

## Kompjutorski navođena implantologija

Roko Bjelica, dr. med. dent.<sup>1</sup>  
prof. dr. sc. Irina Filipović Zore<sup>2</sup>

[1] diplomirao u akademskoj godini 2019./2020.

[2] Zavod za oralnu kirurgiju, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

### Pregled razvoja

Dentalna implantologija u današnje je vrijeme neizostavna grana dentalne medicine koja se bavi rehabilitacijom djelomično i potpuno bezubih pacijenata. Razvija se veoma brzo i neprestano dolazimo do novih spoznaja i saznanja koja značajno doprinose kliničkom radu (1). Moderni trendovi uključuju skraćivanje vremena potrebnog za potpunu rehabilitaciju, minimalno invazivan kirurški protokol implantacije te povećanje preciznosti ugradnje dentalnih implantata. Reprodukcijski položaja, kuta i dubine implantata na način kako je odabrano i planirano u dijagnostičkoj fazi predstavlja najveći izazov za doktora dentalne medicine i upravo je nepravilno postavljanje implantata jedna od najčešćih komplikacija terapije. Pravilnom postavom implantata omogućen je povoljan prijenos sila na implantate i buduću protetsku suprastrukturu i posljedično odgovarajući estetski ishod terapije. Implantat mora biti odgovarajućeg položaja i nagiba u odnosu na postojeće i antagonističke zube te količinu i kvalitetu kosti. Također, uvjet koji mora biti ispunjen je očuvanje okolnih anatomskih struktura. Takav pristup zovemo *protetički vođenom implantacijom* (2). Upravo je kirurška vodilica ili šablona „prijenosni uređaj“ kojim je postignuta što vjernija postava implantata u planirani položaj. Rječnik protetskih pojmova definira kiruršku vodilicu kao vodilicu koja se koristi za pravilno postavljanje implantata u pravilnom nagibu i na pravome mjestu (3). Lambert J. Stumpel tvrdi da je najveći izazov u postavljanju implantata njihovo pravilno pozicioniranje, a smatra

se jednim od pionira uvođenja kirurških vodilica izrađenih prema rendgenskim snimkama (4). U početku su se vodilice izrađivale na gipsanim modelima, no gips je tvrd materijal i ne daje podatke o rezilijenciji i debljini sluznice te topografiji podležće kosti. Uzimajući u obzir uvjet očuvanja okolnih anatomskih struktura pri postavi implantata, gipsani model ne daje nikakvu informaciju o strukturama unutar kosti, krvožilnoj mreži ni o anatomskim referentnim točkama. Metoda kojom se vodilo računa o navedenim strukturama bila je isključivo dvodimenzionalna slika (4). Razvoj informatičke tehnologije dao je izniman doprinos svim granama medicinske struke, pa tako i dentalnoj implantologiji. Utjecaj moderne računalne tehnologije vidljiv je ponajviše u preciznom planiranju implantološke terapije. Pravu revoluciju u planiranju i vjerojatno najvažniji utjecaj na razvoj planiranja i kirurškog protokola donosi 3D snimanje i *Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM)* tehnologija koja, uz 3D snimku i odgovarajući računalni program, omogućava izradu preciznih kirurških vodilica. Uvođenjem *Cone Beam Computer Tomography (CBCT-a)* u stomatološku praksu omogućen je vrlo kvalitetan trodimenzionalni prikaz kraniofacijalnih struktura, uz razmjerno niske doze zračenja i prihvatljivu cijenu. Razvoj odgovarajućih računalnih programa za planiranje postav dentalnih implantata, uz CBCT, dao je potpuno nove smjernice u implantološkoj terapiji. Konačno, razvijene su kompjutorski izrađene kirurške vodilice (CAD/CAM tehnologijom), koje se izrađuju na

temelju podataka CBCT-a odgovarajućeg pacijenta. Takav pristup čini kompjutorski navođenu implantologiju pouzdanom metodom koja osigurava predvidljiv pristup kliničaru, od samog planiranja implantacije do konačnog protetskog rješenja (5).

Kompjutorski vođenu implantološku terapiju nužno je uključiti u opće planiranje liječenja kako bi kliničar utvrdio je li provedba takvog tipa terapije moguća. Inicijalna dijagnostika se ne razlikuje od klasičnog pristupa u dentalnoj medicini te uključuje detaljan klinički pregled i radiografsku analizu. Prije odluke o korištenju vodilice potrebno je provjeriti ima li pacijent dovoljnu visinu međučeljusnog prostora kako bi se vodilica mogla unijeti u usta i obrnuto. Uzimajući u obzir sve navedene parametre, planira se terapija i radi CT/CBCT dijagnostikama.

Dva su glavna sustava kompjutorski vođene implantološke terapije: statički i dinamički.

### STATIČKA TEHNIKA

#### Radiografska vodilica

Nakon provedene inicijalne dijagnostičke faze, kliničar određuje potrebu za izradom radiografske vodilice. Radiografska vodilica ili šablona jest radiopaktni duplikat planiranog privremenog protetskog rada koji pacijent nosi u ustima tijekom snimanja. Omogućuje prijenos protetske informacije u CBCT podatke i time je osigurana protetički vođena ugradnja implantata. Potreba za izradom određena je brojem izgubljenih zuba. Obično se za nedostatak manjeg

broja zuba (< 3) izrađuju virtualni zubi u odgovarajućem softverskom programu za kompjutorski vođenu implantaciju. To znači da je izrada radiografske vodilice indicirana u slučajevima djelomične bezubosti gdje nedostaje velik broj zuba te kod potpune bezubosti. Ipak, izrada radioopakne radiografske vodilice je najpreciznije rješenje za ispravnu angulaciju i planirani položaj implantata (6). Nakon izrade radiografske vodilice danas se najčešće izvodi CBCT snimanje tehnikom dvostrukog skeniranja (double scan protokol). To znači da se napravljena vodilica skenira izvan usne šupljine, a potom se obavlja CBCT snimka vodilice pozicionirane u ustima pacijenta. Vrlo je važno da se pri snimanju vodilice u ustima ona nalazi na željenom mjestu te da savršeno priliježe uz sluznicu ako je riječ o bezuboj čeljusti, ili na preostale zube i sluznicu u slučaju djelomične bezubosti. Kako bi se osigurao stabilan položaj vodilice, izrađuje se fiksator zagriža ili silikonski indeks koji fiksira radiografsku vodilicu i stabilizira gornju i donju čeljust za vrijeme snimanja (7).

#### Izrada kirurške vodilice

Nakon CT ili CBCT snimanja stomatolog može u potpunosti upravljati slikovnim podacima i precizno očitati sve potrebne informacije u sve tri ravnine. U toj, dijagnostičkoj, fazi očitavanja snimke kliničar dobiva detaljan uvid u anatomske strukture i morfološke karakteristike (n. alveolaris inferior, sinusna šupljina, septum sinusa, korijen zuba, gustoća kosti). Slijedi planiranje terapije vođeno protetskim aspektom jer stomatolog određuje oblik i izgled završnog rada na temelju podataka dobivenih radiografskom vodilicom. Na osnovi svih navedenih informacija virtualno se planira položaj i nagib implantata. Automatski se izračunava razmak između implantata i željene strukture ili drugog implantata. Moguće je izračunati dimenzije alveolar-

nog grebena i odmah odrediti postoji li potreba za augmentacijom. Također, postoji mogućnost praćenja tijeka nazopalatinalnog ili donjeg alveolarnog živca. U gornjoj čeljusti, maksilarni sinus i njegova složena anatomija često su važna stavka u planiranju implantološke terapije. Ovakav pristup omogućuje jasan prikaz anatomije i dimenzija sinusa, prikaz maksilarne arterije te prisutnost septa. Takav trodimenzionalan uvid u položaj, dubinu implantacije i nagib dentalnih implantata daje precizan i potpuni plan liječenja (8).

Slijedi planiranje virtualne kirurške vodilice i slanje datoteke u elektroničkom obliku za njezinu izradu. Vodilice se pomoću CAD/CAM sustava izrađuju 3D printanjem ili glodanjem. Metode brze proizvodnje (engl. Rapid prototyping, RP) su metode 3D printanja koje se sve više koriste u novije vrijeme u praksi. Najrasprostranjenija i najpoznatija RP metoda koja se koristi u printanju kirurških vodilica je stereolitografija (SLA). SLA aparat sastoji se od posude u kojoj je fotopolimerizirajuća smola i lasera koji je montiran na postolje iznad posude. Laserske zrake izazivaju polimerizaciju smole u slojevima poprečnog presjeka debljine 1 mm. Kako se jedan sloj polimerizira, postolje se pomiče 1 mm prema dolje i laserske zrake polimeriziraju novi sloj. SLA aparat polimerizira smolu referirajući se na računalne podatke o planiranom položaju i dimenziji implantata. Time se dobije cilindrična šupljina koja po dimenzijama i poziciji odgovara kompjutorski dizajniranom virtualnom implantatu (9). Tehničar ukloni višak smole, ako je to potrebno, te postavlja cijevi od nehrđajućeg čelika u formirane šupljine koje time postaju prave kirurške vodilice za svrdla tijekom implantacije.

Opisana tehnika danas se smatra starijom jer je u međuvremenu razvijena tehnika u kojoj kliničar više ne mora uzimati klasičan otisak i ne moraju se

izlijevati sadreni modeli. Posljedično, nema niti wax-upa te se ne izrađuje radiografska vodilica. Intraoralna kamera zamijenila je uzimanje otiska i potrebu za izradom dijagnostičkih modela. Takav pristup doveo je do modificiranog protokola izrade kirurške vodilice.

Pri skeniranju intraoralnom kamerom nužno je skenirati ozubljene i neozubljene dijelove čeljusti, ali i suprotnu čeljust te zabilježiti međučeljusne odnose. Podatci dobiveni intraoralnom kamerom pohranjuju se u STL formatu. Napravi se CBCT snimak širokim poljem (10 x 5 cm), kako bi se moglo obaviti što preciznije preklapanje sa snimkama zabilježenim intraoralnim skenerom. Slijedi softverska obrada podataka, a važno je navesti da se razlikuju dvije vrste softvera: protetički CAD, za virtualni wax-up, i kirurški CAD koji služi za 3D planiranje ugradnje implantata i oblikovanje kirurške vodilice. STL podatci prebacuju se u protetički CAD, planira se kirurška vodilica prema virtualnom wax-upu te susjednim i antagonističkim zubima (10).

Nakon zadovoljenog protetskog aspekta, u istom se formatu plan terapije prebacuje u kirurški CAD. U toj se fazi vrši preklapanje čeljusti skeniranih u STL formatu i CBCT slika te se provjerava točnost preklapanja referentnih točaka i površina. To je vrlo važna i osjetljiva faza jer se pogreške u preklapanju odražavaju na pravilan dosjed šablone. Identificiraju se sve anatomske strukture koje su bitne za planiranje položaja implantacije i određuje se položaj panoramske krivulje u svrhu dobivanja željenih poprečnih presjeka (11). Pristupa se planiranju postave implantata poštujući anatomske uvjete i planirani protetski ishod terapije. Posebna pozornost posvećuje se angulaciji implantata kako bi njihov izlazni profil omogućio precizan dosjed buduće protetičke suprastrukture. Kada su svi parametri određeni, pozicija virtualno postavljene

nog implantata se pohranjuje i zaključava.

Daljnji tijek izrade vodilice istovjetan je klasičnoj statičkoj tehnici s uzimanjem otiska i opisan je u ranijem tekstu. Kada je izrada vodilice završena (Slika 1.), ona se sterilizira i šalje u ordinaciju.

### Kirurški protokol implantacije

Prije samog kirurškog zahvata provjerava se dosjed i stabilnost kirurške vodilice u zadanom položaju. Također, potrebno je osigurati da sva svrdla nesmetano prolaze kroz metalne cilindrične vodilice. Kod ugradnje implantata u stražnjem dijelu zubnog luka nužno je provjeriti interokluzalni razmak potreban za svrdla jer su ona 5 – 10 mm dulja od konvencionalnih implantoloških svrdala. Ako postoje fiksacijski vijci, šablona se mora adekvatno pozicionirati prije postave vijaka. Protokol kirurškog postupka implantacije uvelike je uvjetovan dizajnom kirurške vodilice. Vrsta podupiranja u usnoj šupljini vrlo je važna u kirurškom protokolu. Razlikuju se: alveolarno, dentalno i mukozno poduprte vodilice.

Alveolarno ili koštano poduprte vodilice oslanjaju se na pacijentovu potpuno ili djelomično bezubu čeljust, stabilno stoje na željenoj poziciji i omogućuju dobru vizualizaciju kirurškog polja. Nedostatak im je potreba za izlaganjem kosti,

tako da se najčešće koriste u slučajevima u kojima je potrebna remodelacija alveolarnog grebena. Dentalno poduprte vodilice oslanjaju se na susjedne zube, pa je logično zaključiti da se koriste u slučajevima djelomične bezubosti ili, najčešće, nedostatka jednog zuba. Omogućuju minimalnu invazivnost bez potrebe za odizanjem režnja ukoliko to ne zahtijeva klinička situacija (Slika 2.). Mukozno poduprte šablone oslanjaju se na sluznicu i koriste se kod potpuno bezubih pacijenata. Njihova je prednost mogućnost zatvorenog (engl. *flapless*) pristupa, bez odizanja režnja. Takav, minimalno invazivan, pristup osigurava brže cijeljenje i manje postoperativne komplikacije (5). Postupak same implantacije u osnovi je isti kao i kod konvencionalne free hand implantacije. Unatoč unaprijed određenoj i u potpunosti vođenoj preparaciji kosti, kliničar mora kontinuirano vršiti intraoperativnu vizualnu evaluaciju točnosti, posebice u ranijim fazama zahvata.

### Prednosti i nedostaci – statički pristup

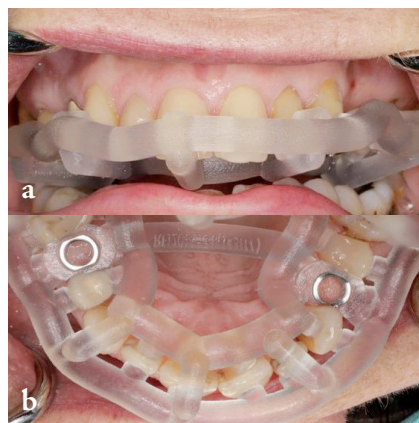
Najveća prednost kompjuterski navođene implantologije je precizan prijenos planirane rehabilitacije u kirurško polje ili, jednostavnije, visoka preciznost ugradnje implantata. Upravo zbog preciznosti i planiranog položaja implantata čuvaju se

bliske anatomske strukture koje su inače izložene mogućem oštećenju (n. alveolaris inferior, Schneiderova membrana, susjedni zubi, itd.). Unaprijed planiran položaj implantata i prijenos pomoću vodilice znatno skraćuju vrijeme zahvata kod zahtjevnijih slučajeva s implantacijom većeg broja implantata. Zbog moguće minimalno invazivne tehnike ugradnje implantata bez odizanja režnja kod mukozno i dentalno poduprtih kirurških vodilica, brža je revaskularizacija operiranog područja i cijeljenje rane. To smanjuje postoperativne komplikacije i vrijeme oporavka.

Valja napomenuti i neke nedostatke kompjuterski navođene implantološke terapije. Nedvojbeno je da kirurške vodilice uzrokuju nedostatak taktilne kontrole tijekom zahvata, a u nekim slučajevima i smanjenu vizualnu kontrolu. Dimenzije šablone mogu biti ograničavajući čimbenik pri ugradnji implantata u distalnoj regiji. Sam dizajn kirurške šablone također otežava irigaciju operacijskog područja fiziološkom otopinom, pa je smanjena mogućnost hlađenja kosti. Moguće je i oštećenje susjednih anatomske strukture u slučaju da dođe do odstupanja od planiranog virtualnog položaja implantata tokom kirurškog protokola ugradnje. Na kraju, ne treba zaboraviti da kompjuterski vođena terapija zahtijeva CBCT dija-



Slika 1. Kirurška vodilica izrađena statičkom tehnikom kompjuterski navođene implantacije



Slika 2. Dentalno poduprta kirurška vodilica: a. frontalni prikaz; b. okluzalni prikaz



Slika 3. Dinamička tehnika kompjuterski navođene implantacije

agnostiku s odgovarajućim softverom, posebni set svrdala i izradu kirurške vodilice što iziskuje dodatne troškove (12).

### DINAMIČKA TEHNIKA


U dinamičkoj tehnici navođene implantacije ili dinamičkoj navigaciji prati se pozicija nasadnog instrumenta u stvarnom vremenu pomoću infracrvenih ili optičkih elektroničkih kamera (Slika 3.). Zahvaljujući tehnologiji praćenja u stvarnom vremenu, nema više potrebe za fizičkom izradom kirurške vodilice. Dinamičku navigacijsku tehniku najjednostavnije je shvatiti ako se usporedi s Global Positioning Systemom (GPS-om) koji se koristi u navigacijskim sustavima prijevoznih sredstava, mobilnih telefona ili pametnih satova. GPS sustav sastoji se od tri komponente: lokatora analognog satelitu u svemiru, posebnog nasadnog instrumenta koji odašilje valove kao i navigacijski sustav u automobilu i prati se u stvarnom vremenu, te CT snimke koja odgovara mapi i pokazuje smjer kretanja. Dinamička tehnika kirurškog navođenja je primarno razvijena za uporabu u ne-

urokirurgiji, ali je zahvaljujući dovoljnoj preciznosti našla svoje mjesto u maksilofacijalnoj kirurgiji i implantologiji. Takav sustav predstavlja integraciju 3D slike dobivene CT/CBCT skenom i kirurškog polja što omogućuje kliničaru simultanu vizualizaciju i praćenje različitih slika. Time je osiguran planirani položaj implantacije te prikaz i očuvanje anatomskih struktura koje su važne u protokolu ugradnje implantata (13).

Dvije su tehnike dinamičke navigacije: elektromagnetska i optička. Optički sustav ili infracrveni sustav upotrebljava infracrvene senzore u kombinaciji sa svjetlosno-emitirajućim strukturama koje su fiksirane na pacijentovu glavu i nasadni instrument. Instrument mora biti detektiran od senzora u računalu ili kameri kako bi se mogla pratiti njegova pozicija u kirurškom polju. Elektromagnetska tehnika se, s druge strane, služi elektromagnetskim poljem i referentnim točkama na glavi pacijenta i u nasadnom instrumentu u svrhu praćenja pozicije istog u kirurškom polju.

Sigurnost dinamičke navigacije i stupanj preciznosti ovisi o vrsti korištenog sustava, ali i kvaliteti radiografske snimke. Tehnika obrade slike i usklađivanje s trenutačnom pozicijom pacijenta tijekom zahvata od presudne su važnosti u ishodu terapije. Iz tog razloga postoje razlike između preciznosti u mandibuli i maksili. U gornjoj čeljusti preciznost je veća, a zbog konstantnih pokreta mandibule kompromitirana je sigurna registracija referentnih točaka.

Unatoč nekim nedostacima, razvoj tehnologije neprestano unapređuje dinamičku tehniku kirurške navigacije. Sigurno je da će takav pristup biti budućnost kompjutorski navođene implantologije, ali se zbog velikih financijskih troškova i visokog stupnja potrebne edukacije još neko vrijeme neće koristiti u svakodnevnoj stomatološkoj praksi.

Sve slike preuzete su s dopuštenjem prof. dr. sc. Irine Filipović Zore. 

## LITERATURA

1. Binon P. Implants and Components: Entering the New Millennium. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2000 Jan 1;15:76–94.
2. Pyo S-W, Lim Y-J, Koo K-T, Lee J. Methods Used to Assess the 3D Accuracy of Dental Implant Positions in Computer-Guided Implant Placement: A Review. *J Clin Med*. 2019;8(1):54.
3. Driscoll CF, Freilich MA, Guckes AD, Knoernschild KL, MCGarry TJ, Goldstein G, et al. The Glossary of Prosthodontic Terms: Ninth Edition. *J Prosthet Dent*. 2017;117(5):e1–105.
4. Stumpel LJ. Cast-based guided implant placement: A novel technique. *J Prosthet Dent*. 2008;100(1):61–9.
5. Tan PLB, Layton DM, Wise SL. In vitro com-

6. parison of guided versus freehand implant placement: use of a new combined TRIOS surface scanning, Implant Studio,
7. CBCT, and stereolithographic virtually planned and guided technique. *Int J Comput Dent*. 2018;21(2):87–95.
8. Germino M. Clinical Application of Computer-Guided Implant Surgery. *Yale J Biol Med*. 2014;87(3):397.
9. Mangano FG, Hauschild U, Admakin O. Full in-office guided surgery with open selective tooth-supported templates: A prospective clinical study on 20 patients. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(11).
10. Pozzi A, Polizzi G, Moy P. Guided surgery with tooth-supported templates for single missing teeth: A critical review. *Eur J Oral Implantol*. 2016;9:135–53.

12. Dehurtevent M, Robberecht L, Hornez JC, Thuault A, Deveaux E, Béhin P.
13. Stereolithography: A new method for processing dental ceramics by additive computer-aided manufacturing. *Dent Mater*. 2017;33(5):477–85.
14. 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.
15. Geng W, Liu C, Su Y, Li J, Zhou Y. Accuracy of different types of computer-aided design/computer-aided manufacturing surgical guides for dental implant placement. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(6):8442–9.
16. Roko Bjelica. *Diplomski rad*. 2020; 14.
17. Herklotz J, Beuer F, Kunz A, Hildebrand D, Happe A. Navigation in implantology. *Int J Comput Dent*. 2017;20(1):9–19.