-bodies-guide/#:~:text=find%20out%20why,-,What%20is%20a%20Scan%20Body%3F,fitting%20implant%2Dsupported%20restorations>
42. OpenImplants. Why do I need A scanbody anyway? [Internet]. 2018. Dostupno na: <https://www.openimplants.com/2018/08/need-scanbody-anyway/>
43. Scanbodies [Internet]. 2023. Dostupno na: https://shop.straumann.com/medentika/nl/en_nl/Prosthetics-by-product-type/Prosthetic-Accessories/Scanbodies/c/cat_med_scanbodies
44. 3Shape scan bodies now available for purchase [Internet]. 2017. Dostupno na: <https://www.3shape.com/en/press/2017/3shape-scan-bodies-now-available-for-purchase>
45. Open digital workflow: 6 reasons to use Elos Accurate® products [Internet]. Dostupno na: <https://elosdental.com/open-digital-workflow>
46. Ticare Catalogo Inglese [Internet]. Dostupno na: <https://www.ticareimplants.com/wp/wp-content/uploads/2017/05/Ticare-Inhex-Catalogue.pdf>
47. Stimmelmayer, M., Güth, JF., Erdelt, K. et al. Digital evaluation of the reproducibility of implant scanbody fit—an in vitro study. *Clin Oral Invest*. 2012; 16:851–56.
48. Mehulić K i suradnici. *Dentalni materijali*. 1. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2016. p. 180-83.
49. Mangano FG, Veronesi G, Hauschild U, Mijiritsky E, Mangano C. Trueness and Precision of Four Intraoral Scanners in Oral Implantology: A Comparative in Vitro Study. *PLoS One*. 2016;11(9).
50. Arcuri L, Pozzi A, Lio F, Rompen E, Zechner W, Nardi A. Influence of implant scanbody material, position and operator on the accuracy of digital impression for complete-arch: A randomized in vitro trial. *J Prosthodont Res*. 2020;64(2):128-36.

51. Diker E, Terzioglu H, Gouveia DNM, Donmez MB, Seidt J, Yilmaz B. Effect of material type, torque value, and sterilization on linear displacements of a scan body: An in vitro study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2023;25(2):419-25.
52. Lerner H, Nagy K, Luongo F, Luongo G, Admakin O, Mangano FG. Tolerances in the production of six different implant scanbodies: a comparative study. *Int J Prosthodont.* 2021;34(5):591–9.
53. An H, Langas EE, Gill AS. Effect of scanning speed, scanning pattern, and tip size on the accuracy of intraoral digital scans. *Prosthet Dent.* 2022;50022-3913(22):322-6.
54. Lee SJ, Macarthur RX 4th, Gallucci GO. An evaluation of student and clinician perception of digital and conventional implant impressions. *J Prosthet Dent.* 2013;110(5):420-3.
55. Gavounelis NA, Gogola CC, Halazonetis DJ. The Effect of Scanning Strategy on Intraoral Scanner's Accuracy. *Dent J (Basel).* 2022;10(7):123.
56. Motel C, Kirchner E, Adler W, Wichmann M, Matta RE. Impact of Different Scan Bodies and Scan Strategies on the Accuracy of Digital Implant Impressions Assessed with an Intraoral Scanner: An In Vitro Study. *J Prosthodont.* 2020;29(4):309-14.
57. Alvarez C, Domínguez P, Jiménez-Castellanos E, Arroyo G, Orozco A. How the geometry of the scan body affects the accuracy of digital impressions in implant supported prosthesis. In vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2022;14(12):e1008-e1014.
58. Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans: Part 2-Patient factors. *J Esthet Restor Dent.* 2023;35(1):241-9.
59. Lawand G, Ismail Y, Revilla-León M, Tohme H. Effect of implant scan body geometric modifications on the trueness and scanning time of complete arch intraoral implant digital scans: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2022;S0022-3913(22)00378-X.
60. Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans: Part 2-Patient factors. *J Esthet Restor Dent.* 2023;35(1):241-9.
61. Software user Manual zebris for Ceramill [Internet]. 2019. Dostupno na: [file:///C:/Users/ivanc/Downloads/Software%20Zebris%20for%20Ceramill%20User%20Manual%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ivanc/Downloads/Software%20Zebris%20for%20Ceramill%20User%20Manual%20(1).pdf)

9. ŽIVOTOPIS

Ana Banožić Ćosić rođena je 28. ožujka 1993. godine u Zagrebu. Osnovnu i srednju školu završila je u Zagrebu. Nakon završene V. Gimnazije 2011. godine, upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Diplomirala je 2017. godine, nakon čega započinje rad u privatnoj stomatološkoj ordinaciji. Od 2019. godine zaposlenik je Stomatološke poliklinike Zagreb, kada započinje specijalizaciju iz stomatološke protetike koju završava 2022. godine, a 2020. upisuje Poslijediplomski sveučilišni studij iz Dentalne implantologije.