

Suvremeni dentalni materijali i njihova primjena u protetskoj terapiji

Stepinac, Dora

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:127:428895>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Dora Stepinac

**SUVREMENI DENTALNI MATERIJALI I
NJIHOVA PRIMJENA U PROTETSKOJ
TERAPIJI**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

Rad je ostvaren na Zavodu za fiksnu protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Mentor rada: doc. dr. sc. Slađana Milardović, Zavod za fiksnu protetiku Stomatološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: mag. philol. croat. Daniela Božanić

Lektor engleskog jezika: mag. educ. philol. angl. Lucija Subašić

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 37 stranica

0 tablica

6 slika

1 CD

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

Zahvala

Zahvaljujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Slađani Milardović na strpljenju, neupitnoj pomoći i velikodušnosti prilikom pisanja ovog diplomskog rada.

Hvala i dr. med. dent. Luki Stojiću na prenesenom znanju i dopuštenju korištenja fotografija u izradi ovog rada.

Zahvaljujem svojoj grupi i prijateljima što su bili dio najljepših studentskih dana.

I na kraju, posebno hvala mami, tati, sestri Emmi i Dariju na neizmjerljivoj podršci tijekom studiranja.

SUVREMENI DENTALNI MATERIJALI I NJIHOVA PRIMJENA U PROTETSKOJ TERAPIJI

Sažetak

Evolucija digitalne tehnologije i proizvodnje protetskih nadomjestaka dovela je do velikih promjena u svakodnevnom kliničkom radu stomatologa i dentalnog tehničara. Suvremeni postupci obrade materijala obuhvaćaju suptraktivnu i aditivnu tehnologiju. Suptraktivnim metodama materijal se glode čime se uklanja višak materijala. Aditivnim se metodama objekt stvara odlaganjem slojeva pri čemu se konačni oblik oblikuje bez otpada materijala. Razvoj dentalnih materijala prvenstveno ide u smjeru bezmetalnih keramičkih i polimernih materijala unaprijeđenih mehaničkih svojstava, zadovoljavajuće otpornosti na trošenje i poboljšane estetike. Osim njih, obrađuju se metalni i kompozitni materijali. Indikacije za primjenu u protetskoj terapiji su mnogobrojne: od privremenih nadomjestaka, krunica i mostova, metalne baze proteza, potpunih i djelomičnih proteza ili metalnih osnova nadomjestaka.

Ključne riječi: aditivna tehnologija; suptraktivna tehnologija; materijali; indikacije

CONTEMPORARY DENTAL MATERIALS AND ITS USE IN PROSTHODONTIC THERAPY

Summary

The evolution of digital technology and the production of dental restorations has led to significant changes in everyday clinical workflow for dentists and dental technicians. Contemporary processing technologies include subtractive as well as additive technology. Subtractive methods indicate milling, which removes excess material. Additive methods create objects directly by adding layer by layer with no material wasted. The development of dental materials is going toward all ceramics and polymer materials with better mechanical properties, appropriate wear behavior, and favorable aesthetic characteristics. In addition to that, metal and composite materials are processed. Indications in prosthodontic therapy are numerous: from temporary restorations, crowns and bridges, metallic denture bases, complete and partial dentures or restorations with a metal core.

Keywords: additive technology; subtractive technology; materials; indications

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SUVREMENI POSTUPCI OBRADJE MATERIJALA	3
2.1. Suptraktivna tehnologija	5
2.2. Aditivna tehnologija	5
3. SUVREMENI PROTETSKI MATERIJALI	7
3.1. Materijali za suptraktivnu tehnologiju	8
3.1.1. Voskovi	8
3.1.2. Kompoziti	8
3.1.3. Polimeri	9
3.1.3.1. Polimetilmetakrilat (PMMA)	9
3.1.3.2. Polimeri visokih performansi	9
3.1.4. Metali	10
3.1.5. Keramike	11
3.1.5.1. Hibridna keramika	11
3.1.5.2. Silikatna keramika	12
3.1.5.3. Oksidna keramika	13
3.2. Materijali za obradu aditivnom tehnologijom	16
3.2.1. Polimeri	16
3.2.2. Metali	17
3.2.3. Keramike	17
4. PRIMJENA SUVREMENIH MATERIJALA U PROTETSKOJ TERAPIJI	19
4.1. Polimerni nadomjesci	20
4.2. Metalni nadomjesci	22
4.3. Keramički nadomjesci	23
4.3.1. Hibridna keramika	23
4.3.2. Silikatna keramika	23
4.3.3. Oksidna keramika	23
5. RASPRAVA	25
6. ZAKLJUČAK	28
7. LITERATURA	30
8. ŽIVOTOPIS	36

Popis skraćenica

CAD - računalno potpomognuti dizajn (eng. computer-aided design)

CAM - računalno potpomognuta izrada (computer-aided manufacturing)

STL - stereolitografija (eng. *stereolithography*)

MJ - *ink jet* tehnologija

PMMA - poli(metil)metakrilat

3D - trodimenzionalni

PEEK - polietereeterketon

MPa - megapaskal

3Y-PSZ - cirkonijev oksid stabilizirani s 3 mol% itrija

1. UVOD

Terapijske mogućnosti u fiksnoj protetici značajno su se promijenile posljednjih desetljeća. Tri su glavne strategije razvoja snažno utjecale na te promjene. Prvo, minimalno invazivni postupci postajali su sve izvediviji u restaurativnoj stomatologiji zahvaljujući uvođenju adhezijske tehnike u kombinaciji s materijalima koji imaju optička svojstva usporediva s onima prirodnih zubi. Mehaničko sidrenje restauracije konvencionalnim cementiranjem, koje zahtijeva retentivni oblik preparacije, postupno se sve više zamjenjivalo pristupom usmjerenim na oblik defekta.

Drugo, razvijen je pošteniji pristup uklanjanju zdravog zubnog tkiva detaljnijim planiranjem ishoda liječenja prije početka terapije tako da se željeni oblik nadomjeska definira u vosku. Taj voštani model služi i kao referenca tijekom preparacije zubi.

Treće, uvođenje digitalne tehnologije donijelo je ključni napredak u analizi, dijagnostici, komunikaciji, dizajniranju nadomjeska i planiranju terapije uz veću ponovljivost. Također, računalno potpomognuto dizajniranje i proizvodnja (eng. *computer-aided design/computer-aided manufacturing*, CAD/CAM) omogućuje standardiziraniji proces izrade te upotrebu novih, učinkovitijih materijala s poboljšanim svojstvima za privremene i trajne nadomjeske u fiksnoprotetskoj terapiji.

CAD/CAM tehnologija promijenila je način rada u dentalnoj medicini. Laboratorijske i ordinacijske glodalice sve su svestranije i omogućuju glodanje različitih materijala sa svojstvima koja mogu osigurati dugoročni klinički uspjeh.

Odabir odgovarajućeg materijala ključan je za dugoročni uspjeh fiksnoprotetske terapije. Sinteza novih materijala i razvoj novih tehnoloških postupaka ubrzali su napredak. Stoga, suvremeni nadomjesci vjerno oponašaju prirodne zube i mogu u potpunosti ispuniti predviđenu funkciju. Za kliničara je važno poznavati spektar suvremenih materijala koji su dostupni kako bi se osigurali optimalni ishodi liječenja za pacijente.

Kada se govori o suvremenim materijalima, danas se pretežno misli na materijale koji se upotrebljavaju u kombinaciji s CAD/CAM tehnologijom. Svrha je ovog rada dati pregled suvremenih materijala u fiksnoprotetskoj terapiji s načinom njihove obrade i mogućnostima primjene.

2. SUVREMENI POSTUPCI OBRADJE MATERIJALA

Računalno potpomognuto dizajniranje i računalno potpomognuta proizvodnja (CAD/CAM) desetljećima se primjenjuje u industriji i tijekom proteklih godina postaje sve popularnija u dentalnoj medicini. Upotrebljavaju se za uzimanje otisaka, izradu modela te izradu privremenih i trajnih nadomjestaka (1-3).

Dentalni CAD/CAM sustavi sastoje se od skenera, softvera (koji obrađuje skenirane podatke) i proizvodnog sustava koji virtualne podatke pretvara u "stvarne nadomjeske". Ovaj digitalni tijek rada registrira obje čeljusti, kliničaru omogućuje pregled i procjenu preparacije zubi prije nastavka rada te dizajniranje restauracije koja ispunjava predviđeni plan terapije. Digitalni set podataka može se brzo prenijeti internetom za olakšanu komunikaciju s dentalnim laboratorijem omogućujući eventualne prilagodbe prije prelaska na sljedeći korak. Proces je obično vremenski učinkovit i eliminira potrebu za otisnim materijalima, a u nekim slučajevima omogućuje isporuku konačnog proizvoda istog dana i tijekom istog posjeta.

Danas je na tržištu dostupno nekoliko sustava za skeniranje. Neki zahtijevaju upotrebu oksidnog praha za poboljšanje kvalitete skeniranja, ali većina suvremenih skenera radi bez prethodnog matiranja površine. Sken nastaje na temelju niza statičkih slika ili videozapisa kojim se registrira geometrija preparacije zubi. Softver za dizajniranje svojstven je svakom sustavu te kliničaru/tehničaru omogućuje dizajniranje restauracije u odnosu na suprotnu denticiju. Obradeni podaci zatim se iskorištavaju za proizvodnju nadomjeska u ordinaciji, laboratoriju ili u centraliziranom proizvodnom centru (4). Proizvodni postupci mogu biti suptraktivni ili aditivni.

2.1. Suptraktivna tehnologija

Suptraktivna tehnologija uključuje glodanje prethodno dizajniranog objekta iz predsinteriranog ili sinteriranog bloka materijala s pomoću glodalice koja radi u mokrim ili suhim uvjetima, a kreće se određenim stazama što se opisuje kao sustav glodanja s tri, četiri ili pet osi (5). Sustavi za glodanje mogu biti laboratorijski ili ordinacijski. Za digitalno oblikovanje nadomjeska upotrebljava se digitalna datoteka (STL - kratica od "stereolitografija"), a konačna projekcija šalje se u sustav za proizvodnju. Materijali koji se mogu glodati uključuju vosak, poli(metil)metakrilat (PMMA), kompozitne smole, polimere visokih performansi, metale i keramike koje obuhvaćaju: staklokeramiku, polimere ojačane keramičkim česticama, keramike infiltrirane polimerom (poznate i kao hibridne keramike) i polikristalne keramike.

2.2. Aditivna tehnologija

Ova nova tehnologija, koja je poznata kao trodimenzionalni (3D) ispis, potaknula je veliko zanimanje u području dentalne medicine zbog širokog spektra mogućnosti primjene poput izrade kirurških predložaka, privremenih nadomjestaka, okluzijskih udloga, štitnika, ortodontskih naprava itd.

Aditivna tehnologija omogućuje izradu objekata dodavanjem materijala (kompoziti, metali i keramika), sloj po sloj, na temelju računalnog 3D modela (6). Ovaj proces se čini obećavajućim, a u budućnosti će biti moguća izrada većine zubnih restauracija. Međutim, važno je istražiti postojeće materijale dostupne za aditivnu tehnologiju, njihova svojstva, trajnost i karakteristike površine kako bi se ocijenilo jesu li održiva alternativa konvencionalnim materijalima ili materijalima namijenjenim obradi suptraktivnom tehnologijom.

Aditivna tehnologija pruža sljedeće prednosti:

- Smanjuje otpad materijala i troši manje energije
- Smanjuje broj koraka do konačnog proizvoda, stoga zahtijeva manje ljudske intervencije čime se smanjuje mogućnost pogreške
- Omogućuje izradu složenih detalja po predvidljivoj cijeni

Postoji različiti mehanizmi aditivne tehnologije: stereolitografija (SLA), *ink jet* tehnologija (MJ), ekstruzija materijala ili fuzijska depozicija, primjena tekućeg vezivnog sredstva u mlazu, nanošenje praha, laminacija slojeva i izravno taloženje energije (7). U dentalnoj medicini najčešće se primjenjuju SLA i MJ tehnologija. Kvaliteta ispisanog objekta ovisi o mogućnostima 3D pisača. Određeni čimbenici poput rezolucije, preciznosti i istinitosti definiraju mogućnosti 3D pisača.

Materijali, koji se danas mogu obrađivati aditivnom tehnologijom, uključuju: polimere, metale i u određenoj mjeri keramike.

3. SUVREMENI PROTETSKI MATERIJALI

3.1. Materijali za suptraktivnu tehnologiju

3.1.1. Voskovi

Voštani objekti za razne restaurativne postupke sada se mogu digitalno dizajnirati i glodati čime se povećava ušteda vremena. Tradicionalno je navoštavanje zahtjevno i dugotrajno. Danas brojni proizvođači nude voštane blokove za glodanje, na primjer VITA CAD-Waxx Blocks (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Njemačka). Voštani se objekt, zatim, može dalje procesuirati na uobičajen način ili lijevanjem metala ili toplinskim tlačenjem keramike.

3.1.2. Kompoziti

Kompozitne smole sastoje se od anorganskih ili organskih punila ugrađenih u matricu organske smole s inicijatorima, stabilizatorima i pigmentima. Dok se konvencionalno kompozitni materijal nanosio, modelirao i polimerizirao intraoralno, danas postoje i predpolimerizirani kompozitni blokovi za obradu glodanjem. Indirektni se nadomjesci dizajniraju, glođu i polimeriziraju ekstraoralno čime se prevladavaju neki nedostaci direktnih kompozitnih restauracija kao što su polimerizacijsko skupljanje i ispiranje monomera te su poboljšana mehanička svojstva. Kompoziti, koji su obrađeni glodanjem, zahtijevaju minimalnu naknadnu obradu u obliku poliranja i eventualno dodavanja svjetlosno polimerizirajućih pigmenata za karakterizaciju nadomjestaka poput ljusaka, inleja, onleja i krunica. Uspoređena je čvrstoća i druga svojstva s keramičkim blokovima bez konsenzusa koji je materijal bolji (8, 9). Potrebna su daljnja istraživanja, po mogućnosti klinička, za utvrđivanje kojem materijalu dati prednost za spomenute indikacije.

Primjeri kompozitnih blokova za CAD/CAM obradu uključuju *Paradigm MZ100* (3M ESPE, St. Paul, Minnesota, SAD) i *BRILLIANT Crios* (Coltene, Altstätten, Švicarska).

3.1.3. Polimeri

3.1.3.1. Polimetilmetakrilat (PMMA)

PMMA je sintetički polimer proizveden polimerizacijom metil-metakrilata. Blokovi se PMMA već duže vrijeme upotrebljavaju za izradu privremenih pojedinačnih krunica i mostova. Nedavno provedeno istraživanje uspoređivalo je mehanička svojstva i rubnu prilagodbu inleja od PMMA i staklokeramike sa sličnim rezultatima (10).

Povećan interes za nadomjeske od PMMA potaknut je razvojem blokova s poboljšanim optičkim i fizičkim svojstvima, npr. *Telio CAD* (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn) i *VITA CAD-Temp MultiColor Blocks* (VITA Zahnfabrik).

Nadomjesci od PMMA lako se poliraju čime se postiže poboljšana estetika.

U posljednje vrijeme blokovi PMMA upotrebljavaju se za glodanje baze proteze (npr. *IvoBase CAD*, *Ivoclar Vivadent*), nakon čega slijedi glodanje zubi od dvostruko umrežene smole koji se vežu za bazu (npr. *SR Vivodent CAD*, *Ivoclar Vivadent*). Čvrstoća i svojstva hrapavosti površine proteza od blokova PMMA uspoređeni su s konvencionalnim PMMA. Proteze, izrađene od blokova PMMA, bile su čvršće i imale su bolja površinska svojstva, što ukazuje na veću trajnost proteza (11-13).

3.1.3.2. Polimeri visokih performansi

Polimeri visokih performansi poželjna su opcija za mnoge indikacije s obzirom na njihova mehanička i fizička svojstva te biokompatibilnost.

Polietereterketon (PEEK), termoplastični poliarileterketon (Pekkton) i kompozitni blokovi ojačani vlaknima (npr. *Trinia*, *Shofu*, *Japan*) upotrebljavaju se za glodanje baze djelomičnih proteza i fiksnih nadomjestaka uključujući krunice, tročlane mostove, individualne implantatne nadogradnje, implantatne suprastrukture i teleskopske krunice. Ovi materijali su mehanički stabilni, lakše se glođu od metala i time se manje oštećuju glodalice. Uspoređena je preciznost prilagodbe djelomičnih proteza izrađenih konvencionalnim tehnikama s protezama izrađenim CAD/CAM tehnologijom od PEEK-a što je rezultiralo sličnom, a u nekim slučajevima i boljom prilagodbom u odnosu na konvencionalne tehnike (14,15). Štoviše, test trošenja PEEK-a dao je bolje rezultate u usporedbi s kompozitnim blokom i PMMA (16). *In vitro* istraživanje krunica od PEEK-a, na kutnjacima proizvedenih na cirkonij-oksидnim i titanijskim nosačima u simulatoru žvakanja, rezultiralo je prihvatljivom čvrstoćom na temelju čega se mogu preporučiti za kliničku primjenu (17).

3.1.4. Metali

Također, kobalt-krom, titanij i plemenite legure od zlata proizvode se u obliku metalnih blokova za glodanje. CAD/CAM obradom eliminira se mogućnost pogrešaka u odljevu tijekom izrade nadomjestaka. Kobalt-krom je jeftin metal otporan na koroziju koji se upotrebljava kao osnovna konstrukcija za krunice i mostove na koju se nanosi obložna keramika. Čvrste pločice od kobalt-kroma mogu se glodati u robusnoj glodalici ili se "mekša" legura može glodati poput voska i dalje sinterirati u argonskoj atmosferi kako bi se postiglo kruto stanje metala.

Titanijski blokovi mogu se upotrijebiti za izradu individualnih titanijskih nadogradnji koje se mogu dodatno obojiti za izazovnije estetske slučajeve. Plemenite i visoke plemenite legure mogu se glodati čime se eliminiraju problemi vezani uz ulaganje, izgaranje i lijevanje. Brže se postižu rezultati uz manje napora nego kod konvencionalnih metoda.



Slika 1. Metalna baza od titanija. Preuzeto s dopuštenjem autora: Luka Stojić, dr. med. dent.

3.1.5. Keramike

Na tržištu je mnogo različitih vrsta keramika za obradu CAD/CAM tehnologijom. Odabir najprikladnijeg materijala može biti zbunjujuć, posebno u nedostatku odgovarajućih informacija i znanstvene dokumentacije o svojstvima. Keramike za strojnu obradu mogu se klasificirati kako slijedi:

1. Hibridna keramika

2. Silikatna keramika

- Glinična keramika
- Keramika ojačana leucitima
- Litij-disilikatna keramika

3. Oksidna ili polikristalna keramika

- Aluminijska oksidna keramika
- Cirkonij-oksidska keramika

3.1.5.1. Hibridna keramika

Postoje dvije vrste keramičkih blokova koji se ubrajaju u ovu kategoriju: blokovi koji sadrže polimernu matricu infiltriranu česticama keramičkog punila (npr. *Lava Ultimate*, *3M ESPE* i *Katana Avencia Block*, *KurarayNoritake*, *Tokio*, Japan i *Cerasmart*, *GC International AG*, *Luzern*, Švicarska) i blokovi koji imaju keramičku mrežu infiltriranu polimerom (npr. *VITA Enamic*).

Istaknuta svojstva ovih blokova su: velika opteretivost, otpornost na zamor, visoki modul elastičnosti, povoljne karakteristike glodanja s glatkim rubovima, bez kristalizacije ili sinteriranja te ručnog poliranja nakon glodanja (18,19).

Postupak vezivanja razlikuje se ovisno o tipu keramičkog bloka. Keramička struktura polimerom infiltrirane keramike zahtijeva jetkanje 5%-tnom fluorovodičnom kiselinom tijekom 60 sekundi nakon čega slijedi nanošenje silana. Međutim, blokovi od visoko polimerizirane smolaste matrice infiltrirane keramičkim punilom kao što je *Lava Ultimate*, zahtijeva da se ova keramika prethodno obradi abrazijom česticama aluminijske oksida ≤ 50 μm nakon čega slijedi nanošenje silana (20).

Otpornost, na trošenje keramike infiltrirane polimerom, bolja je u odnosu na polimere infiltrirane keramičkim česticama, međutim, oba materijala su manje otporna na trošenje u usporedbi s keramičkim materijalima (21).

3.1.5.2. Silikatna keramika

Keramike na bazi silikata sadrže staklastu matricu, stoga su prozirne te mogu dobro oponašati optička svojstva cakline i dentina što ih čini idealnim za restauraciju zubi u estetskoj zoni. Međutim, takav sastav ujedno ih čini lomljivima što se pokušava kompenzirati adhezijskim cementiranjem nadomjeska.

Tradicionalna glinična keramika ima najpovoljnija optička svojstva, ali se smatra i najslabijom keramikom. Ova vrsta keramike zahtijeva jetkanje s 9,6%-tnom fluorovodičnom kiselinom tijekom 1 minute nakon čega slijedi ispiranje u ultrazvučnoj kupelji da bi se uklonili ostaci soli, a zatim se nanosi silan.

Kako bi se povećala čvrstoća glinične keramike, staklenoj su se matrici dodavali različiti kristali, primjerice leuciti. Keramika ojačana leucitima (*IPS Empress CAD, Ivoclar Vivadent*) ima izvrsna optička svojstva što je čini idealnom za nadomjeske u estetskoj zoni. Međutim, čvrstoća je samo minimalno povećana, u odnosu na tradicionalnu gliničnu keramiku, što ju je činilo lošim izborom za područja izložena velikom žvačnom opterećenju jer su dostupne bolje opcije. Nadomjesci od keramike ojačane leucitima pričvršćuju se na zub nanošenjem 4,9%-tne fluorovodične kiseline tijekom 1 minute, nakon čega slijedi ultrazvučno čišćenje i primjena silana.

Posljednja u razvoju staklokeramika je litij-disilikatna keramika koja sadrži 72% litijevih i silikatnih oksida čime se značajno poboljšava čvrstoća keramike uz zadržavanje povoljnih optičkih svojstava. Litij-disilikatna keramika veže se za zub s pomoću 4,9%-tne fluorovodične kiseline, kojom se jetka 20 sekundi, nakon čega slijedi ultrazvučno čišćenje i nanošenje silana.

Glinična keramika

Blokovi glinične keramike ubrajaju se u najstarije materijale za strojnu obradu. Popularni brendovi uključuju blokove *CEREC (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania)* i *VITABLOC (Mark II, RealLife, TriLuxe, VITA Zahnfabrik)* koji dolaze s gradacijom boje i stupnja translucencije što odgovara prirodnim zubima.

Leucitima ojačana keramika

Leucitnu keramiku prvi je put predstavio proizvođač *Ivoclar Vivadent*, kao *IPS Empress CAD*, kao materijal s poboljšanim mehaničkim svojstvima u odnosu na tradicionalne glinične keramičke blokove. Ova se keramika odlikuje velikim stupnjem translucencije što je čini dobrim izborom za estetski zahtjevne slučajeve. Nadomjesci od ovog materijala imaju dobar klinički uspjeh kada se upotrebljavaju u područjima bez velikog žvačnog opterećenja.

Litij-disilikatna keramika

Litij-disilikatni keramički blokovi (npr. *IPS E.max CAD*, *Ivoclar Vivadent*) imaju kristalnu fazu koja se sastoji od litijeva-disilikata i litijeva-ortofosfata što ih ojačava, a pri određenoj debljini čini prikladnima i za primjenu u područjima izloženim većim žvačnim silama uz zadržavanje poboljšanih optičkih svojstava.

Nedavno su se na tržištu pojavile izmijenjene inačice ovog materijala, koje su potpuno kristalizirane, bez potrebe za daljnjom kristalizacijom. *VITA Suprinity PC* (*VITA Zahnfabrik*), *Celtra Duo* (*Dentsply Sirona*) i *Obsidian* (*Glidewell Laboratories, Newport Beach, Kalifornija*) primjeri su keramičkih blokova koji su nedavno predstavljeni uz tvrdnju da su mehanička i optička svojstva slična *IPS e.max CAD*-u. Međutim, nedostaju klinička ispitivanja za ove keramičke blokove. *In vitro* istraživanja pokazala su svojstva ili slična ili malo lošija od *IPS e.max*-a. Međutim, u većini istraživanja zaključuje se da ova keramika ima prihvatljive kliničke kvalitete uz dovoljnu debljinu (22,23).

Navodi se da je rubna neusklađenost litij-disilikatne keramike minimalna i unutar klinički prihvatljivih granica (24). Međutim, u većini istraživanja potvrđeno je da toplinski tlačeni litij-disilikatni nadomjesci imaju bolji rubni dosjed od nadomjestaka izrađenih CAD/CAM tehnologijom (25).

3.1.5.3. Oksidna keramika

Cirkonijev dioksid za strojnu obradu dolazi u obliku keramičkih blokova s gustim rasporedom kristala zbog čega ima izvrsna mehanička svojstva. Konvencionalni cirkonijev oksid stabilizirani je s 3 mol% itrija (3Y-PSZ) i ima savojnu čvrstoću oko 1200 MPa (npr. *Katana HT*, *Kuraray Noritake*, Japan i *Lava Plus*, *3M*, *Paul*, *Minnesota* i *IPS e.max ZirCAD*, *Ivoclar Vivadent*). Tetragonalna struktura (85%) prolazi faznu transformaciju kada se pukotina počne širiti, prelazeći u veće monoklinske čestice, što uzrokuje tlačno naprezanje oko vrha pukotine sprječavajući njezino širenje. Taj se fenomen naziva *transformacijsko očvrstnuće* (26). Prva

generacija cirkonijeva oksida bila je potpuno mutna i morala se presvlačiti obložnom keramikom kako bi postala estetski prihvatljiva. Odlamanje obložne keramike predstavljalo je veliki problem, dok nisu razvijeni odgovarajući oblici jezgre koja podupire obložnu keramiku te je uvedeno postupno hlađenje nadomjeska nakon sinteriranja. Time je značajno smanjena incidencija lomova (27). Cirkonij-oksidna jezgra rijetko je pucala pa je tako začeta ideja o monolitnim cirkonij-oksidnim nadomjescima.



Slika 2. Cirkon-oksidna jezgra obložena staklokeramikom. Preuzeto uz dopuštenje autora:
Luka Stojić, dr. med. dent.

Povećanjem količine itrija na 5 mol% i smanjenjem sadržaja glinice unutar strukture cirkonijeva oksida prisutno je više kristala kubične faze (55%) što omogućuje veći prolazak svjetlosti (npr. *Katana UTML* i *Bruxzir Anterior*, Laboratoriji *Glidewell*). S povećanjem translucencije čvrstoća cirkonija značajno se smanjila. Fenomen transformacijskog očvrnuća događa se u prisutnosti tetragonalnih čestica koje se pretvaraju u monoklinske. U novoj generaciji cirkonijeva oksida povećan sadržaj kubične faze i smanjen sadržaj tetragonalnih čestica u strukturi minimizira pojavu transformacijskog očvrnuća i stoga dopušta veće širenje pukotina, što značajno smanjuje čvrstoću materijala. Smanjena čvrstoća zahtijeva da se ova vrsta cirkonijeva oksida adhezijski cementira za zubnu strukturu. Pjeskarenje česticama ≤ 50 μm pri tlaku od 2 bara preporučuje se kao prethodna obrada, nakon čega slijedi upotreba keramičkog *primera* koji sadrži 10-metakriloiloksidecil-dihidrogenfosfatni monomer koji se može vezati za metalne okside. Indicirana je upotreba dualno polimerizirajućih cemenata jer svjetlosna energija slabije prolazi kroz cirkonij-oksidne nadomjeske (28).

S obzirom na gubitak čvrstoće cirkonijeva oksida stabiliziranog s 5 mol% itrija, sadržaj itrija smanjen je na 4 mol%, čime je sadržaj kubične faze smanjen na 25%, povećavajući transformacijsko očvršnuće i na kraju otpornost na lomove. Translucencija je povećana u usporedbi s konvencionalnim cirkonijevim oksidom s 3 mol% itrija (29). Predstavnicima ove vrste cirkonijeva oksida su *Katana STML* (Kuraray Noritake, Japan) i *Bruzir Esthetic* (Glidewell Laboratories).

Da bi se vrijeme sinteriranja smanjilo s osam sati na dvadeset minuta, uvedeni su brzo sinterirani CAD/CAM cirkonij-oksidi blokovi za ordinacijsku primjenu (npr. *3M Chairside Zirconia*, *3M* i *Katana STML*) za koje su potrebne posebne peći za brzo sinteriranje (npr. *CEREC Speedfire*, *Dentsply Sirona*).

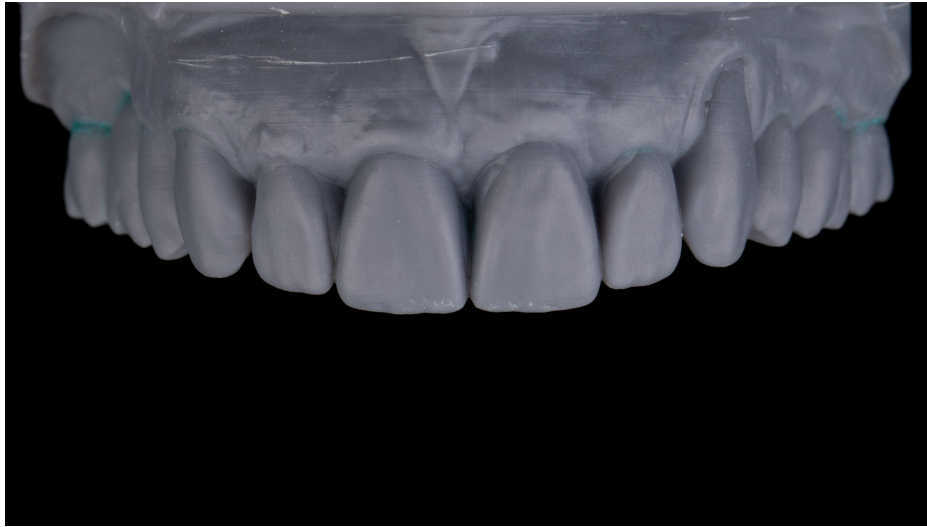
3.2. Materijali za obradu aditivnom tehnologijom

3.2.1. Polimeri

Uobičajeni materijali za privremene nadomjeske razvrstavaju se na monometakrilate ili akrilne smole i dimetakrilate ili bis-akrilne/kompozitne smole kao što je bisfenol A-glicidil dimetakrilat i uretan-dimetakrilat (30). Nije potpuno jasno i nema podataka u literaturi o tome jesu li polimeri za 3D ispis identični konvencionalnima zbog razlike u načinu obrade, stoga su potrebna daljnja istraživanja na tom području.

Privremeni nadomjesci potrebni su kako bi se osigurala funkcija i estetika do izrade trajnog nadomjeska. Važno je da materijali za privremene nadomjeske imaju odgovarajuća mehanička svojstva, preciznost dosjeda, stabilnost boje i odgovarajuću tvrdoću kako bi ispunili svoju funkciju. Istraživala su se mnoga svojstva konvencionalnih materijala za privremene nadomjeske (31-33).

Savojna čvrstoća i mikrotvrdoća hibridne kompozitne smole, koja se može obrađivati 3D ispisom, uspoređena je s glodanim i konvencionalnim PMMA materijalom. Savojna čvrstoća kompozitne smole za 3D ispis bila je znatno manja (79,5 MPa) od konvencionalnog (95,6 MPa) i glodanog (104,2 MPa) PMMA. Mikrotvrdoća kompozitne smole za 3D ispis (32,8) bila je veća u usporedbi s konvencionalnim i glodanim PMMA (27,4 i 25,3) (34). Okomito ispisani uzorci sa slojevima orijentiranim okomito na smjer opterećenja imali su znatno veću tlačnu čvrstoću od vodoravno ispisanih uzoraka sa slojevima paralelnima smjeru opterećenja (35). Podaci o svojstvima polimera za 3D ispis su oskudni, stoga je teško dati preporuke u vezi s minimalnim dimenzijama potrebnim za područje konektora privremenih mostova ili mogućem broju međučlanova. Podaci o trajnosti ovih materijala u kliničkim uvjetima, također, nedostaju. Također, ne zna se mogu li se ti materijali popraviti ili obložiti konvencionalnim polimerima. Nedostaju odgovori na mnoga pitanja, prije nego što se daju kliničke preporuke za polimere namijenjene 3D ispisu.



Slika 3. 3D ispisani model od kompozitne smole. Preuzeto uz dopuštenje autora: Luka Stojić, dr. med. dent.

3.2.2. Metali

Tehnologija selektivnog laserskog sinteriranja primjenjuje se za proizvodnju nadomjestaka koji sadrže metalnu osnovu, uglavnom od titanija, kobalt-kroma, ali i ostalih legura. Rana testiranja ove tehnologije rezultirala su proizvodima koji su bili porozni, s lošom završnom obradom površine, neprikladni za područja izložena velikim silama. Razvoj tehnologije usredotočio se na prevladavanje ovih nedostataka što je rezultiralo metalnim strukturama s optimalnim mehaničkim svojstvima i minimaliziranim površinskim nepravilnostima čime se poboljšava osteointegracija u slučaju implantata (36, 37). Direktno lasersko sinteriranje metala uspješno se upotrebljava za prevladavanje poteškoća s nadomjescima od kobalt-kroma, poput skupljanja tijekom lijevanja i velike tvrdoće CoCr tijekom glodanja jer nema primjene aktivne sile tijekom izrade konstrukcije. Uz to, mala količina otpada materijala učinila je ovu tehnologiju popularnom, posebno za obradu plemenitih legura.

3.2.3. Keramike

Zbog visokog tališta keramike, proizvodnja aditivnom tehnologijom prilično je komplicirana što rezultira stvaranjem pukotina tijekom hlađenja, također, povećavajući poroznost unutar keramike. Širenje pukotina i poroznost slabe keramiku i loše utječu na mehanička svojstva. Poduzeti su pokušaji 3D ispisivanja cirkonij-oksidge krunice direktnim *inkjet* ispisom s pomoću suspenzije od cirkonij-oksidge keramike. Iako su postojali određeni nedostaci, bilo je moguće izraditi uzorke koji su bili usporedivi s konvencionalno obrađenom cirkonijevim oksidom (38).

Metoda obrade SLA za izradu krunica od cirkonijeva oksida pokazala je bolje rezultate od metode *inkjet* ispisa te su mehanička svojstva i svojstva površine bila slična glodanom cirkonij-oksidu (39). SLA metoda također se primjenjuje za 3D ispis cirkonij-oksidnih implantata. Dimenzijska točnost 3D ispisanih implantata bila je velika, a savojna čvrstoća (943 MPa) bila je slična kao kod konvencionalno proizvedene keramike (glodani cirkonijev oksid 800 – 1000 MPa) (40).

Aditivne tehnologije testirane su s kalcijevim fosfatom i s drugim keramikama, kao okosnicama, koje se uglavnom upotrebljavaju za regeneraciju kosti s obećavajućim rezultatima. Međutim, ne treba previdjeti izazove kod 3D ispisa. Potrebno je poboljšati aspekte kao što su: kvaliteta površine, dimenzijska preciznost i mehanička svojstva za proizvodnju učinkovitih visoko kvalitetnih proizvoda. Očekuje se da će daljnji razvoj aditivne tehnologije dati značajan doprinos smanjenju proizvodnih troškova i poboljšanju kvalitete proizvedenih materijala te učiniti proizvodne procese učinkovitijima i isplativijima (41).

4. PRIMJENA SUVREMENIH MATERIJALA U PROTETSKOJ TERAPIJI

4.1. Polimerni nadomjesci

Materijali na bazi polimera jedni su od najraširenije korištenih materijala za aditivne i suptraktivne tehnologije. Većina pisara dostupnih stomatološkoj praksi upotrebljava polimere za izradu mobilnih potpunih i djelomičnih proteza, dentalnih implantata, krunica i mostova. U zadnje vrijeme se sve više upotrebljavaju termoplastični polimeri poput PEEK-a i PMMA sa višim temperaturama taljenja u obliku privremenih nadomjestaka.

Krunice i mostovi su najčešći nadomjesci u fiksno protetskoj terapiji. Nekada su izrađivane metodom izgaranja voska koja se pokazala sklonom ljudskim pogreškama. Brojna usporedna istraživanja proučavala su protetske nadomjeske izrađene aditivnom tehnologijom kako bi se procijenila pouzdanost. 3D ispisane krunice pokazale su najpreciznije okluzalne kontakte sa zubom antagonistom i najbolji rubni dosjed, dok su svojstva CAD/CAM izrađenih nadomjestaka ovisila o materijalu od kojeg su izrađeni (42).

Eksponencijalni napredak tehnologije doveo je do digitalne izrade potpunih i djelomičnih proteza. Postupak može zahtijevati najviše dva posjeta stomatologu. Nedostatak potpuno digitalnog pristupa nemogućnost je probe u vosku prije finalizacije protetskog rada. Međutim, moguća je izrada probnog mobilnog rada koristeći jeftinije materijale kako bi modifikacije proteze bile moguće. Donedavno, suptraktivna tehnologija bila je primarna metoda komercijalne izrade proteza. Zbog nepotrebnog viška materijala na kraju suptraktivnog procesa, sve se više daje prednost 3D ispisu. Proteze izrađene digitalnom tehnologijom nekada su prvo zahtijevale 3D ispis ili freziranje baze proteze na koju su se lijepili zubi. Danas je moguća proizvodnja i jednog i drugog istovremeno. Ako uspoređujemo digitalno i tradicionalno izrađene baze proteze, one proizvedene digitalno imaju prednost boljeg kontakta s mekim tkivom (42,43).

Od inovativnih metoda korištenja polimera važno je spomenuti izradu okluzalnih udlaga. Okluzalna uduga predstavlja važan korak kompleksnijih protetskih rehabilitacija i pomaže utvrđivanju stabilnog fiziološkog položaja kondila. Materijal izbora je polikarbonat, u boji zuba, dizajniran dijagnostičkim *wax up*-om. Dodatna mogućnost pripreme za terapiju su onleji i krunice ili mostovi kojima se testira nova vertikalna dimenzija. Izrada je moguća konvencionalno ili s pomoću CAD/CAM-a. Prednost polimera nad keramikom je mala debljina od čak 0,3 mm pa prethodno brušenje zubi nije potrebno (44).



Slika 4. PMMA privremeni most na vijak. Preuzeto uz dopuštenje autora: Luka Stojić, dr. med. dent.

4.2. Metalni nadomjerci

Digitalne tehnologije postale su standard proizvodnje metalnih nadomjestaka izrađenih od kobalt-krom legure. Danas je moguće proizvesti osnovnu metalnu konstrukciju i za mostove većih raspona. Fizička i mehanička svojstva mogu se usporediti s onima konvencionalne izrade, a rubni dosjed pokazao se još boljim (45). Keramika se lako nanosi na površinu metala radi hrapavosti koja je pogodna za nanošenje opakera.



Slika 5. CoCr metalna jezgra obložena opakerom. Preuzeto s dopuštenjem autora: Luka Stojić, dr. med. dent.

CAD/CAM i 3D ispis omogućuju izradu jednokomadnih metalnih skeleta koji se planiraju digitalno. Aditivnom tehnologijom proizvode se metalni skeleti potpunih i djelomičnih proteza postupkom direktnog laserskog sinteriranja metala. Materijal izbora je legura kobalta, kroma i molibdena. Međutim, ekonomska isplativost još uvijek je upitna. Potrebna su daljnja istraživanja kako bi ova metoda bila preporučena metoda izbora. Posebna pozornost mora se usmjeriti na retencijske elemente (kvačice) koje su najviše izložene djelovanju žvačnih sila (46,47).

4.3. Keramički nadomjesci

4.3.1. Hibridna keramika

Blokovi polimera infiltriranog keramikom preporučuju se za izradu ljsaka, inleja/onleja, dok se keramike infiltrirane polimerom, također, mogu upotrijebiti za pojedinačne krunice. Još uvijek nema kliničkih istraživanja koja bi potvrdila da se hibridne keramike mogu smatrati održivom opcijom za izradu indirektnih nadomjestaka.

4.3.2. Silikatna keramika

Indikacije za gliničnu keramiku uključuju ljske, inleje, onleje i prednje krunice. Klinička istraživanja ukazuju na prihvatljive stope uspjeha za nadomjeske od gliničnih CAD/CAM blokova u rasponu od 84% do 95% tijekom razdoblja od devet do osamnaest godina (48-51). Glavni uzrok neuspjeha su lomovi nadomjeska. Prognoza za ovu keramiku je povoljna kada se prilikom planiranja uzmu u obzir veličina i položaj nadomjeska.

Litij-disilikatna keramika indicirana je za ljske, inleje/onleje i pojedinačne krunice. Glođe se uz vodeno hlađenje u predkristaliziranoj fazi (ljubičasti blok), zatim kristalizira u peći za sinteriranje, nakon čega slijedi poliranje, pigmentiranje i nanošenje glazure. Više kliničkih i laboratorijskih istraživanja izvijestilo je o povoljnim kliničkim ishodima za pojedinačne litij-disilikatne krunice (52,53). Tročlani mostovi litij-disilikatne keramike imaju ograničene indikacije. Moguće ih je koristiti samo u prednjem dijelu zubnog niza s time da je drugi premolar najdistalniji član. Otpornost na lom ovisi o tome radi li se o dvoslojnom ili monolitnom sustavu. Međutim, zabilježeni su nepovoljni rezultati za litij-disilikatnu keramiku za mostove, uglavnom s lomom na mjestu spoja (52).

4.3.3. Oksidna keramika

Uvođenje CAD/CAM tehnologije dovelo je do razvoja prve generacije cirkonij-oksidge keramike stabilizirane itrijem (3Y-TZP). 3Y-PSZ je čvrsta keramika koja se može upotrijebiti u područjima s jakim žvačnim opterećenjem za pojedinačne krunice i mostove. Zbog mutnoće, prva generacija korištena je pretežito kao jezgra dvoslojnih nadomjestaka. Rijetko je dolazilo do frakture cirkonske jezgre, međutim, bilo je slučajeva odlomljavanja obložne keramike. Primjena monolitnih nadomjestaka smanjuje mogućnost loma i unaprjeđuje stabilnost restauracije, dok je CAD/CAM postupak izrade pojednostavljen. Oni se mogu konvencionalno cementirati staklenoionomernim cementom pod uvjetom da je osiguran retencijski i rezistencijski oblik preparacije. Međutim, nedostatak translucencije ograničio je

njihovu primjenu u estetski zahtjevnim slučajevima, što je potaknulo razvoj translucentnijih oblika cirkonijeva oksida.



Slika 6. Cirkonij-oksida jezgra. Preuzeto uz dopuštenje autora: Luka Stojić, dr. med. dent.

Daljnji razvoj materijala doveo je do većeg izbora cirkonij-oksidne keramike s većom translucencijom. Danas razlikujemo čak četiri generacije koje se međusobno razlikuju količinom aluminij i itrijevog-oksida.

S obzirom da postoje različite vrste cirkonijeva-oksida, konvencionalni cirkonijev-oksid s 3 mol% itrija može se preporučiti u područjima s velikim žvačnim opterećenjima gdje estetika ne predstavlja problem. Cirkonijev-oksid s 5 mol% itrija preporučuje se za uporabu u estetskoj zoni. S obzirom na njihovu smanjenu čvrstoću i vrhunske estetske kvalitete litij-disilikatne keramike, postoji suzdržanost kad je u pitanju ovaj materijal. Što se tiče nedavno predstavljenog cirkonij-oksida s 4 mol% itrija, on može poslužiti kao alternativa cirkonij-oksidu s 5 mol% itrija u estetskoj zoni. Preporučuje se reducirati cirkonijev oksid facijalno (*cut back*) i nanijeti sloj obložne keramike za postizanje optimalne estetike.

Potrebna su dugotrajna klinička istraživanja za sve vrste monolitnih nadomjestaka od cirkonijeva-oksida kako bi se ovi keramički nadomjesci definitivno mogli preporučiti kao alternativa tradicionalnim metal-keramičkim nadomjescima.

Uvođenjem digitalne tehnologije i pristupom novih materijala, kliničari se susreću sa stalnim porastom izbora mogućnosti liječenja u fiksoprotetskoj terapiji. Veći izbor omogućava optimalno liječenje i individualizirani pristup pacijentu. Međutim, potrebna je vještina, iskustvo i znanje kliničara, ali i dentalnog tehničara kako bi izabrali pravu terapiju potkrijepljenu znanstvenim dokazima.

U zadnje vrijeme je prisutan pomak usmjeren prema minimalno invazivnim preparacijama. Cilj je postići željeni ishod terapije uklanjajući minimalno prirodnog tkiva. Pouzdano vezivanje nadomjeska za caklinu i materijali boje zuba dovode do konzervativnih preparacija koje nekada nisu bile moguće. Minimalno invazivne preparacije smatraju se povoljnima radi manjeg rizika oštećenja pulpe, bolje zaštite tvrdog zubnog tkiva, lakšeg uzimanja otiska i manje iritacije gingive. Iako zvuči jednostavno, te metode zahtjevaju visoki stupanj tehničke osjetljivosti glede preparacija, adhezivno cementiranje i usavršavanje okluzijskih kontakata.

U literaturi se mogu pronaći dugoročna klinička istraživanja minimalno invazivnih keramičkih restauracija, međutim važeći podaci vezani uz minimalno invazivne restauracije od CAD/CAM kompozitnih smola-nedostaju.

Rezultati kliničkih istraživanja direktnih kompozitnih restauracija su dobri, posebno kada pričamo o anteriornoj regiji. Međutim, u kompleksnijim slučajevima, direktne kompozitne restauracije u posteriornoj regiji pokazale su primjetno oštećenje nakon pet ili više godina. Oštećenje je bilo vidljivo u površinskoj teksturi, anatomskom obliku i rubnom dosjedu restauracije. Razina oštećenja kod kompleksnih direktnih restauracija ovisi o poziciji zuba s time da je pozicija molara najmanje povoljna.

Kompozitni materijali obrađivani CAD/CAM-om postali su zanimljiva opcija s obzirom na to da su njihova svojstva nešto između onih keramike i polimera. Osim toga, lakše se glođu i poliraju. Brojna *in vitro* istraživanja CAD/CAM kompozitnih materijala i keramike infiltrirane polimerom proučavala su njihova optička i mehanička svojstva, otpornost na trošenje i opcije cementiranja. U jednom od tih istraživanja, CAD/CAM kompozitni materijali pokazali su bolju savojnu čvrstoću u usporedbi sa keramikom ojačanom leucitima i keramikom infiltriranom polimerom, ali slabiju od litij-disilikatne keramike. Staklokeramika je pokazala manju razinu diskoloracije od CAD/CAM kompozitnih materijala i manje trošenje. U višebrojnima *in vitro* istraživanjima pokazalo se da keramika najbolje zadržava površinski sjaj u usporedbi sa hibridnim keramikama, kompozitima i polimerima.

Obzirom da keramika pokazuje veću otpornost na trošenje od kompozitnih materijala, dugoročna stabilnost restauracije nakon povećanja vertikalne dimenzije okluzije kod kompleksnih rehabilitacija je superiornija kod keramičkih nego kod kompozitnih protetskih nadomjestaka (44).

Potrebna su daljnja kontrolirana klinička ispitivanja kako bi se mogli usporediti rezultati novih materijala. Posljedično, potpuno keramički nadomjesci još su uvijek materijal izbora, posebno kod kompleksnijih fiksno-protetskih rehabilitacija, gdje su prisutne jake žvačne sile. Međutim, treba imati na umu da preparacije moraju biti koliko god je moguće minimalno invazivne. Terapija je individualna u skladu sa materijalom izbora i vrstom protetskog ili restaurativnog rada. CAD/CAM kompozitni materijali ograničeni su na nadomještanje samo jednog zuba unutar granica cakline i sa funkcionalnim mastikatornim sustavom, gdje su žvačne sile dodatno raspoređene na susjedne zube. U tom slučaju kompozit pomaže očuvanju tvrdog zubnog tkiva antagonista.

Ako usporedimo prednosti 3D ispisanih nadomjestaka s konvencionalnim CAD/CAM nadomjescima, 3D ispisani nude mogućnost izrade visokokvalitetnih nadomjestaka na brz i jednostavan način. Kvaliteta je potvrđena brojnim istraživanjima, iako je cijena pisača i dalje vodeći problem. Dok je sam ispis brz, daljnja obrada nadomjeska može biti dugotrajna (54,55). Unatoč očitom napretku suvremenih digitalnih tehnologija, još uvijek nije moguće u potpunosti zamijeniti uhodane klasične tehnike proizvodnje i nazamjenjiv talent, vještinu i znanje dentalnog tehničara.

U današnje vrijeme fiksno protetska terapija nudi niz alternativa konvencionalnim i invazivnijim načinima liječenja. Uvođenje digitalne tehnologije dovodi do napretka dijagnostičkih alata, plana terapije i bolje komunikacije između pacijenta i terapeuta. Suvremena stomatologija sve više naginje korištenju lakših i bržih metoda poput 3D pisaa i CAD/CAM tehnologije. Osim, što je terapija ugodnija za pacijenta zbog smanjene invazivnosti i vremena provedenog u ordinaciji, prednosti su: brzina izrade i preciznost nadomjeska.

Naprednije metode izrade otvorile su put razvoju novih materijala povoljnijih svojstava i šireg raspona indikacija. Obrađuje se niz različitih materijala uključujući keramiku, metal, polimere i kompozitne materijale. Primjena u stomatologiji je raznolika. Uključuje izradu mobilnih proteza, maksilofacijalnih implanata i ostalih protetskih pomagala poput krunica ili mostova. Također, upotrebljava se pri kirurškom planiranju terapije s obzirom na to da je moguća izrada vjerodostojnih anatomskih modela.

Zahvaljujući sve većem napretku tehnologije i posljedično materijala, suptraktivne i aditivne metode igrat će sve veću ulogu u dentalnoj medicini u bliskoj budućnosti.

7. LITERATURA

1. Fasbinder DJ. Digital dentistry: innovation for restorative treatment. *Compend Cont Educ Dent*. 2010;31:2-11.
2. Zandparsa R. Digital imaging and fabrication. *Dent Clin N Am*. 2014;58(1):135-58.
3. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012;28(1):3-12.
4. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008;204(9):505-11.
5. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent*. 2014;2014:783948.
6. Huang SH, Liu P, Mokasdar A, Hou L. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *Int J Adv Manuf Technol*. 2013;67(5):1191-203.
7. ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. Standard Terminology for Additive Manufacturing—General Principles and Terminology. ISO/ASTM52900-15. West Conshohocken, PA: ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies; 2009.
8. Magne P, Schlichting LH, Maia HP, Baratieri LN. In vitro fatigue resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic posterior occlusal veneers. *J Prosthet Dent*. 2010;104(3):149-57.
9. Mormann WH, Stawarczyk B, Ender A, et al. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2013;20:113-25.
10. Ender A, Bienz S, Mörmann W, et al. Marginal adaptation, fracture load and macroscopic failure mode of adhesively luted PMMA-based CAD/CAM inlays. *Dent Mater*. 2016;32(2):e22-e29.
11. Arslan M, Alp G, Zaimoglu A, Murat S. Evaluation of flexural strength and surface properties of pre-polymerized CAD/CAM PMMA-based polymers used for digital 3D complete dentures. *Int J Comput Dent*. 2018;21(1):31-40.
12. Al-Dwairi ZN, Tahboub KY, Baba NZ, Goodacre CJ. A comparison of the flexural and impact strengths and flexural modulus of CAD/CAM and conventional heat-cured polymethyl methacrylate (PMMA). *J Prosthodont*. 2018:1-9. <https://doi.org/10.1111/jopr.12926>.

13. Al-Dwairi ZN, Tahboub KY, Baba NZ, Goodacre CJ, Özcan M. A comparison of the surface properties of CAD/CAM and conventional polymethylmethacrylate (PMMA). *J Prosthodont.* 2019;28(4):452-7.
14. Negm EE, Aboutaleb FA, Alam-Eldein AM. Virtual evaluation of the accuracy of fit and trueness in maxillary poly(etheretherketone) removable partial denture frameworks fabricated by direct and indirect CAD/CAM techniques. *J Prosthodont.* 2019;28:804-10.
15. Arnold C, Hey J, Schweyen R, Setz JM. Accuracy of CAD-CAMfabricated removable partial dentures. *J Prosthet Dent.* 2018;119(4):586-92.
16. Wimmer T, Huffmann AM, Eichberger M, Schmidlin PR, Stawarczyk B. Two-body wear rate of PEEK, CAD/CAM resin composite and PMMA: effect of specimen geometries, antagonist materials and test set-up configuration. *Dent Mater.* 2016;32(6):e127-e36.
17. Elsayed A, Farrag G, Chaar MS, Abdelnabi N, Kern M. Influence of different CAD/CAM crown materials on the fracture of custom-made titanium and zirconia implant abutments after artificial aging. *Int J Prosthodont.* 2019;32(1):91-6.
18. Shembish FA, Tong H, Kaizer M, et al. Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns. *Dent Mater.* 2016;32(4):499-509.
19. Spitznagel FA, Horvath SD, Guess PC, Blatz MB. Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: a review of the literature. *J Esthet Restor Dent.* 2014;26(6):382-93.
20. Matzinger M, Hahnel S, Preis V, Rosentritt M. Polishing effects and wear performance of chairside CAD/CAM materials. *Clin Oral Investig.* 2019;23(2):725-37.
21. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding—a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2003;89(3):268-74.
22. Sieper K, Wille S, Kern M. Fracture strength of lithium disilicate crowns compared to polymer-infiltrated ceramic-network and zirconia reinforced lithium silicate crowns. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2017;74:342-8.
23. Monteiro JB, Riquieri H, Prochnow C, et al. Fatigue failure load of two resin-bonded zirconia-reinforced lithium silicate glass-ceramics: effect of ceramic thickness. *Dent Mater.* 2018;34(6):891-900.

24. Mously HA, Finkelman M, Zandparsa R, Hirayama H. Marginal and internal adaptation of ceramic crown restorations fabricated with CAD/CAM technology and the heat-press technique. *J Prosthet Dent.* 2014;112(2):249-56.
25. Mounajjed R, Layton DM, Azar B. The marginal fit of e.max press and e.max CAD lithium disilicate restorations: a critical review. *Dent Mater J.* 2016;35(6):835-44.
26. Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. Ceramic steel? *Nature.* 1975;258(5537):703-4.
27. Tan JP, Sederstrom D, Polansky JR, McLaren EA, White SN. The use of slow heating and slow cooling regimens to strengthen porcelain fused to zirconia. *J Prosthet Dent.* 2012;107(3):163-9.
28. Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Donovan TE, et al. Optical properties and light irradiance of monolithic zirconia at variable thicknesses. *Dent Mater.* 2015;31(10):1180-7.
29. Zhang Y, Lawn BR. Novel zirconia materials in dentistry. *J Dent Res.* 2018;97(2):140-7.
30. Burns DR, Beck DA, Nelson SK, Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent.* 2003;90:474-97.
31. Balkenhol M, Ferger P, Mautner MC, et al. Provisional crown and fixed partial denture materials: mechanical properties and degree of conversion. *Dent Mater.* 2007;23:1574-83.
32. Balkenhol M, Mautner MC, Ferger P, Wöstmann B. Mechanical properties of provisional crown and bridge materials: chemical-curing versus dual-curing systems. *J Dent.* 2008;36:15-20.
33. Digholkar S, Madhav VN, Palaskar J. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *J Indian Prosthodont Soc.* 2016;16:328-34.
34. Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effect of build direction on the mechanical properties of 3D printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent.* 2016;155:760-7.
35. Ebert J, Ozkol E, Zeichner A, et al. Direct inkjet printing of dental prostheses made of zirconia. *J Dent Res.* 2009;88(7):673-6.

36. Mangano FG, De Franco M, Caprioglio A, et al. Immediate, non-submerged, root-analogue direct laser metal sintering (DLMS) implants: a 1-year prospective study on 15 patients. *Laser Med Sci.* 2014;29:1321-8.
37. Vichi A, Carrabba M, Paravina R, Ferrari M. Translucency of ceramic materials for CEREC CAD/CAM system. *J Esthet Rest Dent.* 2014;26(4):224-31.
38. Xing H, Zou B, Li S, Fu X. Study on surface quality, precision and mechanical properties of 3D printed ZrO₂ ceramic components by laser scanning stereolithography. *Ceram Int.* 2017;43(18):16340-7.
39. Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater.* 2008;24(3):299-307.
40. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: a review. *Dent Mater.* 2019;35:825-46.
41. Figliuzzi M, Mangano F, Mangano C. A novel root analogue dental implant using CT scan and CAD/CAM: selective laser melting technology. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2012;41:858-62.
42. Pillai S, Upadhyay A, Khayambashi P, Farooq I, Sabri H, Tarar M, Lee KT, Harb I, Zhou S, Wang Y, Tran SD. Dental 3D-Printing: Transferring Art from the Laboratories to the Clinics. *Polymers.* 2021; 13(1):157.
43. Hassan A, Bhateja S. 3-Dimensional printing in dentistry- A review. *IP Int J Maxillofac Imaging.* 2019;5(4):77-80.
44. Edelhoff D, Stimmelmayer M, Schweiger J, Ahlers M, Güth J. Advances in materials and concepts in fixed prosthodontics: a selection of possible treatment modalities. *British Dental Journal.* 2019;226(10):739-748.
45. Schweiger J, Edelhoff D, Güth, J. 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *J. Clin. Med.* 2021;10:1-24.
46. Bhargava, A, Sanjairaj, V, Rosa, V, Feng, LW, Fuh YH, J 2017. Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. *J Biomed Mater Res Part B.* 2017;00(00):1-7.

47. Jawahar A, et al. Applications of 3D printing in dentistry- a review. *J.Pharm Sci&Res.* 2019; 11(5):1670-1675.
48. Otto T, Mormann WH. Clinical performance of chairside CAD/CAM feldspathic ceramic posterior shoulder crowns and endocrowns up to 12 years. *Int J Comput Dent.* 2015;18:147-61.
49. Wiedhahn K, Kerschbaum T, Fasbinder DF. Clinical long-term results with 617 Cerec veneers: a nine-year report. *Int J Comput Dent.* 2005;8(3):233-46.
50. Otto T, Schneider D. Long-term clinical results of chairside Cerec CAD/CAM inlays and onlays: a case series. *Int J Prosthodont.* 2008;21(1):53-9.
51. Reiss B. Clinical results of cerec inlays in a dental practice over a period of 18 years. *Int J Comput Dent.* 2006;9(1):11-22.
52. Pieger S, Salman A, Bidra AS. Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2014;112(1):22-30.
53. Sulaiman TA, Delgado AJ, Donovan TE. Survival rate of lithium disilicate restorations at 4 years: a retrospective study. *J Prosthet Dent.* 2015;114(3):364-6.
54. Zaharia C, Gabor A, Gavrilovici A, Tudor Stan A, Idorasi L, Sinescu C, Negrutiu M. Digital Dentistry -3D Printing Applications. *Journal of Interdisciplinary Medicine* 2017;2(1):50-53.
55. Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: a literature-based review. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2019;9(3):179-185.

Dora Stepinac rođena je 2. svibnja 1996. u Zagrebu. Nakon završetka osnovne škole 2011., upisala je XV. gimnaziju u Zagrebu gdje je maturirala 2015. godine. Iste godine upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Za vrijeme studija radila je kao asistentica u nekoliko privatnih ordinacija, sudjelovala u projektu Studentskih sekcija i pohađala razne kongrese u Hrvatskoj i inozemstvu.