

Primjena digitalne tehnologije u implantologiji

Žugaj, Andrej

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:127:894502>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
Stomatološki fakultet

Andrej Žugaj

PRIMJENA DIGITALNE TEHNOLOGIJE U IMPLANTOLOGIJI

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.

Rad je ostvaren na Zavodu za oralnu kirurgiju Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Mentor rada: prof. dr. sc. Mato Sušić, Zavod za oralnu kirurgiju, Stomatološki fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Sonja Delimar, prof. hrvatskog jezika i književnosti, izvrstan
savjetnik

Lektor engleskog jezika: Dijana Mišević, magistra edukacije engleskog i njemačkog jezika i
književnosti

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži : 29 stranica

3 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 su izvorni doprinos autora diplomskog 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 njihova podrijetla.

Zahvala

Veliko hvala mojim divnim roditeljima i sestri na neizmernoj ljubavi i podršci.

Hvala mojim dragim prijateljima i kolegama na svim zajedničkim trenucima, bez vas bi bilo nemoguće.

Hvala mentoru, prof. dr. sc. Mati Sušiću, na strpljenju i pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada.

PRIMJENA DIGITALNE TEHNOLOGIJE U DENTALNOJ IMPLANTOLOGIJI

Sažetak

Primjena digitalne tehnologije u dentalnoj implantologiji donosi brojne prednosti i poboljšanja. Upotreba CBCT-a (*Cone Beam Computed Tomography*) omogućuje preciznu trodimenzionalnu dijagnostiku i planiranje, pružajući detaljan prikaz anatomskih struktura. Intraoralnim skeniranjem zamjenjeni su konvencionalni otisci, što nudi brže, ugodnije i točnije rezultate. CAD/CAM (*Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing*) sustavi omogućuju planiranje budućeg protetskog nadomjestka, kao i položaj dentalnog implantata te izradu kirurških šablona. Tehnike računalno vođene implantologije omogućuju kirurško postavljanje implantata uz minimalnu invazivnost, korištenjem kirurške šablone i navigacijskih sustava. Uporaba novih digitalnih tehnologija rezultira poboljšanom preciznošću, smanjenim rizicima i boljim ishodima za pacijenta.

Ključne riječi: dentalna implantologija; intraoralni skeneri; virtualno planiranje; tehnike računalno vođene implantologije

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGY IN DENTAL IMPLANTOLOGY

Summary

The application of digital technology in dental implantology brings numerous advantages and improvements. The use of CBCT (*Cone Beam Computed Tomography*) enables precise three-dimensional diagnostics and planning, providing a detailed representation of anatomical structures. Intraoral scanning has replaced conventional impressions, offering faster, more comfortable and more accurate results. CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*) systems enable planning future prosthetic replacement, as well as the position of the dental implant and the creation of surgical templates. The techniques of computer-guided implantology enable surgical placement of implants with minimal invasiveness, using surgical templates and navigation systems. The use of new digital technologies results in improved precision, reduced risks and better outcomes for the patient.

Keywords: dental implantology; intraoral scanners; virtual planning; techniques of computer-guided implantology

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2.1. DIGITALNA RADIOLOŠKA DIJAGNOSTIKA	4
2.2. UPOTREBA CAD/CAM SUSTAVA U DIGITALNOJ IMPLANTOLOGIJI	7
2.2.1. Digitalno intraoralno skeniranje	8
2.2.2. Virtualno planiranje u implantologiji	9
2.2.3. 3D printanje kirurških šablona.....	11
2.3. TEHNIKE RAČUNALNO VOĐENE IMPLANTOLOGIJE	14
2.3.1. Statička tehnika.....	15
2.3.2. Dinamička tehnika	17
3. RASPRAVA.....	18
4. ZAKLJUČAK.....	22
5. LITERATURA	24
6. ŽIVOTOPIS	28

Popis skraćenica

CBCT – kompjutorizirana tomografija na bazi stožaste zrake, *Cone Beam Computer Tomography*

CAD/CAM – *Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing*

DICOM – *Digital Imaging and Communication in Medicine*

STL – *Standard Tessellation Language*

CT – kompjutorizirana tomografija, *Computed Tomography*

ALARA – *As Low As Reasonably Achievable*

ISB – *intraoralni scan body*

HU – Hounsfieldova jedinica

SLA – Stereolitografija

Tijekom posljednja dva desetljeća došlo je do značajnog napretka digitalne tehnologije koji je utjecao na različite grane medicine, uključujući stomatologiju. Digitalni napredak ubrzo je usvojen u svakome aspektu kliničke prakse, od početnih faza uspostave dijagnoze i preciznog planiranja liječenja do složenih i osjetljivih postupaka koji se provode u dentalnoj implantologiji (1).

Primjena digitalne tehnologije u stomatologiji uključuje različite digitalne alate poput kompjutorizirane tomografije na bazi stožaste zrake (*Cone Beam Computed Tomography*, CBCT), intraoralnih skenera i Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM). Način rada tijekom kojeg se primjenjuje digitalna tehnologija naziva se digitalni protokol rada (engl. *Digital workflow*) te se koristi u različitim fazama liječenja od dijagnostike, skeniranja, virtualnog dizajna do konačne izrade protetskog nadomjestka (2).

Uključivanje inovativnih tehnoloških dostignuća u svakodnevnu kliničku praksu rezultiralo je optimiziranim i personaliziranim pružanjem oralne zdravstvene zaštite svakom pacijentu (3).

CBCT snimke neizostavan su dio procesa planiranja i ugradnje dentalnih implantata. Pomoću njih moguće je odrediti kvalitetu i kvantitetu budućeg mjesta ugradnje, čime se izbjegavaju moguće ozljede okolnih anatomskih struktura. Također, niska cijena, kao i niska doza zračenja te manja pojavnost artefakata samo su neke od prednosti upotrebe CBCT-a (4).

Digitalno planiranje implantata zahtijeva trodimenzionalne radiografske podatke u *Digital Imaging and Communication in Medicine* (DICOM) formatu kao i *Standard Tessellation Language* (STL) podatke dobivene intraoralnim skeniranjem. Uporabom intraoralnih skenera smanjuje se mogućnost pogreške povezane s deformacijom konvencionalnih otisaka (2).

Virtualno kirurško i protetsko planiranje omogućavaju bolje predviđanje ishoda implantoprotetske terapije. Pomoću raznih softverskih virtualnih alata budućem protetskom nadomjestku može se prilagoditi oblik, veličina i položaj, kao i okluzalne izmjene prema morfološkim značajkama zuba antagonista (5). Tijekom kirurškog planiranja potrebno je odrediti gustoću i kvalitetu kosti, lokalizirati i identificirati vitalne anatomske strukture te procijeniti moguće komplikacije tijekom same ugradnje dentalnog implantata čija se veličina i mjesto u alveolarnoj kosti određuju u skladu s položajem budućeg protetskog rada (4,6).

Korištenjem tehnike računalno vođene implantologije poboljšana je preciznost pozicioniranja implantata na mjestima uz osjetljive anatomske strukture poput maksilarnog sinusa, mandibularnog kanala i mentalnog foramena. Osim toga, upotrebom kirurških šablona daje se prednost minimalno invazivnom pristupu. Ispravno pozicioniranje dentalnog implantata osigurava njegovo optimalno opterećenje, što dovodi do povoljnog estetskog i protetskog

ishoda terapije (3). Svrha ovog rada jest opisati najnovije digitalne metode u dentalnoj implantologiji.

2.1. DIGITALNA RADIOLOŠKA DIJAGNOSTIKA

Dentalna radiologija neizbježna je dijagnostička metoda koja se primjenjuje tijekom planiranja i procjene budućeg položaja dentalnog implantata. Radiološke snimke moraju imati odgovarajuću dijagnostičku kvalitetu i ne smiju sadržavati artefakte koji bi ugrožavali procjenu anatomskih struktura te na taj način utjecali na ugradnju i dugotrajnost dentalnog implantata (7).

Dugi niz godina kompjutorizirana tomografija (*Computed Tomography*, CT) bila je zlatni standard za procjenu čeljusti prije implantološke terapije (8).

CT je slikovna digitalna metoda visoke rezolucije koja se koristi za dijagnostiku raznih patologija u gornjoj i donjoj čeljusti. CT kao radiološka metoda omogućava prikaz obiju čeljusti u stvarnoj veličini tj. u omjeru 1:1, kao i brojne presjeke u transverzalnoj, sagitalnoj i koronarnoj ravnini, što omogućava odličnu orijentaciju i procjenu anatomskih i patoloških struktura (9).

Najveći nedostatak CT-a jest velika doza zračenja za pacijenta, stoga je njegova uporaba ograničena pri skeniranju orofacijalne regije (4).

Godine 1982. proizveden je prvi *Cone Beam* CT, a 2001. godine pojavljuje se prvi CBCT na tržištu za uporabu u maksilofacijalnoj radiologiji (9). CBCT je radiološki sustav koji koristi slikovni skener dizajniran za snimanje glave i vrata te proizvodi 3D snimke maksilofacijalne regije (10). Sam CBCT uređaj sastoji se od izvora rendgenske zrake, dvodimenzionalnog digitalnog detektora i softverskog sustava koji kompjutorski obrađuje slike. Tijekom snimanja konično usmjerena rendgenska zraka prolazi kroz različita tkiva koja različito apsorbiraju i rasipaju zrake. Posljedično tome oslabljena rendgenska zraka pada na digitalni detektor koji mjeri njezin intenzitet te ga pretvara u električni signal koji potom, pomoću računala, biva sintetiziran u sliku (9).

Prije snimanja pacijenta potrebno je odabrati veličinu preglednog polja ovisno o samoj indikaciji za snimanje. Postoje različite veličine polja: S (*small*), M (*medium*), L (*large*) i XL (*extra large*). U dentalnoj implantologiji najčešće se upotrebljava veličina preglednog polja M koja omogućuje prikaz cijelog gornjeg i donjeg zubnog luka te mandibularni kanal i krak donje čeljusti (9).

Ovisno o vrsti CBCT uređaja pacijent se za vrijeme snimanja postavlja u određeni položaj (ležeći, stojeći ili sjedeći) te mu se fiksira glava kako bi se izbjegla pojava artefakta uzrokovanih pomicanjem prilikom snimanja (9). Tijekom snimanja rendgenska cijev i 2D senzor okreću se oko pacijentove glave za 180 do 360 stupnjeva prikupljajući sve potrebne podatke u trajanju kraćem od 30 sekundi (9,10). Nakon završetka snimanja računalo, u trajanju

od oko 2 minute, vrši rekonstrukciju slike tj. vizualizira trodimenzionalni prikaz u transverzalnoj, koronarnoj i sagitalnoj ravnini (9).

Prije samog snimanja CBCT uređajem treba voditi računa o indikacijama za njegovu uporabu tj. potrebno je procijeniti situacije u kojima njegova korist nadmašuje potencijalne rizike. Kako bi se smanjila izloženost zračenju kod djece i adolescenata, ključno je slijediti načelo ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). ALARA načelo nastoji smanjiti izloženost zračenju na najnižu moguću razinu uz postizanje željenog dijagnostičkog rezultata. Poštovanjem takvih principa značajno se reducira štetnost velikih doza zračenja, čime se smanjuju potencijalni dugoročni zdravstveni rizici povezani s prekomjernom izloženošću zračenju (10).

U usporedbi s tradicionalnim CT snimanjem, glavne prednosti CBCT-a su manja cijena i veličina samog uređaja, što ga čini prikladnim za postavljanje u dentalnu ordinaciju (10). Vrijeme trajanja pretrage pomoću CBCT-a kraće je jer zahtijeva samo jednu rotaciju oko pacijenta, dok tradicionalni CT iziskuje više rotacija ovisno o debljini snimanog područja. Zahvaljujući pulsnom emitiranju ionizirajućeg zračenja, CBCT ima manje doze zračenja, dok tradicionalni CT emitira kontinuirani snop ionizirajućeg zračenja, što uzrokuje izlaganje pacijenta većim dozama zračenja (9).

Također, prednost CBCT-a jest bolja rezolucija snimki (manji pikseli) (10) te smanjen broj artefakata metalnih tijela kao restaurativnih materijala ili metalnih nadogradnji i krunica koji bi zasjenili snimano područje interesa (8,9).

CBCT se učinkovito koristi u područjima kao što su implantologija, endodoncija, ortodoncija i oralna kirurgija pružajući horizontalne, vertikalne i aksijalne prikaze anatomskih i patoloških struktura (10).

Trenutno je CBCT radiološka metoda izbora prije ugradnje dentalnog implantata, koja omogućuje objektivnu procjenu kvalitete i količine preostale alveolarne kosti. Na CBCT radiološkim snimkama analiziramo izgled gornje i donje čeljusti, strukturu alveolarne kosti te njezinu visinu, širinu i gustoću prema kojoj se određuje promjer i dužina dentalnog implantata. Prikazuje se raspored preostalih zubi u zubnom nizu, odnosno, njihov položaj i kut nagiba. Tijekom radiološke analize procjenjuje se točan položaj važnih anatomskih struktura poput mandibularnog kanala i *foramena mentale* u donjoj čeljusti te visina i odnos budućeg implantata s maksilarnim sinusom u gornjoj čeljusti (9,10).

Podatci prikupljeni pomoću CT-a i CBCT-a mogu se transformirati u DICOM formatu te se prenijeti u različite softvere koji omogućuju digitalno planiranje buduće protetske strukture, pravilno planiranje postave implantata te izradu kirurških šablona za tehnike računalno vođene implantologije (7).

2.2. UPOTREBA CAD/CAM SUSTAVA U DIGITALNOJ IMPLANTOLOGIJI

2.2.1. Digitalno intraoralno skeniranje

Digitalni uređaji u posljednjih nekoliko desetljeća imaju široku primjenu u stomatološkoj praksi. CAD/CAM tehnologija omogućila je planiranje i izradu protetskih radova na implantatima putem digitalnog tijeka rada. Pojava sustava CAD/CAM-a popraćena je uvođenjem digitalnih otisaka pomoću intraoralnih skenera (11). Digitalni otisci prenose intraoralnu situaciju na virtualni model i predstavljaju prvi korak digitalnog protokola rada (12). Intraoralno skeniranje vrši se pomoću intraoralnog skenera tj. kompjutoriziranog uređaja koji se koristi svjetlošću koju projicira na objekt te pretvara taj fizički objekt u virtualni. Intraoralni skeneri dizajnirani su za postavljanje izravno u pacijentovu usnu šupljinu nalikujući na štapić. Takvi uređaji mogu se podesiti na računala, tablete ili dolaze s mobilnim fizičkim zaslonom, što ih čini lako prenosivima (13). Intraoralni skeneri rade na način da emitiraju svjetlosne zrake prema objektu koji se snima (pacijentovi zubi i sluznica). Kada zrake dosegnu površinu objekta, one se deformiraju, potom njihova refleksija biva prikupljena kamerom visoke razlučivosti na vrhu intraoralnog skenera. Informacije prikupljene ovim kamerama obrađuju se pomoću softvera koji rekonstruira trodimenzionalni model željenih struktura (12,14).

Intraoralno skeniranje koristi se u dijagnostičkoj fazi implantološke terapije, čiji se digitalni modeli pohranjuju u obliku STL datoteka. Međusobnim superponiranjem STL datoteke s radiološkim snimkama u DICOM formatu, unutar pojedinih softvera, omogućuje se kirurško planiranje postavljanja implantata u optimalan položaj za buduću protetsku rehabilitaciju (15). Nakon ugradnje implantata učini se još jedno intraoralno skeniranje radi izrade konačnog protetskog rada, a samo skeniranje vrši se uz pomoć *scan bodyja* koji prikazuju ispravan položaj ugrađenog implantata (15).

Razvojem digitalne tehnologije u dentalnoj implantologiji mnoge komercijalne tvrtke razvile su intraoralne *scan bodyje* (ISB) različitih dimenzija i geometrijskih oblika. Općenito, svaki ISB sastoji se od tri različita područja: 1) područje skeniranja (koje odgovara gornjem dijelu), 2) tijela (koje odgovara srednjem dijelu) i 3) baze (koja odgovara najapeksnijem dijelu koji se povezuje s implantatom). Neusklađenost između baze i implantata može utjecati na pomicanje ISB-a te posljedično pogrešno očitavanje položaja implantata (12).

Većina komercijalno dostupnih ISB-a izrađena je od polietereeterketona (PEEK) ili titana, a tijelo može sadržavati legure aluminija i razne smole. Njihova se visina obično kreće od 3 do

17 mm, a površina im je najčešće tupa, glatka i neprozirna, što omogućuje njihovu lakšu registraciju tijekom intraoralnog skeniranja (12).

Intraoralni skeneri omogućavaju kreiranje preciznih digitalnih otisaka smanjujući rizik nastanka deformacije povezanih s upotrebom materijala za otiske tijekom konvencionalnog otiskivanja. Također, intraoralni skeneri dopuštaju prilagodljiv način rada zahvaljujući mogućnosti ponovnog skeniranja područja ukoliko postoji greška na digitalnom modelu, dok kod konvencionalnih otisaka terapeut mora ponoviti cijeli postupak otiskivanja (16).

Prednosti intraoralnog skeniranja također uključuju izravno dobivanje digitalnog modela, brzinu samog procesa skeniranja te bespotrebnost fizičkog otiska (13), što omogućuje upotrebu intraoralnih skenera kod pacijenata s povećanim nagonom za povraćanje. Zahvaljujući digitalizaciji, pacijentovi digitalni modeli mogu se proslijediti zubnim tehničarima putem interneta, stoga više nema potrebe za slanjem fizičkih otisaka i sadrenih modela, što tijekom izrade uvelike smanjuje pojavnost grešaka kao što su deformacija materijala za otiske, ekspanzija gipsa, slamanje modela, greške tijekom postavljanja modela u artikulatork itd. (17).

Komercijalno dostupni intraoralni skeneri pokazuju veliku stopu preciznosti i točnosti u rasponu između 6,9 i 45,2 mikrometra (18).

Najčešći su nedostaci intraoralnih skenera visoka cijena uređaja, poteškoće u održavanju kalibracije skenera i ažuriranju računala, dodatna edukacija terapeuta, kao i nemogućnost registracije pojedinih intraoralnih struktura u slučaju prisutnosti sline ili krvi (13,19).

Također, mogu se pojaviti problemi povezani s nepreciznošću intraoralnih skenera, kada se radi o slučajevima rehabilitacije šireg bezubog prostora ili potpune bezubosti, pa intraoralni skeneri ne mogu adekvatno zabilježiti meka tkiva na tim područjima (2).

2.2.2. Virtualno planiranje u implantologiji

Virtualni softveri za planiranje implantata omogućuju izvođenje oralne rehabilitacije s minimiziranjem kirurške traume i komplikacija. Primjenom CBCT-a i intraoralnog skeniranja te međusobnim superponiranjem njihovih podataka (DICOM i STL) unutar virtualnih softvera za planiranje implantata, omogućuje se 3D prikaz tvrdih i mekih tkiva. Također, novi dentalni softveri omogućavaju prikaz digitalnog voštanog modela budućeg protetskog rada, koji se pomoću različitih softverskih alata može modificirati oblikom, veličinom ili morfologijom. Nakon toga slijedi odabir virtualnog dentalnog implantata koji odgovara specifičnoj anatomskoj situaciji i protetskim zahtjevima pružajući izvrsnu stabilnost, biokompatibilnost i preciznost budućeg protetskog rada. Na temelju prikupljenih informacija softverom može se

dizajnirati i kirurške šablone koje omogućuju preciznije pozicioniranje implantata tijekom kirurške faze rada (18,20,21).

CBCT snimke zajedno s dentalnim softverom omogućuju korisniku preciznu vizualizaciju 3D rekonstrukcije anatomskih struktura. Ispravno poznavanje anatomskih struktura i njihovih varijacija prije postavljanja implantata neophodno je kako bi se osigurao precizan kirurški postupak i zaštitio pacijent od jatrogenih komplikacija. Precizna procjena pojedinih anatomskih struktura kao što su položaj mandibularnog kanala, maksilarnog sinusa, širina kortikalisa, postojeća gustoća kosti i sl. vrlo je važna u pravilnom odabiru implantata i planiranju najprikladnijeg položaja implantata u postojeće kliničko stanje. Važne su anatomske strukture u maksili dno nosa, nazopalatinalni kanal sprijeda i maksilarni sinus straga. Jatrogena perforacija sinusa česta je komplikacija, a može se izbjeći izborom kratkih implantata te zahvatom sinus lifta i augmentacije kosti. Tijekom postavljanja implantata u luk mandibule potrebno je razaznati mjesto inferiornog alveolarnog kanala koji sadrži inferiorni alveolarni živac i arteriju. Ozljede ovih vitalnih struktura prilikom ugradnje implantata mogu uzrokovati bol, promjenu osjeta, prekomjerno krvarenje itd. Stoga je važno odrediti lokaciju kao i konfiguraciju mandibularnog kanala prije ugradnje dentalnog implantata (22).

Dostupni su različiti dentalni softveri za interpretaciju DICOM datoteka dobivenih CBCT snimanjem. Većina softvera pruža analizu presječnih snimaka budućeg mjesta implantacije, mapiranje živca, identifikaciju granice kostiju i mekih tkiva te planiranje virtualnih implantata. Kliničari uz pomoć dentalnih softvera vrše mjerenja na vizualiziranim koštanim profilima te se koriste tim mjerenjima tijekom pripremanja za kirurške zahvate (23).

Također, softveri omogućuju procjenu relativne gustoće kosti na predloženom mjestu budućeg implantata. Kvaliteta kosti može se prikazati pomoću virtualnih vizualizacija hladnim tonovima poput zelene i plave koji označuju kost veće gustoće, a topli tonovi poput žutih i crvenih ukazuju na kost manje gustoće. Numerički prikaz strukture kosti određuje se u Hounsfieldovim jedinicama (HU). Što je gustoća kosti veća, veća je vrijednost HU jedinice. Tako je npr. vrijednost kompaktne kosti u rasponu od 300 do 1800 HU, dok je vrijednost trabekularne kosti od 400 do 700 HU jedinica (9,23).

Kvaliteta kosti može se razmotriti i prema klasifikaciji koju su predložili Lekholm i Zarb uzimajući u obzir količinu kompaktne i trabekularne kosti :

1. Tip I: potpuno homogena kompaktna kost
2. Tip II: debeli sloj kompaktne kosti koji okružuje gustu trabekularnu kost
3. Tip III: tanki sloj kompaktne kosti koji okružuje gustu trabekularnu kost
4. Tip IV: tanki sloj kompaktne kosti koji okružuje rijetku trabekularnu kost (24)

Dentalni implantati postavljeni u kost kvalitete tipa II pokazali su najveću stopu uspješnosti, što nam ukazuje na to kako je stabilnost implantata proporcionalno povezana s debljinom kortikalne kosti. Međutim, kvaliteta kosti nije jedini čimbenik koji utječe na stabilnost implantata, tu su još i kirurška tehnika ugradnje, morfološka površina i promjer implantata itd. (25).

Tijekom softverskog planiranja virtualni implantati biraju se iz već dostupnih tvorničkih predložaka određenih promjera, duljina i oblika. Promjer i duljina implantata ovise ponajprije o visini i širini alveolarnog grebena. Ako je kost viša, šira i dobre kvalitete, dopušteno je ugraditi duži implantat većeg promjera. Također je potrebno poznavati nagib alveolarnog grebena u bukolingvalnoj projekciji (9,23).

Implantat se provizorno postavlja prema raspoloživom volumenu kosti s obzirom na poziciju preostalih zuba i blizine korijena. Nakon virtualne izrade budućeg protetskog nadomjestka mora se obratiti pozornost na angulaciju i položaj tijela samog implantata. Duga os implantata mora prolaziti kroz središnji dio protetskog nadomjestka (23).

Idealno, implantat mora biti udaljen najmanje 1,5 mm od vrha susjednog korijena te pozicioniran 1,5 do 2 mm od susjednog zuba. Važno je održati 3 ili više mm razmaka između konačnih položaja dvaju susjednih implantata, čime se nastoji stvoriti odgovarajući prostor za interdentalne papile, održati zdravlje tkiva, omogućiti adekvatno čišćenje i minimizirati horizontalni gubitak kosti (9,23). Idealan je položaj implantata u središtu alveolarnog grebena, čija bukolingvalna širina mora biti najmanje 2 mm veća od samoga promjera implantata, odnosno mora postojati barem 1 mm kosti sa svake strane implantata. Gledajući u apikokoronarnom smjeru, visina alveolarnog grebena mora biti za 2 mm veća od same dužine implantata. Također, treba voditi računa o udaljenosti implantata od važnih anatomskih struktura kao što je npr. mandibularni kanal te omogućiti sigurnosni razmak od minimalno 2 mm (9).

Konačna procjena mjesta ugradnje implantata može se vizualizirati pomoću mjernih alata te nakon toga dentalni softveri dopuštaju planiranje kirurških šablona koje omogućuju precizno postavljanje implantata (23).

2.2.3. 3D printanje kirurških šablona

Kirurške šablone definiraju se kao vodiči koji omogućuju pravilno kirurško postavljanje zubnih implantata uz predvidljiv, siguran te minimalno invazivan tijek operacije. Glavni je cilj kirurških šablona usmjeriti svrdla za pripremu mjesta implantacije i osigurati točan položaj

implantata prema prethodnom planu kirurške terapije. Sastoje se od dviju komponenata: vodećih cilindara i kontaktne površine (26).

Dizajn kirurških šablona može se razlikovati ovisno o njihovoj funkciji. Možemo govoriti o pilot vođenim šablonama koje vode samo pilot svrdlo ili potpuno vođenim šablonama koje vode svako svrdlo specifičnog slijeda svrdala tijekom implantacije (27).

Postoje tri vrste šablona ovisno o vrsti potpornog tkiva: kost, sluznica ili zubi.

Koštano poduprte kirurške šablone inducirane su kod potpune ili djelomične bezubosti, kada je potrebna alveoplastika i kada postoje određena anatomska ograničenja koja zahtijevaju vizualizaciju kosti tijekom zahvata. Za vrijeme operacije učini se rez duž alveolarnog grebena te se podigne mukoperiostalni režanj. Kirurška šablona potom se postavlja izravno na kost i postiže se potpuna vidljivost radnog polja. Koštano poduprte kirurške šablone iziskuju dulji kirurški tijek zahvata, dulje vrijeme cijeljenja rane te veću neugodnost za pacijenta (28).

Mukozno poduprte kirurške šablone odličan su izbor kod potpuno bezubog zubnog luka s najmanje 2 mm bukalne i lingvalne kosti od budućeg implantata. Navedena količina kosti neophodna je zbog povećanog rizika od kortikalne perforacije povezane s postavljanjem implantata bez izravne vizualizacije kosti. Naime, ovom metodom nije potrebno odizati mukoperiostalni režanj. Prednosti operacije bez režnja uključuju manju traumu tvrdih i mekih tkiva tijekom operacije, skraćeni postupak zahvata, brzo zacjeljivanje rane, manje postoperativnih komplikacija te smanjen rizik od infekcija. Tijekom postavljanja mukozno poduprte kirurške šablone može doći do pogreške zbog pomičnosti same sluznice, što u konačnici može utjecati na položaj implantata. Navedeni problem može se riješiti upotrebom privremenih retencijskih pinova koji se postavljaju kroz šablonu u bezubi greben. Na taj način smanjuje se prostor za pogreške i poboljšava se konačni ishod liječenja (28).

Zubima poduprte kirurške šablone primjenjuju se za djelomično bezubi luk s odgovarajućom preostalom zdravom denticijom. Potrebno je dobro procijeniti stanje preostalih zuba jer će oni odrediti stabilnost same šablone. Preporučljivo je koristiti ove vrste šablone kod postavljanja jednog implantata ili više implantata kada je potreban minimalno invazivan pristup. Tijekom upotrebe zubima poduprte šablone često se izvodi operacija bez odizanja režnja (28).

Razvoj digitalne tehnologije omogućio je proizvodnju kirurških šablona uz pomoć informacija prikupljenih pomoću CBCT-a i intraoralnih skenera. Šablone se virtualno dizajniraju u softveru (CAD) te se potom proizvode pomoću uređaja za 3D printanje ili glodanje (CAM). Ovim načinom izrade šablona poboljšava se pozicioniranje i točnost između virtualno planiranog i stvarnog položaja implantata (29).

Najčešće korištena tehnika 3D printanja koja se koristi za izradu kirurških šablona u dentalnoj implantologiji jest stereolitografija (SLA). SLA je proces koji se temelji na polimerizaciji monomerne smole pomoću laserske zrake (30).

Stereolitografski uređaj sastoji se od posude koja sadrži tekuću fotopolimerizirajuću smolu. U skladu s intervalima rezova, laser koji se postavlja na vrh posude pomiče se u poprečnim presjecima u pomacima od 1 mm. Proces polimerizacije fotopolimerizirane smole odvija se u slojevima. Nakon što se površinski sloj smole polimerizira u kontaktu s laserom, mehanička ploča ispod površinskog sloja pomiče se prema dolje za 1 mm noseći sa sobom prethodno polimerizirani sloj smole. Laser potom polimerizira sljedeći sloj preko prethodno polimeriziranog sloja modela. U uređaju za stereolitografiju samo 80 % ukupne polimerizacije dovršeno je u posudi, dok se preostalih 20 % može dovršiti u konvencionalnom uređaju za UV polimerizaciju (26). (Slika 1)



Slika 1. Izrađena kirurška šablona.

Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Mato Sušić.

2.3. TEHNIKE RAČUNALNO VOĐENE IMPLANTOLOGIJE

2.3.1. Statička tehnika

U literaturi su opisane dvije tehnike računalno vođene implantologije – statička i dinamička. Statička tehnika koristi kirurške šablone dobivene pomoću CBCT snimaka, a sam protokol statičke tehnike sastoji se od CBCT skeniranja, softverskog planiranja položaja implantata, dizajniranja i izrade kirurške šablone te samog kirurškog zahvata. Prijeoperativni CBCT omogućava analizu raspoloživog volumena kosti za ugradnju implantata, debljinu sluznice, poziciju preostalih zuba, položaj maksimalnog sinusa te točnu lokaciju mandibularnog kanala, incizivnog kanala i mentalnog foramena. CBCT snimke pretvaraju se u DICOM format te se pomoću softverskih programa vrši odabir odgovarajuće veličine implantata, njegova koronalno-apikalna pozicija te angulacija budućeg implantata. Nakon planiranja položaja implantata slijedi dizajniranje i planiranje kirurške šablone. Ovisno o vrsti potpornog tkiva, kirurške šablone mogu biti poduprte zubima, sluznicom ili kosti. Nakon planiranja, kirurške šablone najčešće se izrađuju tehnikom stereolitografije. Navedeni postupci detaljnije su opisani u prethodnim odlomcima ovoga rada (31).

Prije samog kirurškog postupka tijekom statičke tehnike računalno vođene implantacije potrebno je isprobati kiruršku šablonu unutar pacijentove usne šupljine (Slika 2). Šablona mora biti stabilna i precizno sjedati na meka tkiva, zube ili kost, ovisno o njenu dizajnu. Također, ovisno o podupiranju kirurške šablone, tj. ovisno o pristupu tijekom kojeg se vrši odizanje mukoperiostalnog režnja ili o pristupu koji to ne uključuje (tzv. *“Flapless approach”*), sam kirurški zahvat može biti više ili manje invazivan. Drugi pristup ima mnoge prednosti, kao što su manji gubitak koštane mase, očuvanje papile i bolji estetski učinak nakon operacije. Nakon postavljanja kirurške šablone slijedi kirurški postupak koji može biti primijenjen metodom potpunog ili djelomičnog navođenja. Uobičajeno se koristi prvi sustav koji uključuje pripremu za osteotomiju s postavljanjem implantata pomoću kirurških šablona, dok se u drugom sustavu učini samo priprema za osteotomiju pomoću kirurških šablona, a postavljanje implantata izvodi se konvencionalnom metodom tj. *“Freehand”* tehnikom (31). Zbog veće točnosti i preciznosti prednost se daje metodi potpunog navođenja (32). (Slika 3)

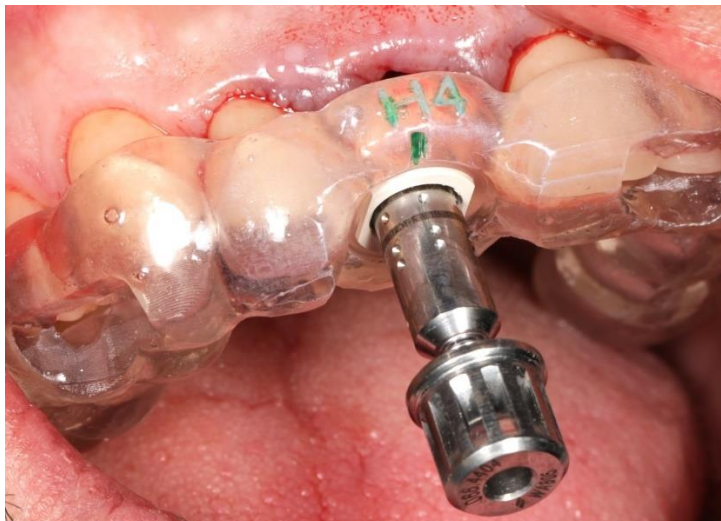
Implantati postavljeni statičkom tehnikom pokazuju manja odstupanja i veću predvidljivost od konvencionalne tehnike. No, postoje određene kliničke situacije u kojima upotreba statičke tehnike računalno vođene implantacije može biti izazovna ili nemoguća, kao u slučaju kada pacijent ima ograničeno otvaranje usta, što ne dopušta upotrebu kirurških šablona ili dugih implantoloških svdla koja se koriste tijekom osteotomije. Također, zbog netočnog i

nepravilnog postavljanja kirurške šablone može doći do velikih odstupanja u krajnjem položaju implantata (33).



Slika 2. Zubno poduprta kirurška šablona.

Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Mato Sušić.



Slika 3. Statička tehnika postavljanja implantata.

Preuzeto s dopuštenjem autora: prof. dr. sc. Mato Sušić.

2.3.2. Dinamička tehnika

Dinamička tehnika, koja se još naziva i navigacijska, odnosi se na korištenje kirurškog navigacijskog sustava koji reproducira virtualni položaj implantata izravno iz podataka dobivenih kompjutoriziranom tomografijom i omogućuje intraoperativne promjene položaja implantata. Ovaj se sustav temelji na tehnologiji praćenja pokreta koja dopušta praćenje nasadnog instrumenta i pacijenta u stvarnom vremenu tijekom cijelog zahvata (29). Glavne su komponente dinamičkog navigacijskog sustava nastavak za čeljust pacijenta, nastavak za nasadnik, kamera, izvor koji emitira svjetlo iznad glave pacijenta, računalo i senzori (29).

Postoje dvije vrste optičkih sustava za praćenje kretanje: aktivni i pasivni. Aktivni sustav predstavlja nizove sustava za aktivno praćenje koji emitiraju infracrveno svjetlo koje prati stereo kamera. Trenutno najčešće korišten jest pasivni sustav. Sastoji se od svjetla koje se projicira iz svjetleće diode iznad pacijenta. Svjetlo se projicira prema pacijentu i kirurškom polju te se reflektira od nizova za praćenje (pasivni nizovi s uzorkom) koji su pričvršćeni na pacijentu i kirurškim instrumentima koji se koriste. Nakon toga, reflektirano svjetlo registrira par stereo kamera iznad pacijenta. Dinamički navigacijski sustav zatim izračunava položaj pacijenta i instrumenta u odnosu na predkirurški plan te se stvara virtualna slika koja se projicira na monitoru čime se kontrolira smjer, angulacija i dubina ugradnje implantata. Dinamična tehnika dopušta kirurgu izvođenje planirane ugradnje implantata koja ovisno o kliničkoj situaciji može biti promijenjena u svakom trenutku. Također, dinamička tehnika omogućuje terapeutu sigurnost u postavljanju implantata u kosti bez potrebe za otvaranjem režnja, čime se minimalizira trauma za pacijenta. Jedna od glavnih prednosti navigacijske tehnike jest mogućnost provjere točnosti u svakom trenutku tijekom zahvata, za razliku od statičke tehnike, u upotrebi koje, ako šablona nije pravilno postavljena i fiksirana, može doći do značajne pogreške u ugradnji implantata. Ergonomski gledano, dinamična tehnika dopušta kirurgu da pogled više usmjerava u zaslon nego u pacijentova usta, smanjujući time potrebu za savijanjem leđa ili vrata tijekom duljeg razdoblja. Također, pomoću ove tehnike moguće je ugraditi implantate pacijentima s ograničenim otvaranjem usta ili u slučajevima ugradnje implantata u posteriornim regijama s teškom vizualizacijom. Najveći nedostatak dinamičke tehnike jest visoka cijena opreme te potreba za dodatnom edukacijom terapeuta (29,31).

Digitalna tehnologija koja se neprekidno razvija čini stomatologiju jednom od najnaprednijih grana u svijetu medicine. Digitalni napredak posljednjih godina donio je mnoge prednosti, kako kliničarima tako i pacijentima, uključujući skraćeno vrijeme zahvata, niže financijske troškove, povećanu učinkovitost i ishod terapije (34).

Neke su od najvažnijih digitalnih tehnologija uvedenih u područje dentalne medicine CBCT, CAD/CAM sustav te intraoralni skeneri. Sve to omogućuje bržu i precizniju rehabilitaciju, uz mogućnost predsimulacije završnog tretmana. Napredak računalne znanosti donio je značajne prednosti, čineći uspostavu dijagnoze i izvođenje složenih implantoloških zahvata lakšima (34).

Glavna revolucija u digitalnom protokolu rada bila je uvođenje CAD/CAM sustava čiji je prvotni cilj bio poboljšati izgled krajnjih protetskih nadomjestaka, smanjiti troškove i vrijeme izrade te poboljšati estetsko zadovoljstvo pacijenta. CAD/CAM sastoji se od trodimenzionalnog virtualnog dizajna koji se planira pomoću softvera te njegove izrade pomoću računalno potpomognute proizvodnje korištenjem uređaja za glodanje ili 3D printanje. Ova tehnologija nudi nekoliko prednosti, kao što su točnost računalnog planiranja, brzina digitalnog otiska, kvaliteta digitalno izrađenih proizvoda te mogućnost njihove ponovne izrade u bilo kojem trenutku. Također, važna je prednost trodimenzionalnog planiranja predvizualizacija konačnog proizvoda tako da kliničar može procijeniti njegov izgled i točnost, što omogućava brzu komunikaciju između kliničara, drugih suradnika i pacijenta (34).

Neke su od posljednjih značajnih inovacija u digitalnoj medicini digitalni otisci dobiveni intraoralnim skenerima te CBCT-om. Njihovom upotrebom dijagnoza i planiranje terapije odvijaju se brže, predvidljivije i sigurnije. Upotrebom intraoralnih skenera kliničar može pregledati digitalni otisak i trenutno ispraviti moguće nepravilnosti. Također, velika prednost jest mogućnost analize okluzalnih odnosa između zubnih lukova te slanje digitalnog otiska putem e-pošte, izbjegavajući gubitak vremena (34). Nažalost, intraoralni skeneri ne mogu dobro skenirati pokretna meka tkiva, što kod potpuno bezubih pacijenata i dalje zahtijeva primjenu konvencionalnih otisaka (35).

Međusobnim superponiranjem DICOM datoteka (dobivenih CBCT snimanjem) i STL formata (izvedenih intraoralnim skeniranjem) omogućuje se precizno virtualno planiranje protetskog nadomjestka, kao i planiranje položaja implantata i izgled kirurških šablona. Naposljetku, kirurške šablone najčešće se proizvode pomoću 3D pisača (29).

Razvojem tehnologije u dentalnoj medicini uvedene su nove tehnike pomoću kojih se vrši ugradnja implantata. Statička i dinamička tehnika računalno vođene implantologije uvelike poboljšavaju točnost i preciznost ugradnje implantata u usporedbi s konvencionalnim

tehnika. Također, njihovom uporabom često se postupak započinje minimalno invazivnim pristupom tj. bez odizanja mukoperiostalnog režnja. Cosyn i suradnici zaključili su da je pristup bez režnja smanjio gubitak koštane mase, ali i pospješio ponovni rast papile, a time i estetski ishod pojedinačnih implantata. Nadalje, pristup bez odizanja mukoperiostalnog režnja održava periost u kontaktu s kosti, čime se čuva opskrba krvlju i osteogeni potencijal kosti na mjestu ugradnje implantata. Ovakvim pristupom zabilježen je manji broj postoperativnih komplikacija kao i nelagoda za pacijenta (29).

Pojava odstupanja implantata nakon ugradnje može se pojaviti kao greška, tijekom planiranja ili kirurškog zahvata. Tahmaseb i suradnici utvrdili su kako ugradnja implantata konvencionalnom tehnikom (*Freehand*) pokazuje pogrešku od 2,7 mm i 2,9 mm linearnog odstupanja u koronalnom i apikalnom položaju kao i odstupanje od 9,9° u angulaciji, dok je korištenjem kirurških šablona tijekom postave implantata primijećena devijacija od 1,4 mm i 1,6 mm na koronalnom i apikalnom dijelu implantata, kao i odstupanje u angulaciji u rasponu od 3° – 8,86° (31).

Di Giacom i suradnici sugeriraju kako neodgovarajuća fiksacija i stabilnost kirurške šablone može uzrokovati pogrešku tijekom postavljanja implantata. Stoga je potrebno pravilno planiranje i pozicioniranje šablone za odgovarajući ishod terapije (31).

Dinamička tehnika omogućuje lakši pristup u slučajevima izazovne topografije kosti ili anatomskih struktura. Navigacijska tehnika pokazuje veliku točnost i preciznost u koronalnom i apikalnom dijelu ugrađenog implantata u odnosu na virtualno planiranu poziciju implantata. Nekoliko studija ukazalo je na zanemarivu pogrešku tijekom uporabe dinamičke tehnike, u linearnom odstupanju od 0,4 mm i angulacijskom odstupanju od 4° u konačnom položaju implantata. Stoga navigacijsku tehniku možemo smatrati vrlo preciznom sa srednjom pogreškom od 0.35 mm (31).

Usporedi li se statička i dinamička tehnika, statička se uobičajeno koristi kod potpuno bezubih pacijenata, dok se dinamička koristi u slučajevima ograničenog otvaranja usta ili kod nedostupnosti stražnjeg dijela čeljusti. Prednost upotrebe dinamičkog sustava jest postavljanje implantata upotrebom kraćih kirurških instrumenata bez direktnog gledanja u pacijentova usta, gledanjem u ekran. Kirurške šablone zahtijevaju odgovarajući razmak između implantata, sluznice i susjednih zuba kako bi se osigurala točnost. Studije koje su vodili Kaewsiri i suradnici te Mischkowski i suradnici govore kako dinamička tehnika pruža veću točnost u usporedbi sa statičkom tehnikom (31).

Prilikom izvođenja obiju tehnika postoji mogućnost komplikacija koje mogu biti kirurške i protetske. Najčešća komplikacija jest pucanje kirurške šablone, zbog koje posljedično dolazi

do izmjene kirurškog plana ili odsutnosti primarne stabilnosti implantata te njegova mogućeg ranog gubitka, kao i do oštećenja vitalnih anatomskih struktura. Tahmaseb i suradnici navode kako se korištenjem statičke tehnike komplikacije javljaju u prosječnoj stopi od 13,3 %. Manje komplikacije zabilježene su nakon upotrebe dinamičke tehnike (31).

Zaključno, istina je da novije digitalne tehnologije uvelike olakšavaju ne samo liječniku, nego i pacijentu. Svojim brzim napretkom osigurale su točnost, sigurnost i udobnost za pacijenta kao i predvidljivost tretmana, eliminirajući dodatne korake čime se štedi vrijeme, a u konačnici je i predvidljiv ishod konačnog uspjeha implantološke terapije.

Koristeći se naprednim alatima poput CBCT-a, intraoralnih skenera, virtualnog planiranja implantata i digitalnih softvera, novije digitalne tehnologije omogućuju personaliziran pristup svakom pacijentu, smanjujući rizike i vrijeme oporavka.

Manja su odstupanja od planiranog tijeka terapije neizbježna i uvijek ih treba uzeti u obzir. Također, potrebna su dodatna znanstvena istraživanja koja će potvrditi točnost i procijeniti različite aspekte digitalne tehnologije prije nego što se potpuno zamjene s konvencionalnim postupcima u dentalnoj implantologiji.

Bitno je naglasiti kako uvijek postoji mogućnost dodatnog poboljšanja navedenih digitalnih tehnologija, no dosadašnje iskustvo potvrđuje njihovu ključnu ulogu u modernoj dentalnoj medicini.

1. Todaro C, Cerri M, Rodriguez Y Baena R, Lupi SM. Lower Jaw Full-Arch Restoration: A Completely Digital Approach to Immediate Load. *Healthcare*. 2024;12(3):332.
2. Sikri A, Sikri J. Digital dental implantology – The cutting edge implantology: A comprehensive review. *IP Ann Prosthodont Restor Dent*. 2022;8(1):3–9.
3. Arcuri L, Lorenzi C, Cecchetti F, Germano F, Spuntarelli M, Barlattani A. Full digital workflow for implant-prosthetic rehabilitations: a case report. *Oral Implantol*. 2016;8(4):114–21.
4. Matijaš T, Jurić B. The role of CBCT in the field of dental implantology. *Radiološki Vjesn*. 2023;47(1):16–27.
5. Neto ADT, de Moura e Costa AJ, Choi IGG, Santos A, dos Santos JF, Cortes ARG. Digital Workflow for Full-Arch Implant-Supported Prosthesis Based on Intraoral Scans of a Relative of the Patient. *J Oral Implantol*. 2021;47(1):68–71.
6. Lin CC, Wu CZ, Huang MS, Huang CF, Cheng HC, Wang DP. Fully Digital Workflow for Planning Static Guided Implant Surgery: A Prospective Accuracy Study. *J Clin Med*. 2020;9(4):980.
7. Tyndall DA, Price JB, Tetradis S, Ganz SD, Hildebolt C, Scarfe WC. Position statement of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology on selection criteria for the use of radiology in dental implantology with emphasis on cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2012;113(6):817–26.
8. Monsour P, Dudhia R. Implant radiography and radiology. *Aust Dent J*. 2008;53(s1):S11–25.
9. Krolo I, Zadavec D. *Dentalna radiologija*. Zagreb: Medicinska naklada; 2016. 366 str.
10. Bromberg N, Brizuela M. *Dental Cone Beam Computed Tomography*. U Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [citirano 19. lipanj 2024.]. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK592390/>
11. Albanchez-González MI, Brinkmann JCB, 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.
12. Marques S, Ribeiro P, Falcão C, Lemos BF, Ríos-Carrasco B, Ríos-Santos JV, i ostali. Digital Impressions in Implant Dentistry: A Literature Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(3):1020.
13. Scherer MD. Digital Technology for Implant Dentistry. *Today*. 2018;37(11):96-100.

14. Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):92.
15. da Silva Salomão GV, Chun EP, Panegaci RDS, Santos FT. Analysis of Digital Workflow in Implantology. *Case Rep Dent*. 2021;2021:6655908.
16. Siqueira R, Galli M, Chen Z, Mendonça G, Meirelles L, Wang HL. Intraoral scanning reduces procedure time and improves patient comfort in fixed prosthodontics and implant dentistry: a systematic review. *Clin Oral Investig*. 2021;25(12):6517–31.
17. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res*. 2020;64(2):109–13.
18. Ludlow M, Renne W. Digital Workflow in Implant Dentistry. *Curr Oral Health Rep*. 2017;4.
19. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):149.
20. Shetty SR, Murray C, Kawas SA, Jaser S, Talaat W, Madi M. Acceptability of fully guided virtual implant planning software among dental undergraduate students. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):336.
21. Schubert O, Schweiger J, Stimmelmayer M, Nold E, Güth JF. Digital implant planning and guided implant surgery – workflow and reliability. *Br Dent J*. 2019;226(2):101–8.
22. Gupta R, Gupta N, Weber DDS. *Dental Implants*. U: Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [citirano 13. lipanj 2024.]. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470448/>
23. Scherer MD. Presurgical Implant-Site Assessment and Restoratively Driven Digital Planning. *Dent Clin North Am*. 2014;58(3):561–95.
24. Palomino-Zorrilla JJ, Córdova-Limaylla NE, Rosas-Díaz JC, Cayo-Rojas CF, Cervantes-Ganoza LA, Guerrero ME. Jawbone quality classification in dental implant planning and placement studies. A scoping review. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2024;14(2):89–97.
25. Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Bone Quality and Quantity and Dental Implant Failure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Prosthodont*. 2017;30(3):219–37.
26. Ramasamy M, Giri, Raja R, Subramonian, Karthik, Narendrakumar R. Implant surgical guides: From the past to the present. *J Pharm Bioallied Sci*. 2013;5(Suppl 1):S98–102.

27. Kernen F, Kramer J, Wanner L, Wismeijer D, Nelson K, Flügge T. A review of virtual planning software for guided implant surgery - data import and visualization, drill guide design and manufacturing. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):251.
28. Turkyilmaz I. Current Concepts in Dental Implantology [Internet]. 2015 [citirano 30. srpanj 2024.]. Dostupno na: <https://www.intechopen.com/books/4548>
29. D'haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontol 2000*. 2017;73(1):121–33.
30. Rouzé l'Alzit F, Cade R, Naveau A, Babilotte J, Meglioli M, Catros S. Accuracy of commercial 3D printers for the fabrication of surgical guides in dental implantology. *J Dent*. 2022;117:103909.
31. Kalaivani G, Balaji VR, Manikandan D, Rohini G. Expectation and reality of guided implant surgery protocol using computer-assisted static and dynamic navigation system at present scenario: Evidence-based literature review. *J Indian Soc Periodontol*. 2020;24(5):398–408.
32. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Marqués-Guasch J, Wang HL. Fully Guided Versus Half-Guided and Freehand Implant Placement: Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2020;35(6):1159–69.
33. Panchal N, Mahmood L, Retana A, Emery R. Dynamic Navigation for Dental Implant Surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am*. 2019;31(4):539–47.
34. Tallarico M. Computerization and Digital Workflow in Medicine: Focus on Digital Dentistry. *Materials*. 2020;13(9):2172.
35. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res*. 2018;29(S16):416–35.

Andrej Žugaj rođen je 8. studenog 1999. godine u Sisku. U Petrinji završava osnovnoškolsko obrazovanje kao i srednjoškolsko obrazovanje u Srednjoj školi Petrinja, smjer opća gimnazija. Godine 2018. upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.