

Glodanje fiksnoprotetskih radova – I. dio

Domagoj Lijić¹

Luka Leko¹

izv. prof. dr. sc. Joško Viskić²

[1] studenti četvrte godine, Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet
[2] Zavod za fiksnu protetiku, Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet

SAŽETAK

Dentalne glodalice su jedan od najvažnijih alata u suvremenoj stomatologiji. Njihova evolucija započela je razvojem digitalnih tehnologija i posljedičnim uvođenjem CAD/CAM sustava u dentalnu medicinu. CAD/CAM sustave sačinjavaju 3 komponente: intraoralni skener, kompjuter s vlastitim računalnim softverom te glodalica ili 3D printer. Prije nego li uopće krenemo s procesom glodanja, prvi korak u digitalnoj stomatologiji je uzimanje intraoralnog otiska digitalnim skenerom. U sljedećem koraku, taj isti otisak šaljemo u CAD softver na daljnju obradu i analizu. Poslije dizajna i uređivanja, model u STL datoteci šaljemo na glodanje u CAM jedinicu. Proces glodanja predstavlja suptraktivnu metodu obrade materijala u kojoj se željeni oblik protetskog rada postiže s pomoću upotrebe različitih freza koje odstranjuju višak materijala iz bloka ili diska. Poznajemo mnogo proizvođača dentalnih glodalica, ali njihova podjela prema načinu glodanja i broju osi nam olakšava razumijevanje ovih uređaja. Kod glodalica također razlikujemo više pristupa odnosno načina primjene unutar CAD/CAM sustava; ordinacijski sustavi nam omogućuju izradu rada u jednoj posjeti pacijenta, dok laboratorijski i centralizirani sustavi pružaju dodatnu prilagodbu i preciznost. Kroz ovaj članak, raspravljat ćemo o detaljima i mogućnostima suvremenih dentalnih glodalica. Prvenstveno, počevši od njihove građe i klasifikacije pa sve do analize postupka glodanja i njegove svakodnevne primjene. Ovaj članak raspravlja o najnovijim mogućnostima i tehnologijama današnjih glodalica, uključujući digitalne sustave za planiranje i dizajn te materijale koji povećavaju izdržljivost i preciznost ovih alata.

Ključne riječi: CAD/CAM, glodalica, fiksna protetika, digitalna stomatologija, nadomjestak

Uvod

Posljednjih godina svjedočimo digitalnoj revoluciji u stomatologiji. Jedan od ključnih elemenata ovog tehnološkog napretka su **dentalne glodalice**, uređaji koji se nalaze u samom središtu modernih CAD/CAM sustava. Njihova primjena omogućuje preciznu i učinkovitu izradu stomatoloških radova, čime značajno unaprjeđuje kvalitetu dentalne skrbi i podiže standard današnje estetske i funkcionalne rehabilitacije, ponajviše u protetici. Razvoj ove tehnologije započeo je još sredinom 20. stoljeća. Glavnu ulogu

u njegovom razvitku imalo je američko ratno zrakoplovstvo te tvrtka Auto-trol; koji su među prvima prepoznali njegov potencijal te ga počeli razvijati i primjenjivati u sve grane industrije pa tako i u dentalnu medicinu. Dr. **François Duret**, 1971. godine po prvi put uvodi CAD/CAM tehnologiju u dentalnu medicinu i razvija prvi sustav za izradu krunica pod imenom „*Sopha*“. Daljnji napredak postignut je već 1985. godine kada je dr. **Werner Moermann** predstavio CEREC 1, prvi sustav za „in-chair“ izradu nado-

mjestaka koji je pacijentima omogućio izradu restauracija u jednom posjetu. CEREC 1 postaje zaštitnim znakom tvrtke Siemens, no zbog nedostataka, razvijaju se poboljšani sustavi CEREC 2 i CEREC 3 koje kasnije preuzima tvrtka „Sirona“. U daljnjem razvoju glodalica nema velikog inkrementa napretka, već se kroz godine postepeno razvijaju novi softveri, tehnički modeli i materijali za obradu unutar CAD/CAM sustava. Sljedeći korak u razvoju dentalnih glodalica i CAD/CAM sustava je uspostaviti kompletni digitalni protokol („Full Digital“) za izradu svih vrsta radova.

Kada bi akronim CAD/CAM preveli na hrvatski, on bi glasio: računalno potpomognut dizajn i računalno potpomognuta izrada. Sam sustav sastoji se od tri dijela:

- skenera
- računala i računalnog softvera i
- glodalice ili 3D printera

Skenerom uzimamo digitalni otisak/impresiju koju možemo registrirati na 2 načina; **intraoralno** ili **ekstraoralno**, na **direktan** ili **indirektan način**. Kod **indirektnih tehnika**, prvo uzimamo otisak konvencionalnim metodama (alginat, silikon ili polieter). Zatim otisak šaljemo u laboratorij gdje ili postaje kalup za gipsani model kojeg ćemo potom skenirati ili skeniramo otisak iz kojeg onda virtualno izrađujemo model. Broj čimbenika koji mogu utjecati na konačan protetski rad u ovoj tehnici je puno veći jer uključuje dodatni korak uzimanja konvencionalnog otiska. S druge strane, **direktnim** uzimanjem impresije pacijentovih usta intraoralnim skenerom eliminiamo nedostatke konvencionalnog otiska. Usporedbom digitalnih i analognih tehnika impresija utvrđeno je sljedeće. Digitalne metode otiskivanja općenito su naprednije u pogledu preciznosti, jednostavnosti, udobnosti i brzine, dok analogne metode ostaju praktične u specifičnim kliničkim situacijama („full arch“ impresije). Stomatolozi sve više prelaze na digitalne tehnologije jer omogućuju bolju predvidljivost rezultata i veću učinkovitost u svakodnevnom radu. Poslije uzimanja digitalnog otiska on se pohranjuje u STL („stereolitography“) formatu. To je univerzalni format koji je čitljiv svim proizvođačima CAD/CAM sustava i na taj način olakšava i pojednostavljuje komunikaciju između različitih proizvođača.

Poslije provjere otiska za moguće pogreške, otisak šaljemo u CAD jedinicu na analizu i dizajn. Trenutačno najpoznatiji i najkorišteniji CAD softveri su: „ExoCAD“, „3Shape“ i „inLab“. U njima imamo kompletnu slobodu dizajniranja budućih dentalnih radova ili pomagala. Većina današnjih softvera, uključujući maloprije nabrojane, imaju svoje automatske programe koje mogu složiti cijeli dizajn nadomjestka sami. Oni ga uređuju prema funkcionalnim i estetskim zahtjevima individualnog pacijenta, prateći parametre visine, debljine, morfologije, dosjeda, boje zuba i ostalih. Ako nam to ne odgovora, cijeli dizajn se može odraditi i manualno. Dodatno, uz dizajn možemo uklopiti i cijeli „Digital Smile Design“ protokol u modeliranje pacijentovog budućeg osmijeha. „Digital Smile Design“ (DSD) predstavlja revolucionarnu metodu u domeni estetske stomatologije koja je trajno promijenila iskustvo kako za doktore tako i za pacijente. Ova inovativna metoda temelji se na virtualnom planiranju i dizajniranju željenog osmijeha putem računalne obrade fotografija i videozapisa pacijentovog lica te zubnih proporcija, uzimajući u obzir različite izraze lica poput govora, smijeha i ostalih ekspresija. Nakon što smo uspješno dizajnirali nadomjestak, dokument šaljemo u CAM jedinicu. Tu razlikujemo glodalice i 3D printere, odnosno suptrakcijsku i aditivnu metodu izrade radova. Nešto više o samom procesu glodanja ćemo opisati u idućem dijelu rada.

CAD/CAM sustave možemo podijeliti prema dva koncepta: *koncept izrade nadomjestka* i *koncept dijeljenja podataka*. Prema konceptu izrade nadomjestka razlikujemo tri podvrste. Prva podvrsta je ordinacijska ili „chairside“ metoda. U tom slučaju, čitav CAD/CAM sistem je smješten u ordinaciji gdje se odvijaju sve faze izrade rada. Druga podvrsta je laboratorijska ili „inLab“ metoda. Kod ove metode digitalni otisak šaljemo dentalnom tehničaru u laboratorij gdje se odvija dizajn i izrada nadomjestka. Druga varijanta ove podvrste je uzimanje normalnog analognog otiska, koji šaljemo u laboratorij gdje tehničari izlijevaju model te ga potom skeniraju. Kod posljednje, treće podvrste, imamo centraliziranu proizvodnju radova. Ovdje šaljemo digitalni otisak u velike laboratorijske centre, specijalizirane za izradu svih dentalnih radova.

Prema konceptu dijeljenja podataka razlikujemo **otvorene i zatvorene** sustave. Zatvoreni sustav nam omogućuje da svaki korak, od prikupljanja podataka skenerom, virtualnog dizajna te proizvodnje restauracije, bude unutar istog sistema (istog proizvođača). Naspram zatvorenih, u otvorenim sustavima imamo različite proizvođače. Zahvaljujući univerzalnom STL formatu u kojem se pohranjuju informacije, nije nužno imati komponente CAD/CAM sustava od istog proizvođača.

Dentalne glodalice

Dentalne glodalice su uređaji poznati još kao CNC strojevi. Kratica CNC odnosno „*computer numerical control*“ govori o automatskom upravljanju uređaja bez potrebe ljudske intervencije. Time je omogućena „jednostavnija“ izrada dentalnih radova koja ne zahtijeva konstantnu pažnju dentalnog tehničara ili stomatologa. To dodatno olakšava proces izrade indirektnih nadomjestaka i smanjuje mogućnost ljudske pogreške. Sam proces glodanja je suptraktivna metoda u kojoj željeni oblik nadomjestka dobivamo s pomoću upotrebe različitih freza koje odstranjuju višak materijala iz bloka ili diska dok se ne postigne konačni izgled (Slika 1).

Glodanje i glodalice možemo podijeliti prema više kriterija i načina. One se mogu podijeliti prema broju osi za glodanje, što izravno utječe na zahtjevnost i preciznost obrade nadomjestka.

Glodalice s tri osi

Ove glodalice omogućuju glodanje u tri osnovne okomite ravnine (X, Y, Z), što je dovoljno za većinu



Slika 1. Glodane krunice iz diska
Preuzeto s ljubaznošću dr. med. dent. Ivane Šljaka Lijić

jednostavnijih restauracija. Rotacijske osi A i B definiraju ravnine unutar kojih se blok za glodanje kreće tijekom obrade, a te ravnine omogućuju precizno pozicioniranje i manipulaciju blokova za glodanje. Konkretno: os A omogućuje pomicanje bloka unutar ravnine koja omogućuje rotaciju s lijeva na desno, os B omogućuje pomicanje unutar ravnine naprijed-nazad, ovisno o parametrima definiranim u softveru ili postavkama glodalice, a posljednja os Z je vertikalna os koja je paralelna s osi alata za glodanje i kontrolira visinu ili dubinu alata tijekom obrade.

Glodalice s četiri osi

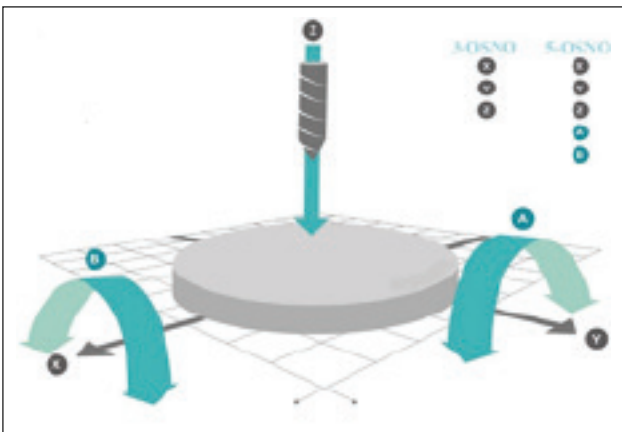
Osim glodanja u tri ravnine, glodalice s četiri osi imaju dodatnu funkcionalnost – mogućnost rotacije držača bloka, što je izuzetno korisno za izradu mostova i drugih složenijih dentalnih konstrukcija jer omogućava pristup različitim površinama bez premještanja objekta.

Glodalice s pet osi

Ove glodalice kombiniraju sve prednosti prethodnih modela, uz dodatnu mogućnost rotacije glave stroja. To omogućava glodanje iz više kutova, što je korisno za preciznu i brzu izradu kompleksnih dentalnih restauracija, poput nagnutih bataljaka to jest nadomjestaka. Primjenom petosnih glodalica značajno smanjujemo pojavu tzv. vrtložnih tragova – površinskih nepravilnosti koje su česta nuspojava troosnih i četverosnih glodalica. Vrtložni tragovi nastaju zbog kombinacije oblika alata za glodanje i visokih temperatura generiranih tijekom procesa obrade materijala. Višestruke osi i optimizirani procesi hlađenja kod petosnih glodalica omogućuju bolju kontrolu nad toplinom i pokretima alata, što rezultira glatkim i preciznim završnim obradama.

Iako broj osi može povećati fleksibilnost i preciznost glodanja, kvaliteta restauracije više ovisi o kvalitetnom digitalnom planiranju i kvalitetno uzetom otisku, nego o samom broju osi.

Važno je reći da postoje različite tehnike obrade materijala poput brušenja („*grinding*“) ili freziranja („*milling*“) u glodalicama. Sve keramike (osim cirkonijeva dioksida) i kompoziti se bruse („*grinding*“) dijamentima od površine prema unutra uz hlađenje vodom, točnije kombinacijom vode i emulzije



Slika 2. Smjerovi kretanja komponenata glodalice
Preuzeto iz literature: *Subtractive Computer-Aided Manufacturing in Dental Milling* | February 2014 | *Inside Dental Technology*, <https://www.aegisdentalnetwork.com/idt/2014/02/subtractivecomputer-aided-manufacturing-in-dental-milling>

za brušenje. Za razliku od toga, voskovi, PMMA, legure i cirkonijev dioksid se frežu („milling“) gdje freze ulaze u materijal, odnosno disk. Svrkla kojima se pri tome koristimo mogu biti dijamantna ili karbidna. Svi materijali, osim staklokeramike i glinične keramike, frezaju se karbidnim frezama. Neke od tih freza su zbog trajnosti presvučene dijamantima – „diamond coated“, a rade tako da se freze spuste na površinu diska te prolaze kroz njega i obrađuju ga. Kod staklokeramike ili glinične keramike brusi se dijamantnim svrdlima koja se ne spuštaju i ne ulaze u materijal (blok), nego mu se približavaju te bruse vanjsku površinu do zadanog oblika objekta (1) (Slika 2).

Da sumiramo; dentalna svrdla u glodalicama možemo podijeliti prema:

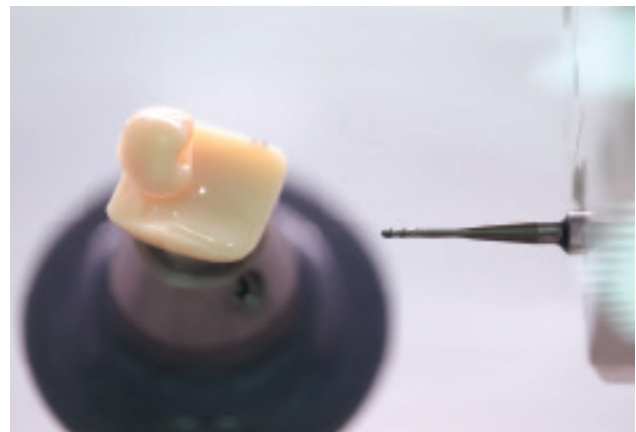
vrsti materijala:

- a) Svrkla od tvrdog metala
- b) Svrkla s dijamantnom prevlakom
- c) Keramička svrdla

obliku vrška:

- a) Sferična svrdla
- b) Cilindrična svrdla
- c) Konična svrdla
- d) Stožasta svrdla
- e) Tetraedarska svrdla

Uz to, svrdla mogu imati različit broj oštrica na radnome dijelu, a svako svrdlo ima svoju primjenu:



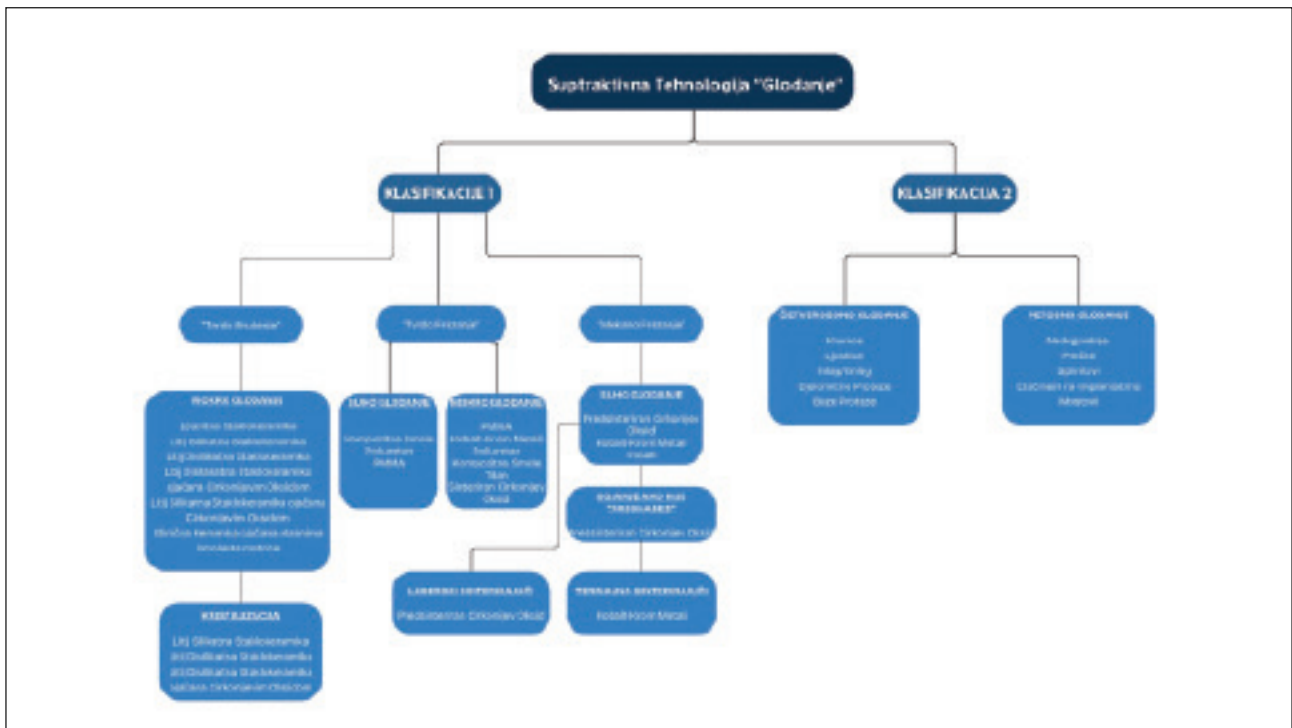
Slika 3. Prikaz svrdla i radnog prostora glodalice izbliza
Ljubazno ustupio prof. Joško Viskić

svrdla za rezanje ili svrdla za poliranje/oblikovanje (Slika 3).

Što se tiče procesa glodanja, postoje dva osnovna načina:

- SUHO GLODANJE obično se koristi za obradu presinteriranih cirkonij oksid blokova, kompozitnih materijala, hibridne keramike, PMMA (polimetilmetakrilat) i PEEK (polietereterketon) termoplastičnih materijala
- MOKRO GLODANJE koristi vodeni mlaz za hlađenje dijamantnih i karbidnih alata, čime se sprječava njihovo pregrijavanje. Ovaj način je nužan za metalne i staklokeramičke blokove kako bi se spriječila njihova oštećenja, a također se preporučuje za gusto presinterirane cirkonij oksid blokove, jer smanjuje faktor skupljanja i distorzije (Slika 4).

Danas pri frezanju više ne postoje jasne podjele po materijalu, već prema glodalici i strategiji freziranja. Jedino se za cirkonijev dioksid preporučuje suho glodanje, iako postoji i način gdje primjenjujemo mokro. Za pravilan rad glodalica, važno je i njihovo održavanje koje se sastoji od adekvatne upotrebe za pojedini materijal, redovitog čišćenja vanjskih i unutarnjih dijelova te dijelova za hlađenje, zatim podmazivanje, zamjena istrošenih dijelova i filtera, ažuriranje softvera i najvažnije redoviti godišnji servis (isključivo od strane proizvođača). Za čišćenje prašine imamo i specifično proizvedene usisavače



Slika 4. Klasifikacija suptraktivne tehnologije
 Preuzeto iz literature: Alghazzawi, T. F. (2016). *Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. Journal of prosthodontic research*, 60(2), 7

koji se koriste na dnevnoj bazi između svakog ciklusa glodanja. Od svih navedenih metoda, neke koristimo svakodnevno dok neke na tjednoj/mjesečnoj/godišnjoj bazi. U navedenoj literaturi imamo detaljne upute od firme „Sirona“ za čišćenje i održavanje dentalnih glodalica.

Na tržištu su dostupni različiti sustavi od kojih svaki ima svoje specifične prednosti. Odabiremo onaj sustav koji najviše odgovara potrebama stomatologa i pacijenta.

1. CEREC sustav

CEREC je proizvod razvijen od strane njemačke firme „Sirona“. On je pionir današnje CAD/CAM tehnologije te ima najširu primjenu od svih spomenutih sustava. CEREC 3 je najnovija inačica ovog sustava, koji omogućuje iznimno precizno in-chair modeliranje zuba koji se izvrsno prilagođava u pacijentovim ustima.

2. KaVo Everest sustav

Razvijen je od strane tvrtke KaVo (Njemačka), također koristi digitalni otisak uzet intraoralnom kamerom, baš kao i CEREC sustav. Ovaj sustav omogućuje

izradu širokog spektra dentalnih restauracija, uključujući krunice, mostove i estetske ljuskice. Ovisno o potrebama pacijenta, KaVo Everest može koristiti različite materijale, uključujući leucitom ojačanu keramiku, cirkonij oksid ili HIP keramičke materijale, što čini ovaj sustav izuzetno fleksibilnim po pitanju prilagodbe na zahtjeve pacijenta.

3. Nobel Biocare Procera

Procera sustav je poznat po svojoj vrhunskoj preciznosti i detaljnom skeniranju modela. Ovaj sustav koristi analogni otisak koji se skenira s visokom točnošću. Procera se posebno koristi za izradu krunica, inlaya i onlaya, a zbog svoje preciznosti, često se koristi u kompleksnijim slučajevima.

4. InLab sustav

Za razliku od CEREC sustava, InLab sustav razvijen od iste kompanije Sirona Dental koristi se u dentalnim laboratorijima. Ovaj sustav zahtijeva uzimanje analognog otiska pacijentovih zuba, koji se zatim koristi za izradu radnog modela u laboratoriju. InLab je posebno koristan u slučajevima kada je potrebna



Slika 5. Glodana krunica iz bloka
Ljubazno ustupio prof. Joško Viskić

veća preciznost i kada se restauracije rade na temelju podataka dobivenih od različitih stomatologa. Ovaj sustav omogućuje izradu širokog spektra restauracija, uključujući krunice, mostove i inlaye, koristeći razne vrste materijala.

Primjena dentalnih glodalica i materijali koje koriste za izradu protetskih radova

U modernoj stomatologiji glodalice svoju primjenu najviše nalaze u području protetike i implantoprotektike, dok nešto manje u ortodontici i restaurativnoj dentalnoj medicini. Zahvaljujući napretku dentalnih materijala i području digitalne tehnologije, danas je moguće izrađivati širok spektar protetskih i implantoprotetskih konstrukcija koje zadovoljavaju najzahtjevnije funkcionalne i estetske standarde. Protetski radovi koje možemo dobiti s pomoću glodalice su:

- ljustice,
- indirektni ispuni (inlay, onlay i overlay),
- krunice (pojedinačne, djelomične, modificirane, teleskopske i na implantatu),
- mostovi svih raspona,
- prečke,
- splintovi,
- totalne ili djelomične proteze koje se često koriste u implantoprotetskim rehabilitacijama (Slika 5)

Ova raznolikost omogućuje individualizirani pristup svakom pacijentu, osiguravajući optimalnu funkciju i estetiku. Materijali koje koristimo za

izradu navedenih nadomjestaka dolaze na tržište u obliku diskova ili blokova za glodanje (ovisno kako koji materijal). Oni koje možemo obraditi glodalicom uključuju:

Polimere i kompozitne materijale

- PMMA (polimetilmetakrilat): najčešće korišten za izradu privremenih radova koji u ovom slučaju mogu trajati i do godinu dana te imaju puno veću savojnu čvrstoću nego PMMA korišten u analognim tehnikama
- PEEK (polietereterketon): izdržljiv materijal s biokompatibilnim svojstvima, češće korišten u implantoprotetici u izradi nadogradnji
- Blokovi od kompozitnih smola: koriste se za izradu privremenih protetskih radova i izradu trajnih indirektnih ispuna; za razliku od PMMA imaju bolju vezu sa samim zubom, ali su puno skuplji materijal

Metalne materijale

- Kobalt-krom legure: često dolaze u presinteriranom obliku što olakšava njihovu obradu i smanjuje trošenje alata za glodanje
- Titanove legure: najviše korištene u implantologiji zbog svoje čvrstoće, otpornosti na koroziju i izuzetne biokompatibilnosti

Keramičke materijale

- Silikatne keramike: uključuju leucitnu, litij-disilikatnu i gliničnu keramiku, popularne zbog svoje prirodne translucencije i visokih estetskih svojstava, glavni sastojak je SiO₂ (osnovna gradivna jedinica je silicijev tetraedar) te imaju amorfnu staklenu fazu porozne strukture
- Hibridne keramike: kombinacija keramike i polimera, ima veću otpornost na lomove te pruža prirodniji izgled nadomjestka
- Aluminijska oksidna keramika: stabilan materijal s dobrom estetikom, no manje popularan od cirkonija te se danas jako rijetko koristi
- Cirkonij-oksidna keramika: trenutačno najpopularniji materijal zbog svoje izvanredne čvrstoće, otpornosti, biokompatibilnosti i estetskih svojstava, jedino moguće obradiv strojnomo odnosno glodalicom (Slika 6)



Slika 6. Glodane ljuskice iz bloka
Ljubazno ustupio prof. Joško Viskić

Zadnjih 10-ak godina keramički materijali postaju zlatni standard u CAD/CAM sustavima te svakodnevnoj stomatološkoj praksi. Ne samo da imaju vrhunska mehanička i estetska svojstva, uz to pokrivaju najveći spektar indikacija u današnjoj protetskoj rehabilitaciji. Nešto više o samoj izradi protetskih i implantoprotetskih radova kroz suptrakcijsku metodu, uključujući cijeli protokol njihove izrade, bit će objašnjeno u drugom dijelu rada u sljedećem broju časopisa.

Kao što smo već spomenuli, glodalice svoju primjenu pronalaze još i u implantologiji/implantoprotetici i ortodonciji. U suvremenoj implantologiji, glodalice imaju ključnu ulogu u izradi imedijatnih protetskih nadomjestaka na implantatima i ostalih radova u implantoprotetici. Sami implantološki sustavi se sastoje od tri ključne komponente:

- IMPLANTATA (cirkonij oksid keramika, titan ili CFR/GFR-PEEK) – koji se ugrađuje u kost
- NADOGRADNJE – koja služi kao poveznica između implantata i protetskog nadomjestka te
- NADOMJESTKA – koji estetski i funkcionalno imitira prirodni zub

Sve spomenute komponente možemo obraditi s pomoću glodalica i CAD/CAM sustava, no najveću upotrebu imamo kod glodanja protetskih nadomjestaka na implantatima. Posebna pažnja se, doduše, posvećuje dizajnu i materijalima nadomjestaka i nadogradnji kako bi uspjeli zadovoljiti visoke funk-

cionalne i estetske zahtjeve u implantoprotetici. Od nadogradnji se očekuje da zadovoljavaju kriterije preciznosti, oblika i biokompatibilnosti. Gledajući materijale, titan je najčešći izbor za izradu nadogradnji. Njegova primjena osigurava najdugotrajniji uspjeh implantoloških radova, ali mu je obrada vrlo zahtjevna. Drugi materijal za izradu nadogradnje je oksidna keramika. Ona je posebno pogodna za frontalne regije, gdje je estetika prioritet. Njezina boja i translucencija nalikuje prirodnim zubima, čineći oksidnu keramiku idealnim za situacije visoke estetske zahtjevnosti. Ona također zahtijeva sofisticirane tehnologije za preciznu obradu naglašavajući važnost glodalica i CAD/CAM sustava u implantologiji. Najnoviji trendovi uključuju kombinaciju titana i keramike u tzv. hibridnim nadogradnjama. Titanska jezgra osigurava mehaničku čvrstoću i otpornost na sile žvakanja, dok keramički vanjski omotač pruža visoki nivo estetike i dodatnu biokompatibilnost. Ova kombinacija spaja najbolje osobine oba materijala, čineći hibridne nadogradnje optimalnim rješenjem za širok raspon implantoloških situacija. Osim toga, možemo koristiti legure s visokim udjelom zlata ili kobalt krom legure, ali ni jedna ni druga nisu u čestoj upotrebi za izradu nadogradnji danas.

Uspjeh implantacije ne procjenjuje se samo prema postignutoj oseointegraciji, nego i uspostavljenju funkciji i estetici, pa pri postavljanju implantata treba misliti na pravilan nagib i položaj u odnosu prema postojećim i antagonističkim zubima te na količinu i kvalitetu kosti i očuvanje okolnih anatomskih struktura. Takav pristup implantaciji nazivamo **protetički vođeno postavljanje implantata**. U nastojanju da se zadovolje svi navedeni uvjeti, pojavila se ideja o kirurškim vodilicama koje bi što vjernije prenijele planirano postavljanje implantata u kirurško polje. Kirurški predložak/vodilica je pomoćno sredstvo koje osigurava precizno postavljanje implantata na planirana mjesta u čeljusti. Njegova primjena je posebno važna u situacijama gdje postoji povećan rizik od oštećenja anatomskih struktura, zahtjevi za visokom estetikom te brza izrada protetskih nadomjestaka za ranu funkciju i opterećenje

implantata. One su temeljene na CBCT snimkama i njihova izrada se može provesti ručno ili uz pomoć glodalica, ovisno o kompleksnosti dizajna. Postoje tri osnovne vrste kirurških vodilica:

1. Bez ograničenja: omogućuju veću fleksibilnost u postavljanju implantata tijekom zahvata
2. S djelomičnim ograničenjem: ograničavaju određene parametre, poput dubine ili kuta postavljanja implantata
3. S potpunim ograničenjem: precizno usmjeravaju implantate u skladu s planiranim pozicijama, pružajući maksimalnu sigurnost i predvidljivost

Primjena CAD/CAM tehnologije i kompjuterski vođena implantacija sve više omogućuje precizniju i sigurniju implantaciju, smanjujući rizik od komplikacija i skraćujući vrijeme potrebno za oporavak pacijenata.

U zadnje vrijeme glodalice postaju nezaobilazan alat i u području ortodontije. Koriste se za preciznu izradu različitih ortodontskih aparata i pomagala kao: prozirni aligeneri poput Invisalign sustava, fiksni ortodontski aparati (prilagođene bravice i žične elemente), retencijske naprave, retaineri te mobilni aparati. Uz Invisalign sustav, obavezno se mora spomenuti i ITERO sustav. ITERO je napredni digitalni sustav koji se sastoji od intraoralnog skenera, računala i zaslona, no nije direktno povezan s glodalicom radi čega je sustav napravljen s mogućnosti otvorenog dijeljenja podataka. ITERO skeneri koji su dio ortodontskog ekosustava omogućuju precizno snimanje digitalnih otisaka koji se koriste za različite ortodontske terapije. Nakon snimanja, podaci se automatski šalju laboratorijima i mogu biti korišteni za planiranje terapije, izradu retainera, indirektni bonding, printanje modela, te digitalno pomicanje bravica. Svi prikupljeni podaci mogu se eksportirati u STL formatu što omogućuje njihovu daljnju obradu i dijeljenje s drugim CAD/CAM sustavima. Jedan od ključnih inovacija povezanih s Itero skenerima je njihova integracija u Invisalign sustav. Samo Itero skeneri omogućuju snimanje digitalnog otiska koji je kompatibilan s Invisalign terapijom. Uz pomoć alata poput Invisa-

align Outcome Simulatora, moguće je vizualizirati predviđene rezultate terapije, što pacijentima pruža jasnu predodžbu o ishodu liječenja. Ova tehnologija omogućuje stomatolozima i ortodontima da bolje planiraju terapiju, optimiziraju postupak i pruže pacijentima realna očekivanja u pogledu rezultata. Od materijala u ortodontiji se najčešće koriste polimeri (PMMA) za prozirne retainere i funkcionalne aparate; kompoziti i smole za precizne modele i privremene aparate; te posljednje metali poput kobalt-kroma i titanija za fiksne elemente u aparatima i žice.

Zaključak

S obzirom na sve navedeno, trenutno se nalazimo u razdoblju u kojem nikada jednostavnije nismo izrađivali protetske radove. Proces izrade krunica danas značajno se razlikuje od onoga prije tridesetak godina. Prateći evoluciju glodalica i CAD/CAM sustava još od osamdesetih godina kada se prvi put pojavljuju, danas sa sigurnošću možemo reći da polako postaju neizostavan dio svakodnevnog stomatološke prakse. Porastom estetskih i funkcionalnih zahtjeva, nužno je biti u koraku s digitalno-tehnološkim napretkom. Dolaskom novih materijala i novih modela uređaja na tržište, protetska sanacija pacijenta je sve češće moguća u samo jednom posjetu. Osim toga, ovi sustavi ne samo da pridonose smanjenju ljudske pogreške, već i doprinose ekonomičnosti i standardizaciji proizvodnje protetskih radova. Međutim, iako su digitalno upravljani sustavi značajno napredovali, postoje i izazovi s kojima se suočava njihova šira implementacija u dentalnoj struci. To uključuje visoke troškove ulaganja, potrebu za osposobljenim stručnjacima i potrebu za kontinuiranim usavršavanjem tehnoloških vještina. U konačnici, budućnost dentalne industrije leži u daljnjem napretku i iskorištavanju CAD/CAM tehnologije, uz fokus na razvoj novih inovativnih materijala, optimizaciju softverskih alata i poboljšanje integracije s drugim tehnološkim rješenjima. Kroz stalno ulaganje u istraživanje i razvoj, možemo očekivati neprestani rast i unaprjeđenje stomatološke usluge koju možemo ponuditi našim pacijentima.

Literatura

1. Pretklinička i laboratorijska fiksna protetika / Jakovac, Marko; Kranjčić, Josip (ur.), Zagreb: Stega tisak, 2020.
2. Protokol / Jakovac, Marko; Stolica, Dragan; Marcutti, Nino; Temperani, Michele; Vražić, Domagoj; Šnjarić, Damir; Kutleša Oroši, Iva; Radović; Jakovac, Marko (ur.), Zagreb: Stega tisak, 2023.
3. Dentalni materijali / Mehulić, Ketij (ur.), Zagreb: Medicinska naklada; 2017.
4. Pocket Dentistry [Internet]. Pocket Dentistry; ©2016. The use of the CAD/CAM in dentistry [cited 2018 Sept 3]; [about 4 screens]. Available from: <https://pocketdentistry.com/the-use-of-cadcam-in-dentistry/>
5. Glavina, D., Škrinjarić, I. Novi postupak za izradbu keramičkih ispuna: CAD/CAM sustav tehnologija 21. stoljeća. *Acta Stomatologia Croat*; 2001. 43-50.
6. Balter, A., Kaufmann-Jinoian, V., Kurbad, A., Kurt. R. CAD/CAM i potpuna keramika: Estetski nadomjesci u stomatološkoj praksi. Seifert, D., editor; Milardović, S., translator. Berlin: Quintessenz Verlags; 2007. 344 p.
7. Jakovac, M., Kralj, Z. Cirkonij oksidna keramika u fiksnoj protetici. *Sonda* [Internet]. 2011.
8. Barišić, M. Nove tehnologije u dentalnoj protetici [diplomski rad]. Zagreb: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2016. 33 p.
9. Vulić, H. Novi CAD-CAM sustavi za izradu fiksnoprotetskih radova [diplomski rad]. Zagreb: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2017. 39 p.
10. Sailer Irena, Fehmer Vincent, Pjetursson Bjarni E. Fiksni nadomjesci; klinički vodič za odabir materijala i tehnologija izrade. Quintessence publishing; 2022.
11. Klinička fiksna protetika I: krunice / Čatović, Adnan; Komar, Dragutin; Čatić, Amir (ur.), Zagreb: Medicinska naklada, 2015
12. Milardović, Slađana; Mehulić, Ketij; Viskić, Joško; Jakšić, Ana. Cementiranje potpuno keramičkih protetskih radova // *Sonda* (Zagreb), 1 (2010), 20; 52-55
13. Milardović Ortolan, Slađana; Medojević, Danijela; Bergman Gašparić, Lana; Viskić, Joško; Mehulić, Ketij. Klinički i laboratorijski tijek izrade staklokeramičke krunice // *Sonda* (Zagreb), 13 (2012), 24; 88-91
14. Lebon, N., Tapie, L., Duret, F., Attal, JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations--dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part B: labside milling machines. *Int J Comput Dent*. 2016;19(2):115-34. English, French. PMID: 27274561.
15. Anadioti, E., Kane, B., Zhang, Y., Bergler, M., Mante, F., Blatz MB. Accuracy of Dental and Industrial 3D Printers. *J Prosthodont*. 2022 Mar;31(S1):30-37. doi: 10.1111/jopr.13470. PMID: 35313026; PMCID: PMC9902032.
16. Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., Tamaki, Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. 2009 Jan;28(1):44-56. doi: 10.4012/dmj.28.44. PMID: 19280967.
17. Spitznagel FA, Boldt, J., Gierthmuehlen PC. CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. *J Dent Res*. 2018 Sep;97(10):1082-1091. doi: 10.1177/0022034518779759. Epub 2018 Jun 15. PMID: 29906206.
18. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am*. 2011 Jul;55(3):559-70, ix. doi: 10.1016/j.cden.2011.02.011. PMID: 21726690.
19. Takeuchi, Y., Koizumi, H., Furuchi, M., Sato, Y., Ohkubo, C., & Matsumura, H. (2018). Use of digital impression systems with intraoral scanners for fabricating restorations and fixed dental prostheses. *Journal of Oral Science*, 60(1), 1-7.
20. Ender A, Mehl A (2011) Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent* 14, 11-21. 4.
21. Ender A, Mehl A (2015) In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int* 46, 9-17. 5.
22. Ender A, Attin T, Mehl A (2016) In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent* 115, 313-320
23. Christensen GJ. Laboratories want better impressions. *J Am Dent Assoc* 2007;138:527-9.
24. Al-Bakri IA, Hussey D, Al-Omari WM. The dimensional accuracy of four impression techniques with the use of addition silicone impression materials. *J Clin Dent* 2007;18:29-33.