

Digitalni postupci u ortodonciji

Rapanić, Paola

Professional thesis / Završni specijalistički

2023

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:127:878217>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
Stomatološki fakultet

Paola Rapanić

DIGITALNI POSTUPCI U ORTODONCIJI

POSLIJEDIPLOMSKI SPECIJALISTIČKI RAD

Zagreb, 2022.

Rad je ostvaren u: Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Naziv poslijediplomskoga specijalističkoga studija: Dentalna medicina

Mentor rada: prof.dr.sc. Senka Meštrović, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskoga jezika: prof. Bernarda Gudelj

Lektor engleskoga jezika: prof. Sandra Baloević

Sastav Povjerenstva za ocjenu poslijediplomskog specijalističkoga rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Sastav Povjerenstva za obranu poslijediplomskog specijalističkoga rada:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: ___ stranica

___ tablica

___ slika

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 ilustracija (tablice, slike i dr.) u radu izvorni su doprinos autora poslijediplomskoga specijalističkoga 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 nedopuštenoga preuzimanja ilustracija, odnosno propusta u navođenju njihova podrijetla.

Zahvala

Zahvaljujem svojoj dragoj mentorici prof. Senki Meštrović na pomoći, strpljenju i vrijedim savjetima koji su olakšali stvaranje ovog rada.

Također, hvala mojim dragim prijateljima i kolegama bez kojih ovaj period studiranja ne bi bio isti, hvala na podršci, razumijevanju i spremnosti da uvijek budu uz mene kada zatreba.

Velika hvala i mojim kolegama iz Poliklinike Petković koji su uvijek imali razumijevanja za moje daljnje usavršavanje.

Najveća hvala mojoj predivnoj obitelji na velikoj podršci i ljubavi koju su mi dali tijekom svih godina studiranja.

Sažetak

DIGITALNI POSTUPCI U ORTODONCIJI

Digitalna tehnologija pridonijela je poboljšanju i pojednostavljenju postupaka postavljanja dijagnoze, planiranja i provedbe liječenja u ortodontici. CAD/CAM sustavi u ortodontici našli su primjenu u izradi *alignera*, mobilnih ortodontskih naprava, bravica kao i u indirektnom postavljanju bravica. Ovaj pristup ima nekoliko prednosti za liječnika i pacijenta jer povećava preciznost, izravno utječe na vrijeme tretmana kao i na predvidljivost. Unatoč svim prednostima koje proizlaze iz digitalnoga tijeka rada, malo je ortodonata usvojilo ovu tehniku u svojoj kliničkoj praksi, najviše zbog visokih troškova i nedostatka tehničke pripreme za pravilno izvođenje.

Smatrajući pojavu CAD/CAM tehnologije izrazitom evolucijskom prekretnicom u povijesti ortodontije, s obzirom na to da pruža veliku mogućnost korištenja u kliničkoj praksi s potencijalnim dobrobitima za pacijenta i praktičara, cilj ovog rada jest opisati kliničke primjene digitalnoga tijeka rada u ortodontici.

Ključne riječi: CAD/CAM, digitalizacija, ortodontske naprave, virtualno, terapija

Summary

DIGITAL PROCEDURES IN ORTHODONTICS

Digital technology has contributed to the improvement and simplification of procedures for diagnosis, planning and implementation of treatment in orthodontics. CAD/CAM systems in orthodontics have been used in the production of aligners, mobile orthodontic devices, braces as well as in the indirect placement of braces. This approach has several advantages for doctor and patient as it increases precision, directly affects treatment time as well as predictability. Despite all the advantages arising from the digital workflow, few orthodontists have adopted this technique in their clinical practice, mostly due to the high costs and lack of technical preparation for proper execution.

Considering the emergence of CAD/CAM technology as a distinct evolutionary turning point in the history of orthodontics, considering that it provides a great possibility of use in clinical practice, with potential benefits for the patient and the practitioner, the aim of this paper is to describe the clinical applications of the digital workflow in orthodontics.

Keywords: CAD/CAM, digitization, orthodontic devices, virtual, planning

SADRŽAJ

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. DIGITALNI TIJEK U ORTODONCIJI | 4 |
| 2.1. Dokumentacija pacijenata | 7 |
| 2.2. Planiranje terapije..... | 12 |
| 2.3. Ortodonska terapija - očekivanja pacijenta | 16 |
| 2.4. Proizvodnja ortodontskih naprava..... | 19 |
| 2.4.1. Prilagođene mobilne naprave | 23 |
| 2.4.2. CAD/CAM bravice | 29 |
| 2.4.3. Digitalno proizvedene fiksne naprave..... | 31 |
| 2.5. RETENCIJA..... | 33 |
| 3. RASPRAVA..... | 35 |
| 4. ZAKLJUČAK | 38 |
| 5. LITERATURA..... | 40 |
| 6. ŽIVOTOPIS | 45 |

Popis skraćenica

CAD/CAM - Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing

CBCT - Cone-beam computed tomography

STL - Standard Triangulation Language

DICOM - Digital Imaging and Communications in Medicine

IPR - Interprokismalna redukcija

SLA - Stereolithography

DLP - Digital Light Processing

1. UVOD

Proces rada u ordinaciji dentalne medicine ubrzano se razvija sukladno razvoju digitalne tehnologije. Pojavile su sve nove mogućnosti snimanja zubnih lukova s pomoću intraoralnih skenera koji sad već polako postaju zlatni standard uz već standardnu digitalizaciju tehnologije bazirane na rendgenskim zrakama kao i primjenu CBCT-uređaja. Digitalna tehnologija pridonijela je poboljšanju i pojednostavljenju u postavljanju dijagnoze, planiranju te provedbi liječenja u ortodontici. (1)

Kombiniranje raznih digitalnih slikovnih podataka, doktori dentalne medicine, kao i specijalisti ortodontije mogu isplanirati i simulirati samu terapiju, koristiti 3D printane modele za kontrolu same terapije praćenjem napretka, odnosno pomaka zuba, kao i samog stanja nakon završene terapije. Pomoću CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) sustava moguće je proizvesti različite fiksne ortodontske naprave, prozirne *alignere*, bravice. Takav način izrade povećava preciznost naprava te, izravno utječući na vrijeme tretmana, i predvidljivost (1).

Cilj primjene ove tehnologije u ortodontici jest smanjiti vrijeme posjeta pacijenta kao i samu izradu naprava u laboratoriju, istovremeno čineći terapiju bržom, predvidljivijom, estetskom i ugodnijom za pacijente. Čak i uz sve prednosti koje proizlaze iz digitalnoga tijeka rada, ortodonti još uvijek nedovoljno koriste digitalnu tehnologiju u svojoj praksi; možda zbog nedostatka tehničkoga znanja za njezino uvođenje i njezine visoke cijene.

Mogu se izdvojiti tri glavna koraka u tijeku rada u ordinaciji dentalne medicine koja su posve digitalizirana (2):

1. prikupljanje i pohrana podataka u digitalnom obliku
2. mogućnost digitalnoga planiranja uz simulaciju terapije na ekranu (computer aided design – CAD)
3. izrada (computer aided manufacturing – CAM) ortodontskih naprava pomoću glodalica ili 3D pisaa

Digitalni tijek rada (*workflow*) u početku je imao najveću primjenu u dentalnoj implantologiji i protetici, a danas se može primijeniti na svim poljima dentalne medicine (2). Primarno je pojava CT-uređaja u dentalnoj medicine te posljedično i CBCT-(Cone-beam computed tomography) uređaja omogućila da virtualno trodimenzionalno planiranje uz smanjenu dozu zračenja u implantologiji postane uobičajeno.

Uvođenjem intraoralnoga skenera u dentalnu medicinu i uvođenjem novih CAM-materijala dolazi do brže jednoposjetne proizvodnje protetskih nadomjestaka i restauracija u dentalnoj protetici i restaurativnoj stomatologiji (3). U ortodonciji uporaba intraoralnoga skenera te stvaranje digitalnoga/virtualnoga modela sa simulacijom terapije pokazala se izrazito učinkovitim.

Digitalizacijom sadrenih ortodontskih modela i otisaka pohrana je postala efikasnija, brzina i kvaliteta prikupljanja podataka opsežnija je i brža, smanjena je pojavnost pogreške prilikom manipulacije, omogućena je bolja kontrola praćenja faza terapije (4).

Digitalizacijski postupci uvedeni su i u endodonciju što je značajno pomoglo pri kompleksnim slučajevima jer je na trodimenzionalnim snimkama dobivenim CBCT-om moguće segmentirati korijenski kanal, vidjeti njegovu zakrivljenost te čak i stvoriti virtualnu simulaciju endodontske terapije (4).

2. DIGITALNI TIJEK U ORTODONCIJI

Digitalni tijek rada trenutno raste u ortodontskoj praksi i dotaknuo je sve aspekte ortodoncije – s implementacijom novih digitalnih tehnologija od samog načina dokumentacije denticije, analize dentalne malokluzije, oblikovanja osmijeha, planiranja liječenja i dizajna i izrade ortodontskih aparata (5).

Digitalizacija donosi revolucionarnu promjenu u području dijagnostike i planiranju liječenja što predstavlja izazov za kliničku učinkovitost i znanje. Najnoviji napredak i evolucija digitalne radiografije, intraoralnih skenera, konusnozračne kompjutorizirane tomografije (CBCT) i prilagođenih ortodontskih naprava povećali su točnost, dosljednost, učinkovitost i predvidljivost ishoda liječenja. Skeniranje, virtualno projektiranje, trodimenzionalno tiskanje raznih ortodontskih aparata napreduje sukladno i istraživanjima i razvoju raznih tehnologija i materijala. Digitalna dokumentacija pacijenta može se pohraniti prema potrebi i lako se transportirati u laboratorij za izradu individualnih naprava (6).

Programska integracija digitalnih modela, trodimenzionalno fotografiranje lica kao i konusno-zračne kompjutorizirane tomografije čine mogućim simulaciju plana liječenja i postizanje dobre komunikacije s pacijentima.

Konvencionalna metoda dokumentacije pacijenata odnosila se na izlivanje alginatnih otisaka dobivajući sadrene modele te korištenje dvodimenzionalnih fotografija dobivenih s pomoću fotoaparata, dok je danas upotreba trodimenzionalne fotografije i intraoralnoga skenera postala neizostavnom fazom svakomu pacijentu koji treba ortodontsku terapiju ili kombinaciju kirurške i ortodontske terapije (7). Moguće je sve koštane strukture, zubne lukove i lice prikazati u svim trima dimenzijama te na temelju toga osmisliti i isplanirati terapiju.

Korištenje digitalne tehnologije u ortodonciji nudi nekoliko prednosti. S jedne strane, pridonosi dijagnozi analizom intraoralnih i ekstraoralnih fotografija, kefalometrijskom procjenom s pomoću specijaliziranoga softvera i trodimenzionalnom analizom studijskih modela. S druge strane, omogućuje dizajn i planiranje tretmana uz pomoć objektivnoga sustava vizualnoga tretmana, digitalnoga otiska studijskih modela, virtualnoga vađenja zuba, dizajna osmijeha i virtualnoga postavljanja za ortodontske tretmane s *alignerima* ili bravicama. Osim toga, omogućuje analizu složenih slučajeva koji zahtijevaju ortodontske zahvate.

Ortodonti također mogu imati koristi od digitalnih sustava simulacijom liječenja za donošenje kliničkih odluka utemeljenih na dokazima o dijagnozi i na planovima liječenja, kombinirajući kliničko iskustvo i znanstveno utemeljene činjenice za korištenje digitalnoga tijeka rada i formiranje digitalnoga ekosustava njihova rada.

Ortodont mora uzeti u obzir da su točna dijagnoza i planiranje ortodontske terapije nužni za postizanje boljih rezultata u digitalnome tijeku rada. Ortodonti također moraju znati koristiti specijalizirani softver za rukovanje slikama koje generiraju intraoralni skeneri.

Nakon prikupljanja trodimenzionalnih podataka s pomoću intraoralnoga skenera, podatci se obično spremaju u *Standard Triangulation Language* (STL) formatu. Kao takva, STL datoteka može se koristiti u raznim programima, od slanja izravno u laboratorij do slanja u druge programe gdje je moguće dodatno manipuliranje s dobivenim podacima. No uvijek je bitno provjeriti podržava li određeni program STL datoteke. Razne tvrtke koje se bave proizvodnjom naprava nude liječnicima sigurno slanje podataka internetom, omogućujući im da nakon završenoga dizajna taj isti dokument prihvate, modificiraju ili pak zatraže izradu potpuno novog dizajna, odnosno plana terapije. Intraoralnim skeniranjem omogućeno je i praćenje veličine pomaka u određenim vremenskim intervalima čime je postignuta bolja kontrola terapije (8).

Pacijenti također žele vidjeti dijagnostički predložak, odnosno *setup* koji je ortodont napravio kao i procjenu budućih promjena na licu koje će nastati posljedičnim djelovanjem ortodontske i/ili maksilofacijalne terapije prije početka same terapije (7). Pacijenti žele da terapija traje što je kraće moguće, da su ortodontske naprave neprimjetne i da je njihova kooperativnost minimalna.

2.1. Dokumentacija pacijenata

Detaljan i točan prikaz zubne strukture i okolnog zubnog mesa izuzetno je bitan korak u planiranju ortodontske terapije. Tradicionalni sadreni modeli polako su zamijenjeni digitalnim (9). Trodimenzionalni prikaz denticije, skeletnih komponenti i lica omogućuje trodimenzionalno planiranje liječenja i korištenje računalno potpomognutog dizajna (CAD) i računalno potpomognute proizvodnje (CAM) za prilagođavanje ortodontskih uređaja. Softverska integracija digitalnih modela, trodimenzionalno fotografiranje lica i konusne zrake kompjutorizirane tomografije (CBCT) omogućuje simulaciju plana liječenja i ostvarivanje dobre komunikacije s pacijentom.

Otisni materijali uvijek dožive barem minimalnu dimenzijsku promjenu prilikom izlivanja otiska, odnosno izrade sadrenoga modela. Dimenzijske promjene najčešće se događaju tijekom prijenosa otiska ili u vremenskome periodu između uzimanja otiska i izlivanja sadrenoga modela. Nastale promjene mogu dovesti do smanjene kvalitete i točnosti modela. Otisci se prvo moraju dezinficirati, zatim se šalju u dentalni laboratorij (ili ostaju u ordinaciji, ako je ordinacija opremljena alatima i materijalima za izlivanje otisaka), a nakon izrade sadrenih modela, šalju se natrag (Slika 1.). Modeli se zatim pohranjuju i skladište u ordinaciji. S pomoću laserski ili određenih CT-uređaja otisci i sadreni modeli mogu se prenijeti i u digitalni oblik (slika 2.). Takav način rada još uvijek traži uzimanje otisaka ili izradu sadrenih modela što potpuni digitalni *workflow* nastoji izbjeći (10).



Slika 1. Izgled sadrenog ortodontskog modela



Slika 2. Izgled printanoga ortodontskog modela

Korištenjem CBCT-uređaja koji omogućuje trodimenzionalni prikaz može se zabilježiti i dokumentirati cijela denticija. Kvaliteta takvoga prikaza proporcionalna je s količinom zračenja pa CBCT nije indiciran u slučajevima kada je potrebno prikazati samo denticiju. Zahvaljujući razvoju tehnologije i izumu intraoralnih skenera, moguće je uzeti intraoralni digitalni otisak bez ikakve doze zračenja (Slika 3.). Cijena i veličina takvih uređaja smanjila se, dok je kvaliteta slika postala bolja, a vrijeme snimanja kraće. Prikupljeni podaci obično se pohranjuju u „Standard Triangulation Language“ (STL) formatu koji se može koristiti u većini programa stvarajući digitalni model. Takvi modeli zatim se koriste za dijagnostiku malokluzije, digitalno ,odnosno virtualno planiranje terapije i dizajniranje naprava. Također, registriranje međučeljusnih odnosa jednostavno je te ne zahtijeva korištenje različitih materijala za registraciju zagrizu. Slike dobivene na taj način mogu zamijeniti i intraoralne fotografije. Intraoralni skeneri pokazali su kako imaju dovoljnu preciznost za izradu *inlaya*, *onlaya*, pojedinačnih krunica, mostova manjeg raspona te i za ortodontsku analizu, izradu *alignera* i drugih naprava (11).

Korištenjem intraoralnoga skenera ukida se potreba za transportom, dezinfekcijom, izlivanjem i skladištenje sadrenih modela koji mogu zauzeti mnogo prostora. Nakon skeniranja denticije dobije se digitalni otisak, koji se u obliku STL-dokumenta zajedno s ostalim digitalnim zapisima šalje u dentalni laboratorij ili se obrađuje u posebnom softveru u vlastitoj ordinaciji (7).



Slika 3. Intraoralni digitalni otisak

Dvodimenzionalne rendgenske snimke i fotografije desetljećima se koriste u dijagnostičke svrhe za analizu i planiranje ortodontske terapije. Godfried Hounsfield i Alan McLeod Cormack predstavili su CT-uređaje koji se mogu koristiti trodimenzionalnim prikazom lubanje u 1:1 omjeru, no pojava CBCT-uređaja uvela je revoluciju zbog smanjenja doze zračenja, veličine uređaja i cijene. CBCT-uređaj napravi puni krug ili pola kruga kako bi prikupio podatke koje nakon snimanja računalo pretvara u trodimenzionalnu fotografiju u „Digital Imaging and Communications in Medicine“ (DICOM) format. Iz takvih snimki može se proizvesti velik broj visokokvalitetnih presjeka. Neki CBCT-uređaji istovremeno mogu proizvesti i standardne dvodimenzionalne snimke te napraviti i trodimenzionalno skeniranje lica (12).

Kombinacijom digitalnoga dentalnoga modela, CBCT-radiograma i skeniranja lica stvara se „virtualna glava“ pacijenta na kojoj se onda može provoditi daljnja dijagnostika, planiranje terapije, CAD/CAM postupci. „Planmeca ProMax“ (Planmeca OY, Helsinki, Finland) prvi je uređaj koji s jednom jedinicom može zabilježiti različite trodimenzionalne podatke, tj. napraviti CBCT-snimku, trodimenzionalnu sliku lica i trodimenzionalni dentalni digitalni model (Slika 4.).

„Romexi 3Ds“ softver zatim spaja sve zapise i provodi traženu analizu i mjerenje, omogućava liječnicima manipulaciju CBCT-snimkama, modelima, 3D fotografijama i 4D snimkama pomicanja čeljusti. Softver Romerix pojednostavljuje analiziranje skeletalne simetrije, pomaže u otkrivanju impaktiranih zuba te identificira resorpciju korijenova zuba, a to sve analizom CBCT-snimki. Također, softver može kreirati kefalometrijske i panoramske snimke. Ne tako davno, različiti uređaji bili su potrebni za snimanje 2D i 3D fotografije, a za snimanje lica i pokreta čeljusti koristili su se laserski uređaji ili kombinacija kamera i fotoaparata. Pojavom uređaja i softvera koji su to objedinili napravljen je velik korak za digitalni *workflow* (5).



Slika 4. Plamenca ProMax (preuzeto s internetske stranice s dopuštanjem <https://henryscheinequipment.com.au/imaging/cone-beam/promax-3d/>)

2.2. Planiranje terapije

Kesling je 1947. godine među prvima prvi preporučio upotrebu dijagnostičkih sredstava u svrhu simulacije različitih opcija liječenja i pomoći pri donošenju odluka. Stvaranje različitih planova liječenja može pomoći pri donošenju odluke hoće li se raditi ekstrakcija, kolika je dostatna količina interproksimalne redukcije (IPR), koja su moguća sidrišta i druge mehanike liječenja. Dijagnostička sredstva također pomažu pri predstavljanju slučaja pacijentu i planiranju liječenja s drugim doktorima dentalne medicine kao i s maksilofacijalnim kirurzima.

Pacijenti s teškom malokluzijom i dentofacijalnim deformitetima obično se podvrgavaju kombinaciji ortodontskoga liječenja i ortognatske kirurgije. Virtualno kirurško planiranje često je korišten alat u ortognatskoj kirurgiji. U virtualnom okruženju kirurg može izvoditi osteotomije, simulirati različite strategije liječenja i predvidjeti profil lica nakon operacije. Na temelju virtualnoga planiranja mogu se proizvesti kirurške udlage koje se kasnije koriste za postavljanje čeljusti u planirane položaje tijekom operacije. Na taj se način može postići predvidljivi postoperativni ishod (13).

3D virtualni *setup* može simulirati ortodontski tretman segmentiranjem pojedinačnih zuba i pomicanjem svakoga pojedinačnoga zuba u željeni položaj. Do sada se 3D virtualni *setup* uglavnom koristio kao dijagnostički alat za potvrdu, izmjenu ili odbijanje predloženogaa plana liječenja. Može se predvidjeti individualna potreba za interproksimalnom redukcijom ili vađenjem zuba kako bi se riješila zbijenost ili dentalna protruzija. Planiranje prije ortodontskog liječenja teoretski bi trebalo dovesti do manje *ad hoc* promjena plana liječenja i predvidljivijega ishoda liječenja.

S prijelazom na digitalne modele planiranja dijagnostička sredstva sada se mogu izraditi digitalno, jednako točnima i pouzdanima kao i konvencionalna sredstva. Rad s digitalnim modelima nudi nove prednosti koje nisu bile moguće sa sadrom: mogućnost superpozicije s izvornim modelima i mogućnost određivanja točne količine pomaka za svaki zub.

Prilikom planiranja terapije s bilo kojim digitalnim ortodontskim sustavom, potrebno je izraditi digitalni *setup* za postavljanje konačnoga rezultata. Iako se takav digitalni *setup* može promatrati kao nusprodukt proizvodnoga procesa, on zapravo predstavlja dodatnu točku koju kliničari trebaju uzeti u obzir tijekom planiranja liječenja. Određen broj ortodonata čak izrađuje više različitih *setupova* kako bi pomoću softvera usporedili planove terapije kada odlučuju između različitih odluka o liječenju. Naprimjer, u slučaju zbijenosti gornje čeljusti, moguće je zatražiti da se prvi plan terapije izradi bez IPR-a kako bi se procijenila konačna proklinacija sjekutića i *overjet*, a zatim odlučiti dodati IPR određenim područjima u drugom planu (14). Ili alternativno, kliničar može zatražiti jednu postavu s IPR-om donje čeljusti, a zatim drugu postavu s ekstrakcijom jednoga mandibularnoga sjekutića kako bi usporedio dvije mogućnosti.

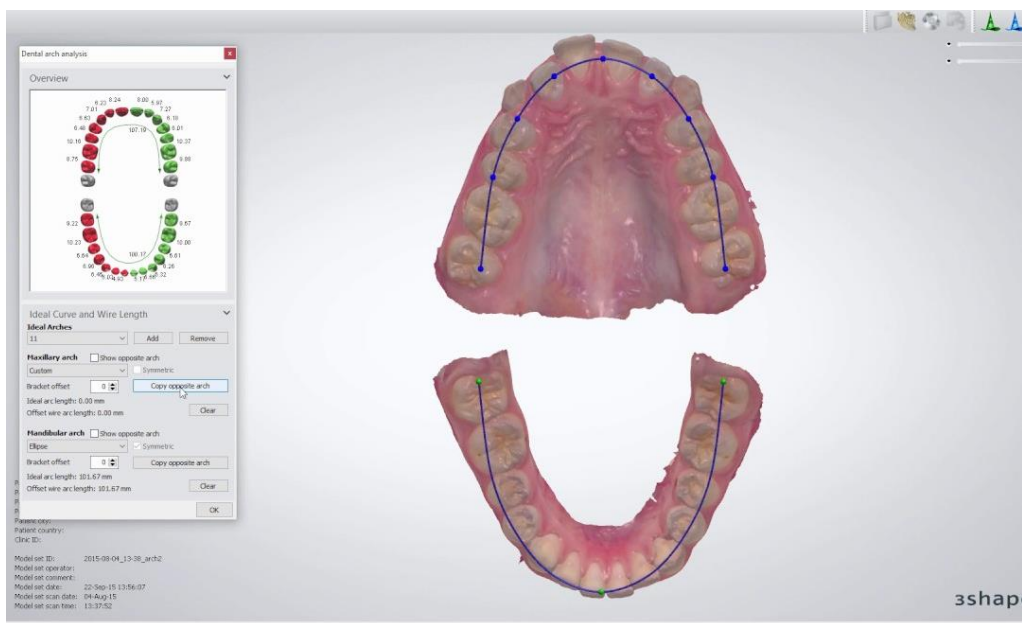
Određena istraživanja pokazala su kako pregledom digitalnih planova terapije dolazi do značajne promjene planova liječenja za 9,2% slučajeva te do djelomične promjene u 14,4% slučajeva (13).

Pregledavanje digitalnih *setupova* povećalo je ukupnu razinu povjerenja praktičara, posebno za zahtjevne slučajeve. Stvaranje digitalnih *setupova* moglo bi biti koristan dodatak procesu planiranja liječenja i moglo bi se rutinski uključivati u budućnosti kako sve više ordinacija usvaja digitalne intraoralne skenere i kako se softver za digitalno postavljanje bude poboljšavao.

Trodimenzionalni dentalni model ortodontu omogućuje da brzo i jednostavno izmjeri vrijednosti koje se inače mjere na sadrenome modelu. Virtualni model služi kao dijagnostičko sredstvo koje uvelike olakšava ortodontu pokazivanje različitih mogućnosti terapije te, shodno tome, i različitih vizualnih ishoda (10). Također, virtualni model osobito je koristan u slučajevima kada je potrebna dodatna suradnja s kolegama iz drugih grana dentalne medicine (7). Nakon analize slučaja i pacijentova pristanka, ortodont kreće s planiranjem terapije. Na digitalnome modelu zubne se krune segmentiraju i, ako je moguće, segmentira se i denticija na CBCT-radiogramima. Zatim se u softveru simulira pomak zuba koji je potreban za korekciju malokluzije i stvara se virtualni *setup*. Taj postupak izrađuje sam ortodont ili dentalni tehničar uz daljnju kontrolu i korekciju ortodonta.

Virtualni *setup* danas je prepoznat kao vrijedno dijagnostičko sredstvo koje se može koristiti za potvrdu, modifikaciju ili potpunu promjenu plana terapije (5). Tradicionalno se *setup* na sadrenim modelima radio tako da su se segmentirane zubne krune pozicionirale voskom. Takav postupak zahtijevao je dubliranje modela i oduzimao je mnogo vremena.

Današnji programi omogućuju stvaranje virtualnoga *setupa* koji se najčešće koristi u zahtjevnijim ortodontskim slučajevima ili slučajevima koji zahtijevaju multidisciplinarni pristup. Prije svega, zubne krune trebaju se segmentirati koristeći određeni softver (slika 5.).



Slika 5. 3shape Ortho analyzer - softver za planiranje ortodontske terapije

Segmentacijska linija većinom se postavlja automatski, ali može se manualno prilagoditi (5). Nakon završene segmentacije zubi se mogu pomicati kako bi se napravio željeni *setup*. Ako je dostupna CBCT-snimka, ona se može sjediniti s virtualnim dentalnim modelom. Dostupnost informacija iz više izvora, tj. postojanje „virtualne glave“ omogućuje procjenu utjecaja zubnih pomaka ili skeletalnih promjena na mekim tkivima.

Prednost korištenja CBCT-a mogućnost je procjene i ispravljanja položaja zubnoga korijena u odnosu na alveolarnu kost. Dodatno se može procijeniti i potreba za ekstrakcijom ili IPR-om, kao i linija osmijeha. Okluzalni kontakti trebaju se provjeriti i po potrebi ispraviti. Postoji i mogućnost korištenja virtualnoga artikulatora za dodatne okluzije i artikulacije.

2.3. Ortodontska terapija – očekivanja pacijenta

Ortodoncija je jedna od stomatoloških grana koja se bavi dijagnosticiranjem i liječenjem bilo kakvih nepravilnosti u položaju zubi, čeljusti i lica, uz njihovu funkciju i izgled. Ortodontski tretman uglavnom uključuje mlade odrasle osobe kojima je potrebna veća komplikacija za dugotrajno liječenje, nego druge vrste stomatoloških liječenja, a pacijent (i/ili roditelji) često su zabrinuti pri donošenju odluka.

Mnoga su istraživanja provedena s ciljem učinka psihosocijalnih čimbenika na ishode liječenja. Kao što se često obavještava: “Ono što pacijenti misle da će se dogoditi, može utjecati na ono što se događa tijekom kliničkoga tijeka.” Očekivanje je važan psihološki čimbenik koji procjenjuje pacijentovo zadovoljstvo kvalitetom liječenja. Obično se osobe s malokluzijama mogu sramiti zbog svoga izgleda zuba i mogu utjecati na njihov društveni život; zbog toga ortodontski tretman poboljšava osobno povjerenje u izgled zuba i lica. Ponekad je potreban multidisciplinarni pristup kako bi se postigli estetski i funkcionalni rezultati tijekom ortodontske terapije. Korištenje specifičnoga protokola koji se može primijeniti na sve stomatološke specijalnosti čini se prikladnim za komuniciranje i očekivanje dosljednih rezultata (16).

Digital Smile Design koji je razvio dr. Christian Coachman (Oral Laboratory Esthetics, Didier i Hélène Crescenzo) esencijalan je višenamjenski digitalni alat (vode ga praktičari zaduženi za estetsku rehabilitaciju) koji pruža pouzdan protokol s jednostavnim uputama na temelju fotografija pacijenta. Postiže se digitalnom obradom na softveru za prezentaciju kliznica. Usvojio je relevantne značajke: podržava dijagnostičke sposobnosti, dogovara planiranje liječenja, poboljšava edukaciju i motivaciju pacijenata te promiče učinkovitost prezentacije slučaja.

Dizajn osmijeha uključuje sljedeće bitne komponente:

1. Komponente zuba uključuju:

- dimenzije zuba
- kontaktnu površinu
- incizalne duljine
- zenitne točke aksijalni nagibi
- područje udubljenja, spol, dob
- osobnost

2. Komponente mekog tkiva uključuju:

- liniju osmijeha
- zdravlje gingive
- sklad
- razinu gingive

Zbog važnosti psiholoških aspekata potrebno je dodatno razmotriti motivaciju pacijenata za ortodontskim liječenjem. Ovom će se studijom implementirati novi aspekt primjene računalno potpomognutoga softvera: korištenje *Digital Smile Designa* tijekom faze planiranja liječenja u svrhu budućih očekivanja za mogući rezultat liječenja. To bi zauzvrat moglo pomoći pacijentima u njihovoj odluci o započinjanju liječenja i učiniti njihova očekivanja realnijima (17).

Ortodonti neprestano traže načine kako pacijentima osigurati što udobniju okolinu, poboljšati učinkovitost prakse i skratiti vrijeme liječenja. Korištenjem digitalne tehnologije, uključujući digitalne skenere te sustave koji prikazuju izgled nakon liječenja, mogu pomoći i pacijentu i ortodontu u ostvarivanju ciljeva.

Postupak kojeg se pacijenti boje, a prethodi samom početku stvarnoga ortodontskoga liječenja jest uzimanje otiska. Mnogi pacijenti strahuju od tradicionalnih otisaka s velikim žlicama i previše napunjenim alginatnim ili PVS materijalom, koji često znaju biti neugodni, posebice za one s izrazitim nagonom na povraćanje. Istraživanja pokazuju kako pacijenti koji su prethodno imali alginatne ili PVS otiske apsolutno favoriziraju i čak hvale upotrebu digitalnoga skenera. Bez sumnje, ovi pacijenti pričaju svojim prijateljima i suradnicima o ordinaciji koja više ne koristi stare, glomazne žlice za otiske (10).

Poboljšanje učinkovitosti ordinacije uključuje sve aspekte ortodontske prakse, uključujući početne konzultacije i prihvaćanje terapije, učinkovite sustave liječenja te točno postavljanje bravica. Današnji su pacijenti prilično svjesni napretka tehnologije, bilo da se radi o najnovijim ažuriranjima za mobitele u njihovim rukama ili o najlakšem načinu za gledanje filmova. Pacijenti su uzbuđeni kada vide naprednu tehnologiju ugrađenu u svoj ortodontski tretman te vole vidjeti svoje dizajnirane osmijehe prikazane u digitalnoj postavci. Također, vole čuti da će manje posjećivati ordinaciju i da će provoditi manje vremena na tretmanu u usporedbi s nedavnom prošlošću.

2.4. Proizvodnja ortodontskih naprava

Od prve ortodontske naprave 1728. godine koji je izumio Pierre Fauchard do sadašnje široke uporabe estetskih *alignera*, ortodoncija je evoluirala kada je riječ o tehnici i materijalima. Neki se događaji mogu istaknuti: Edgewise naprava koju je patentirao Edward Angle, izravno lijepljenje ortodontskih dodataka na caklinu i nedavno korištenje CAD/CAM sustava za dijagnozu, planiranje liječenja i izrada individualnih ortodontskih naprava. CAD/CAM tehnologija omogućuje manipulaciju trodimenzionalnim (3D) slikama računalnim softverom i 3D izradu prilagođenih naprava u različitim materijalima (8).

Cilj primjene ove tehnologije u ortodonciji jest smanjiti vrijeme boravka pacijenta na tretmanu te smanjiti vrijeme same izrade ortodontske naprave, učiniti tretmane bržim, predvidljivijim, estetskim i ugodnijim za pacijente. Čak i uz sve prednosti koje proizlaze iz digitalnoga tijeka rada, ortodonti još uvijek nedovoljno koriste tehnologiju u svojoj praksi, možda zbog nedostatka tehničkoga znanja za njezino uvođenje i njezine visoke cijene.

Pojava CAD/CAM tehnologije smatra se izrazitom evolucijskom prekretnicom u povijesti ortodoncije jer pruža veliku mogućnost korištenja u kliničkoj praksi, s potencijalnim dobrobitima za pacijenta i ortodonta. Nakon pacijentova pristanka na predloženu terapiju, može se krenuti s dizajnom i izborom ortodontske naprave. CAD/CAM postupci omogućuju ortodontu da individualno prilagodi većinu tradicionalno korištenih standardnih ortodontskih naprava.

Računalno potpomognuto projektiranje i računalno potpomognuta proizvodnja (CAD/CAM) bili su u središtu stomatoloških istraživanja od 1980-ih kako bi se smanjila ljudska pogreška u stomatologiji. U početku velik dio stomatološke upotrebe CAD/CAM tehnologije bio je usmjeren na glodanje krunica i fiksnih djelomičnih proteza. Stomatološke primjene CAD/CAM-a proširile su se posljednjih godina te trenutna upotreba CAD/CAM tehnologije u ortodonciji uključuje pomoć za dijagnozu i planiranje liječenja, prilagođene konvencionalne i lingvalne sustave kao i Herbstovu napravu (Slika 6).



Slika 6. Appliance designer - Izrada ortodontskih naprava (preuzeto s internetske stranice <http://sculptcad.com/offer-types/3shape-orthodontic-cad-2/>)

Sveobuhvatni cilj ugradnje CAD/CAM tehnologije u ortodontiju najbolje se može sažeti kao „poboljšanje ponovljivosti, učinkovitosti i kvalitete ortodontskoga liječenja”.

Primjene CAD/CAM-a u ortodontiji nedvojbeno rastu. Nažalost, klinički dokazi koji podupiru primjenu tehnologije nisu zadržali korak s vremenom. Proizvođači prilagođenih ortodontskih naprava tvrde da ti uređaji skraćuju ukupno vrijeme terapije, poboljšavaju učinkovitost i daju bolje ukupne rezultate liječenja. Neka od istraživanja, uspoređujući učinkovitost liječenja konvencionalnim napravama i učinkovitost prilagođenih naprava dizajniranih s pomoću CAD/CAM-a izvještavaju o manjem broju termina i kraćem ukupnom vremenu liječenja u CAD/CAM skupini (18).

Podatci topografije površine zubnih lukova uzetih s pomoću intraoralnoga skenera odgovaraju mreži trianguliranih točaka i obično se spremaju na računalu u datoteci formata *Standard Triangulation Language* (STL). Sustavi snimanja omogućuju korisniku izvoz podataka izravno u ortodontski laboratorij ili pristup datotekama u softveru s posebnim alatima za manipulaciju 3D slikama (6).

Virtualni modeli omogućuju ortodontima brzo dobivanje informacija o dijagnozi: širina luka i opseg, Boltonova analiza, *overjet* i *overbite*, provjeru okluzijskih kontakata. Osim toga, dijagnostički *setupovi* mogu se pokazati i pregledati s pacijentom, kako bi se razgovaralo o različitim mogućnostima liječenja. Specifični softveri za ortodontiju mogu se nabaviti kako bi pomogli pri samom planiranju terapije. Općenito, njima je lako manipulirati, međutim, zahtijevaju odgovarajuću obuku za uključivanje u kliničku praksu.

Sljedeći korak digitalnoga tijeka rada jest 3D ispis snimljenih ili manipuliranih slika. U ortodontiji se više koriste aditivne proizvodne metode ispisa kao što je stereolitografija (SLA) koja učvršćuje tekuće smole ultraljubičastim svjetlom.

Dodatno, dolazi do poboljšanja u interdisciplinarnome planu liječenja zbog mogućnosti integracije različitih 3D tehnologija; na taj se način tomografske slike mogu superponirati u STL datoteku, omogućujući analizu inklinacije korijena, debljine alveolarne kosti i bazalne kosti. Takva integracija omogućuje bolje virtualno planiranje liječenja za ortognatske operacije, impaktirane zube ili situacije vađenja.

Intraoralni skeneri danas se naširoko koriste, a virtualni modeli zamijenili su sadrene modele u većini ortodontskih ordinacija. Snimke prije tretmana sada se mogu pohraniti u oblak (eng. *cloud*). Većina kliničara prenosi digitalne modele željenome pružatelju, bilo da se radi o poznatoj tvrtki ili internom laboratoriju.

Određeni softveri (*OrthoCAD*, *Suresmile*, *OrthoAnalyser*) mogu se koristiti za virtualno postavljanje bravica koje se nalaze u zbirci skeniranih bravica sa standardnim fiksnim ortodontskim napravama. Položaj bravice koji je odabran na virtualnome modelu prenosi se na stvarni zubni niz s pomoću sustava za indirektno lijepljenje bravica. Virtualno postavljanje bravica povećava preciznost lijepljenja bravica te smanjuje potrebu za savijanjem žice i repositioniranjem bravica tijekom tretmana, što bi trebalo smanjiti trajanje terapije i poboljšati njezin konačni ishod. Također postoji mogućnost prilagodbe same baze bravice čime se poboljšava sam dosjed standardne bravice na labijalnu plohu zuba. U suvremenoj ortodontiji dostupne su i individualno izrađene naprave (bravice, baze bravica, molarne tube, prstenovi, transpalatinalni lukovi, naprave za forsirano širenje nepca i dr.). Sustavi za indirektno lijepljenje bravica mogu se proizvesti na dva načina: potpuno digitalno koristeći se 3D printerima ili se

udlage za postavljanje bravica mogu naknadno izraditi na isprintanim digitalnim modelima na kojima se ručno postavljaju bravice preko kojih se zatim izrađuje udlaga.

Za izradu funkcionalnih naprava potrebno je dodatno napraviti konstrukcijski zagriz. Takve funkcionalne naprave proizvode se samo u glodalicama i većinom su manje vidljive te samim time i pacijenti ih više prihvaćaju. One kao takve skraćuju i vrijeme adaptacije i poboljšavaju suradnju i govor pacijenata.

Podjela ortodontskih naprava:

1. Fiksne ortodontske naprave

- CAD/CAM bravice
- digitalno izrađeni prstenovi
- fiksni *retainer*

2. Mobilne ortodontske naprave

- aligneri
- udlage za indirektno lijepljenje bravica
- funkcionalne naprave
- splintovi

2.4.1. Prilagođene mobilne naprave

Aligneri

Najčešća uporaba digitalnoga tijeka u ortodontiji jest pri izradi prozirnih *alignera*. Tradicionalno su se proizvodili na sadrenome modelu tako što su se zubne krune odvajale od modela i repozicionirale u vosku. S procesom digitalne simulacije pomaka terapija je postala brža i praktičnija (1).

Važno je napomenuti da su, za razliku od stvarnih bioloških pomaka zuba, virtualni pomaci neograničeni i često rezultati ne moraju biti realni. Stoga se kliničarima preporučuje dodatno ulaganje u poznavanje biomehanike *alignera*, kako bi razumjeli važnost dodataka za povećanje usidrenosti i učinkovitosti pokreta, kao i potrebu izvođenja pokreta u fazama, pretjerane korekcije ili korištenja pomoćne mehanike.

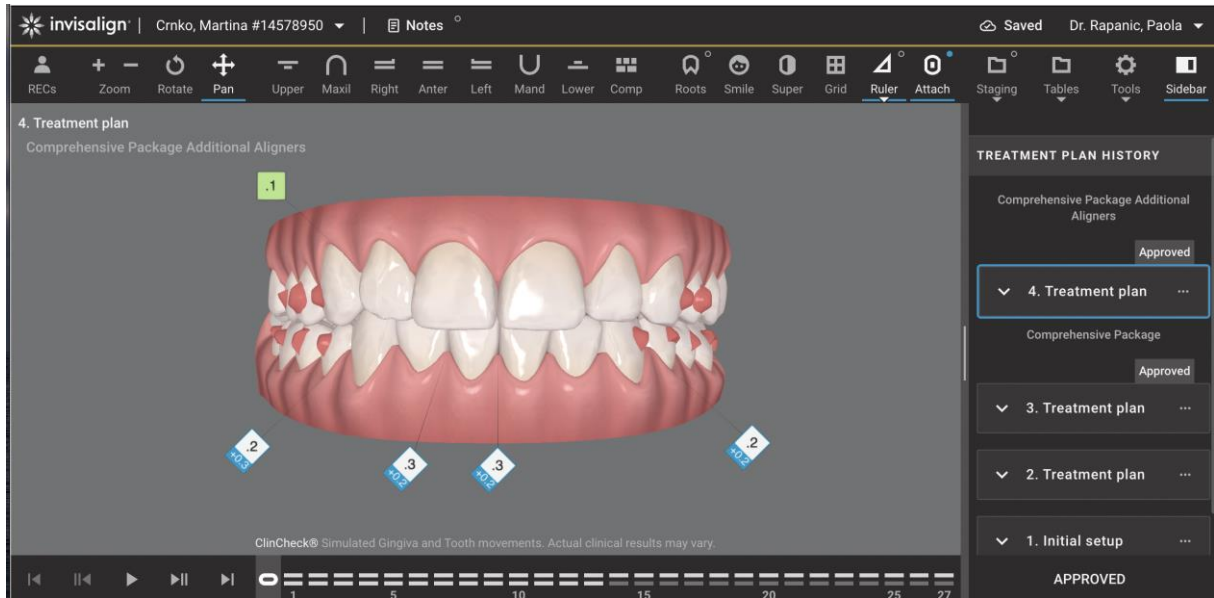
Godine 1997. koncept *Invisaligna* razvio je Align Technology Inc. (Santa Clara, CA, SAD). Koncept je bio dostupan 1999. godine. Koristi niz prozirnih udlaga koje pomiču zube, koje se sastoje od prozirne plastike koja zahvaća bukalne, lingvalne, palatinalne i okluzalne površine zubi (Slika 7). Trajanje nošenja svake udlage jest od 10 do 14 dana. Pomaci zuba su oko 0,25 - 0,35 mm (19).



Slika 7. Izgled *alignera*

Potrebni su otisci od polivinil-siloksana, registracija zagriža u centričnoj okluziji ili sken zuba intraoralnim skenerom, OPG, lateralni kefalogram i fotografije.

S pomoću raznih softvera, ortodonti mogu potpuno promijeniti ili prilagoditi dizajn, plan terapije te izgled naprave koji su tehničari napravili.



Slika 8. ClinCheck plan

PREDNOSTI *ALIGNERA*

1. estetski
2. jednostavan za korištenje
3. ugodan za nošenje
4. bolja oralna higijena
5. nema alergijskih reakcija na metal
6. eliminira postupak lijepljenja
7. procjena mogućnosti liječenja na početku terapije
8. virtualni model – edukacijski alat za pacijenta

NEDOSTATCI *ALIGNERA*

1. ograničena kontrola nad kretanjem korijena
2. lagana intruzija stražnjih mišića (0,25 - 0,5 mm)
3. odsutnost kontrole operatera tijekom tretmana

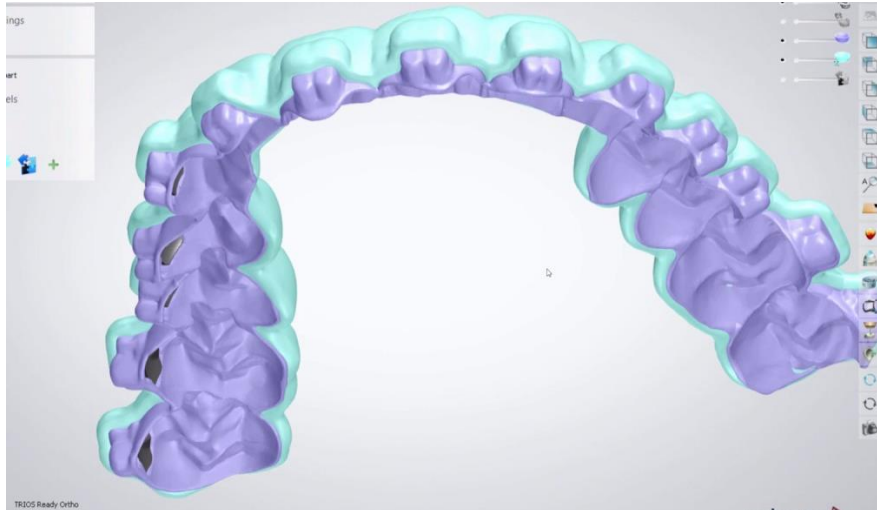
Udlage za indirektno lijepljenje bravica

Virtualni izgled ortodonske naprave može se izvesti u softveru *Ortho AnalyzerTM* (3Shape, Kopenhagen, Danska). U biblioteci softverskoga virtualnoga nosača odaberu se bravice istoga proizvođača koji će se koristiti kod pacijenta. Postavljanje bravica vođeno je preciznim digitalnim mjernim alatima s prikazom zaslona u više kutova, bez slina i mekih tkiva. Stoga je moguće pregledati poravnanje s odabranim položajem bravica. Nakon toga se generira nova STL datoteka, s bravicama pričvršćenim na digitalne modele. Može se poslati na 3D ispis ili se koristi za virtualni dizajn udlaga za spajanje u softveru *Appliance DesignerTM* (3Shape, Kopenhagen, Danska) (23).

Postoje dva glavna puta za proizvodnju udlage za indirektno lijepljenje bravica: oblikovanje pritiskom i izravnim 3D ispisom. STL arhive virtualnih modela s postavljenim bravicama trebaju se poslati na SLA (Stereolithography) ili DLP (Digital Light Processing) pisač. Ove tehnologije ispisa poželjnije su jer je točnost modela vrlo važna za postizanje preciznog prilagođavanja udlage zubima pacijenta. Izrada udlaga radi se na tiskanome modelu smole s bravicama te izvodi se tehnikom oblikovanja dvostrukim pritiskom. Udlaga ima unutarnji fleksibilni materijal koji pokriva bravice i zube te vanjski kruti materijal za vođenje i stabilizaciju.

Laboratorijski postupak sastoji se od termoplastifikacije meke udlage (silikon, Bio-Art) i jednoga milimetra deblje čvrste udlage (acetat; Cristal Bio-Art). Važno je izvršiti prethodnu izolaciju sprejom za podmazivanje (KAVO), prije utiskivanja krute udlage preko meke. Silikonska udlaga izrezana je 3 mm izvan ruba gingivalnoga zuba i treba imati okomite izreze koji će omogućiti glatko uklanjanje udlage nakon lijepljenja ortodonskoga aparata (24).

Drugi način izrade udlage za indirektno lijepljenje bravica izravni je ispis virtualno dizajnirane prilagođene udlage na prozirnem, fleksibilnom i biokompatibilnom materijalu. Ovo je potpuni digitalni radni tijek s računalnim dizajnom i tehnikom proizvodnje za izradu prilagođene udlage s vrlo visokom preciznošću (Slika 9.)



Slika 9. Transfer za indirektno lijepljenje bravica

Klinički postupak jednostavan je, praktičan i učinkovit. Prvo treba provesti profilaksu plovućem, izolirati zube, najetkati ih kiselinom i nanijeti *primer* ili samojetkajući *primer*. Zatim treba nanijeti tanak sloj smole niske viskoznosti (Transbond Supreme™) na bazu bravice te se udlaga može postaviti u pacijentova usta. Nakon uklanjanja viška ljepila potrebno je izvesti prvo svjetlosno polimeriziranje. Zatim, nakon uklanjanja udlage može se provesti još jedno svjetlosno polimeriziranje kako bi se osiguralo bolje prijanjanje. Uklanjanje udlage oblikovane pod pritiskom trebalo bi biti pažljivije i važno je prvo ukloniti tvrdu, stabilizacijsku udlagu pa tek onda meku. Kod printane udlage klinički postupak brži je te postoji i manja vjerojatnost od odljepljivanja bravica tijekom uklanjanja udlaga.

Ostale digitalno izrađene mobilne ortodontske naprave

Funkcionalne naprave mogu se izraditi i iz digitalnih modela. Registracija zagriža bilježi se u korigiranom položaju mandibule. Voštani *mini-jig* postavlja se na sjekutiće za registraciju zagriža u položaju mandibule prema naprijed. Intraoralnim skenerom bilježi se okluzija molara i prekutnjaka, a softver će zatim spojiti gornji i donji luk u zadanom položaju - položaju za preskakanje zagriža (1). Tehničar koristi ovaj položaj za virtualno oblikovanje akrilne strukture prema uputama ortodonta. Registracija zagriža skenerom toliko je precizna da je potrebna mala ili nikakva prilagodba tijekom predaje naprave. Ako su potrebne Adamsove kvačice, labijalni luk ili zadani elementi, u akrilnu strukturu postavljaju se odgovarajuće rupe. Akril se može isprintati s pomoću 3D printera, ali moguće ga je dobiti i glodanjem. Nakon printanja, akril će imati mat završni sloj i mora se polirati da postane proziran (26).

Michigan udlage također se mogu proizvesti s velikom preciznošću. Kliničar može ostaviti ravnu površinu za suprotni luk ili ugraditi udubljenja za povećanje stabilnosti mandibule tijekom kliznih pokreta.

2.4.2. CAD/CAM bravice

Osim preciznoga i prilagođenoga glodanja ortodontskih naprava, primjena 3D tehnologije omogućuje praktičaru i pacijentu korištenje virtualnoga softvera za planiranje liječenja kako bi se bolje identificirali ciljevi slučaja i vizualizirali ishodi liječenja. Liječnici mogu procijeniti različite planove liječenja, uključujući mogućnosti vađenja u odnosu na one bez vađenja ili supstituciju u odnosu na protetski nadomjestak u slučajevima nedostatka zuba. Višestruki ortodontski sustavi sada s uspjehom koriste ovu tehnologiju, uključujući labijalne i lingvalne fiksne aparate kao i uklonjive sustave prozirnih *alignera*. Krajnji cilj uključivanja CAD/CAM tehnologije u područje ortodontije najbolje se može sažeti kao „poboljšanje ponovljivosti, učinkovitosti i kvalitete ortodontskog liječenja”.

Primjene CAD/CAM u ortodontiji nedvojbeno rastu. *Ormco insignia* jedan je od najopsežnijih CAD/CAM ortodontskih naprava na tržištu koji je dostupan u standardnim i samoligirajućim estetskim keramičkim bravicama (Slika 10.). *Insignia* sustav (Ormco, Orange, CA, SAD) koristi prilagođeni slot koji se urezuje u bravicu u željenome položaju. Baza bravice jest standardna, a slotovi se urezuju po želji (27).

Proces započinje otiskom polivinil-siloksana (PVS) ili intraoralnim snimkom pacijentove denticije koji se šalje u *Ormco* za izradu digitalnih modela zubnih lukova. Virtualna bukalno-lingvalna granica konstruirana je iz konture mekoga tkiva intraoralnoga skeniranja. Tehničari zatim dovršavaju virtualno postavljanje za idealan oblik luka i okluziju koja se šalje kliničaru na odobrenje. Softver *Insignia* bio je jedan od prvih na tržištu koji je omogućio liječnicima manipulaciju kako bi precizirali trodimenzionalni položaj pojedinačnih zuba, prilagodili oblik luka, promijenili luk osmijeha kada je to potrebno i detaljizirali zubne kontakte u konačnome središtu okluzija. Nakon što kliničar odobri plan liječenja i virtualne postavke, *Insignia* sustav reverzno se projektira na jedan od nekoliko načina ovisno o liječnikovu izboru bravica. Veličina i dimenzija virtualnoga oblika luka čeljusti precizno se melje u metalne ploče, a žice od nikal-titana, nehrđajućega čelika ili beta-titana izrađuju se od tih ploča. Sljedeći korak *Insignia* sustava precizna je isporuka prilagođenih bravica u idealnome položaju na svakome zubu kako bi se povećala učinkovitost individualizirane naprave. Nosači bravica glodaju kako bi odgovarali okluzalnim površinama zuba, omogućujući neizravno lijepljenje bravica na zub. Ovaj je korak ključan za uspjeh sustava jer neprecizno lijepljenje bravica neće omogućiti

prilagođenoj ravnoj žici da proizvede planirano pomicanje zuba, a šablone za prijenos bravice omogućuju da lijepljenje bravica bude što točnije s pogreškom između 0,1 – 0,5 mm s najvećim pogreškama na nižim sedmicama i visokim očnjacima (20).

Glavna prednost ovoga sustava jest prilagodba slota bravice. Rezanje slota bravice preciznije je od slota koji je stvoren injekcijskim prešanjem. Pomicanje zuba više ne ovisi o položaju bravice, već o položaju slota. Nedostatci uključuju mogućnost pogreške u pozicioniranju nosača, bilo virtualno ili tijekom prijenosa u pacijentova usta. Kako se koristi individualno napravljena bravica, potrebno je naručiti novu ako se ona izgubi.



Slika 10. Insignia - Ormco bravica

2.4.3. Digitalno proizvedene fiksne naprave

Digitalna proizvodnja metalnih prstenova (eng. *band*) glavna je komponenta digitalno proizvedenih naprava u laboratoriju, može se jednostavno dizajnirati tako da se oblikuje na rubove zuba gdje će se postaviti. Dizajniranje većinom traje do pet minuta, ovisno o složenosti strukture. Preporučena debljina jest od 0.6 do 0.7 mm. Traka, odnosno vrpca može se dizajnirati tako da se proteže do susjednih zuba u obliku trake, jastučića ili žice, ovisno o situaciji.

Kada je dizajn dovršen, obično se šalje u centar za lasersko sinteriranje ili lasersko taljenje. Lasersko sinteriranje i lasersko taljenje imaju različite učinke na svojstva metala koja se moraju uzeti u obzir. Naprimjer, laserski sinterirani metal ne smije se savijati; iako je čvrst i otporan, također je krt i sklon lomljenju jer se sastoji od otopljenoga praha. Traka (ili „otok“ ako uključuje više od jednoga zuba) vraća se iz laboratorija s hrapavom površinom koju treba polirati na strani koja je izložena ustima. Također, pjeskari se i unutarnja površina kako bi se poboljšala mikroretencija (28).

Budući da se digitalno izrađeni prstenovi ne protežu između kontaktnih točaka, one eliminiraju potrebu za upotrebom gumenih separatora. Ovo je ključna prednost s obzirom na to da većina pacijenata doživljava separatore kao najbolniji aspekt ortodontskoga liječenja. Digitalno izrađeni prstenovi također predstavljaju uštedu za ordinaciju. Budući da se svaki izrađuje individualno, različite veličine ne moraju se držati na zalihama.

Digitalno izrađeni prstenovi omogućuju manje mehaničkoga zadržavanja hrane od konvencionalnih jer digitalni prstenovi savršeno priliježu uz zubnu strukturu i gingivu. Tehničar bi trebao očistiti ili popuniti sva udubljenja prije crtanja strukture, inače prsten neće pristajati zbog svoje ograničene elastičnosti. Tanki sloj cementa (Transbond Plus** Light Cure Band Adhesive) nanosi se na unutarnju površinu prstena bez potrebe za međuvezivnim sredstvima. Naprava se zatim postavlja na površinu zuba koristeći samo dovoljan pritisak da se istisne višak cementa. Pamučni štapići ili pamučni koluti mogu se koristiti za uklanjanje velikoga viška. Uklanjanje djednostaigitalno proizvedenih prstenova jednostavno je kao i uklanjanje klasičnih ortodontskih prstenova.

Neke vrste naprava koje se mogu digitalno proizvesti svejedno se moraju postaviti na 3D ispisane akrilne modele. Iako ovaj pristup nije toliko ekološki ni potpuno digitalan, potreban je za precizno lemljenje tradicionalnih metalnih komponenti poput aktivnih žica koje je potrebno ručno savijati i laserski rastaliti u dva različita otoka. Za izradu naprave za forsirano širenje nepca (RME - *Rapid maxillary expander*), možda najčešće digitalno proizvedene naprave, digitalno proizvedeni metalni obruči i krakovi moraju se zalemiti za središnji vijak. Proizvodnja digitalnih laboratorijskih aparata ograničena je samo kreativnošću ortodonta i 3D tehničara.

Najčešće su korišteni:

- lingvalni luk
- transpalatalni luk (ako je potpuno digitalno dizajniran, ne može se aktivirati i mora se koristiti pasivno)
- držači mjesta u mješovitoj ili trajnoj denciji
- prilagođeni lingvalni lukovi koji se koriste za ispravljanje navike guranja jezika – infantilno gutanje
- Herbstova naprava
- prilagođene naprave za korekciju anomalija klase III (temeljen na uređaju Carriere Motion†)
- dizajniran sa srednjim jastučićem ili bez srednjega jastučića ovisno o kliničkim potrebama

2.5. RETENCIJA

Retencija je nužna na kraju ortodontske terapije kako bi se izbjegao recidiv. Postoji više oblika retencije i sve imaju svoje prednosti i nedostatke. Budući da je retencija najbolja doživotna, čimbenike koji utječu na suradljivost, uključujući udobnost, govor i higijenu, posebno je važno uzeti u obzir kada je riječ o mobilnoj retencijskoj napravi (29).

„Nevidljivi“ *retaineri* (Essix) koriste se već dugo kao glavne mobilne naprave za retenciju, no i tradicionalni *retaineri* kao što su Hawleyjev i Van der Lindenov *retainer* još su uvijek u upotrebi. *Retaineri* se mogu izraditi na tradicionalan i/ili potpuno digitalan način. Na isprintanim 3D modelima moguće je napraviti i *retainere* na tradicionalan način.

Fiksna retencija najčešće je metoda izbora za stabilizaciju inciziva i očnjaka nakon ortodontske terapije. Najčešće se proizvodi od legure kobalta, kroma i molbidena te se fiksira na oralne plohe zuba, no noviji materijali za proizvodnju fiksnih *retainera* uključuju cirkonske blokove koji se obrađuju CAD/CAM tehnologijom. Kako bi se smanjile pogreške i povećalo djelovanje fiksnih *retainera*, koriste se razni materijali i metode za proizvodnju i njihovo postavljanje (29).

Idealni fiksni *retainer* trebao bi savršeno prianjati uz svaki zub. Kao takav trebao bi sprječavati neželjene pomake zube, ali isto tako i omogućiti fiziološku pomičnost. Održavanje oralne higijene treba biti omogućeno, kao i mogućnost profesionalnoga uklanjanja kamenca.

Upotrebom intraoralnoga skenera te stvaranjem virtualnih modela pred kraj ortodontske terapije omogućeno je precizno dizajniranje, proizvodnja retencijskih žica CAD/CAM tehnologijom, prijenos te pozicioniranje *retainera*. Žica za retenciju dizajnira se na digitalnomu dentalnomu modelu. Kako bi se izbjegli okluzalni kontakti *retainera* postavljenog u gornjoj čeljusti s incizalnim bridovima donjih inciziva, moguće je prije same izrade provjeriti okluzalni kontakt između gornjega i donjega zubnoga luka te prilagoditi fiksni *retainer*. Simuliranje kretnji mandibule s pomoću virtualnoga artikulatora prevenira nastanak interferencija *retainera* i zubi (30).

Bitno je isporučiti *retainere* istoga dana ili najkasnije sljedeći dan za optimalno pristajanje i zadržavanje postignutoga rezultata. Skeniranjem odmah nakon skidanja bravica mogu se isprintati lukovi za tehniku tlačnoga oblikovanja unutar 3-4 sata. To u principu nije brže od klasičnoga alginatnoga otiska, izlivanja i postavljanja, ali oduzima manje vremena osoblju i ugodnije je za pacijenta. Dodatna prednost jest u tome što 3D model ima veću čvrstoću i nema rizika od lomljenja incizalnih rubova tehnikom oblikovanja pritiskom. Komercijalno dostupan softver može ukloniti bravice s virtualnih modela tako da je zapravo moguće izvršiti skeniranje zubnih lukova pacijenata (po mogućnosti bez žice na mjestu) i digitalno ukloniti bravice te proizvesti retencijske uređaje tako da budu spremni na dan uklanjanja.

Kada su potrebni fiksni *retaineri*, skeniraju se prednji zubi dvaju lukova na pacijentovu pretposljednem pregledu čiji se sken šalje u laboratorij za proizvodnju visokopreciznih fiksnih žica za retenciju. *Memotain* žice strojno su izrezane čime se osigurava da je žica u jednoj ravnini dimenzija 0,4 mm × 0,4 mm (0,0165" × 0,0165"). Žice se isporučuju na vrijeme za termin *debondinga* i mogu se postaviti dok je fiksni aparat još na mjestu u slučajevima kada se pokušava spriječiti i najmanji recidiv npr. dijasteme. U slučaju preosjetljivosti na nikal i krom, CAD/CAM tehnologija omogućuje proizvodnju fiksnih *retainera* od cirkonskih blokova koji su se zbog svoje biokompatibilnosti i visokih mehaničkih svojstava pokazali sigurnom alternativom klasičnim žičanim *retainerima* (31).

Prednosti su CAD/CAM izrađenih *retainera*:

- bolji dosjed
- optimalan prijenos *retainera* na željeni položaj na denticiji
- veća komfornost za pacijenta
- lako održavanje oralne higijene
- smanjena opasnost od puknuća žice – loma (žica se ne savija)
- smanjenje interference između zuba i *retainera*

3. RASPRAVA

Ljudi trebaju postati svjesni mogućnosti implementacije proizvodnje laboratorijskih uređaja u digitalne tijekom rada. Na otprilike isti način na koji se neki ortodonti sada predstavljaju kao dizajneri digitalnoga osmijeha, ortodontski tehničar uskoro će evoluirati u dizajnera laboratorijski proizvedenih naprava. Utjecaj tehnologije u laboratoriju bit će razoran. Za obavljanje iste količine posla može biti potrebno manje ljudi jer stručni tehničar može dizajnirati digitalni prsten za pet minuta ili manje. S druge strane, profesija bez sadre i fizičkih modela proizvodit će manje onečišćenja i time će imati pozitivan utjecaj na okoliš.

Zamjena tradicionalnoga uzimanja otiska intraoralnim skeniranjem predstavlja promjenu paradigme. Izravno snimanje topografije površine zubnih lukova otkriva virtualni svemir mogućnosti i prednosti za kliničku ortodonciju. Konvencionalno lijevanje ovisi o izvođaču i postoji nekoliko osjetljivih koraka koji mogu pridonijeti smanjenju točnosti odljeva. Osim toga, to je postupak koji može dovesti do pacijentove tjeskobe i nelagode. Intraoralno skeniranje, s druge strane, zahtijeva manje ponavljanja, kraće vrijeme koje pacijenti provode u ordinaciji, veću udobnost pacijenta i ima vrlo visoku digitalnu preciznost.

Važno je istaknuti da intraoralni skener snima slike projekcijom izvora laserskoga svjetla ili strukturiranoga svjetla bez interakcije s biološkim tkivima. Tehnologija koju koristi senzor za dobivanje slike određuje brzinu, razlučivost i točnost skenera (7, 8). Ovi uređaji predstavljaju poseban softver koji obrađuje podatke i proizvodi 3D virtualnu sliku zubnih lukova.

Uključivanje intraoralnoga skeniranja u kliničku praksu zahtijeva početno ulaganje u tehnologiju i znanje (10). Pri odabiru opreme treba uzeti u obzir elemente kao što su potreba za zamučivanjem površine, brzina i točnost skeniranja, veličina vrha kamere i mogućnost sterilizacije te sposobnost proizvodnje slika u boji. Osim toga, neki su sustavi zatvoreni, stoga ne dopuštaju besplatno sučelje s CAD-softverom te mogu predstavljati dodatne troškove nadogradnje.

Od iznimne je važnosti uzeti u obzir relevantne karakteristike opreme kao što su otvoreni sustav bez troškova nadogradnje, dimenzije i potreba za računalom. Međutim, nije potrebno imati vlastiti skener jer se ova usluga može angažirati izvana.

Uvođenje digitalizacije u dentalnu medicinu time i u ortodonciju uvelike smanjuje mogućnosti nastanka pogrešaka koje su najčešće posljedica ljudskoga faktora omogućujući veću brzinu, točnost, preciznost u svim dijelovima terapije. Od uzimanja otiska intraoralnim skenerom do stvaranja virtualnoga modela na kojem se može izraditi cijeli plan terapije.

S vremenom će se moći koristiti i uređaji koji će bilježiti trodimenzionalnu analizu kretnji temporomandibularnoga zgloba. Sve navedene mogućnosti i uređaji liječnicima pomažu u dijagnostici te dopuštaju stvaranje virtualnoga pacijenta. Novi program i softveri omogućuju, osim same simulacije terapije, i poluautomatsku analizu razmaka zuba, veličine zuba, *overbitea*, *overjeta*, oblika i širine lukova itd. Nakon virtualno isplanirane terapije na digitalnome modelu, pacijent može vidjeti krajnji izgled zuba nakon završetka ortodonske terapije kao i njezinu simulaciju. Digitalizacija je uvelike pridonijela većoj kooperativnosti pacijenta u terapiji te boljoj i lakšoj komunikaciji. Također, ovakav način rada pokazao se osobito korisnim kod pacijenata koji su nesigurni pri izboru i provedbi terapije.

4. ZAKLJUČAK

Cilj je razviti sustav za izradu ortodontskih naprava koji će biti brz, jednostavan za korištenje, isplativ i pouzdan. Značajan napredak u digitalizaciji ortodoncije dogodio se u velikoj mjeri posljednjih desetljeća zbog inkorporiranja CAD/CAM tehnologije, dizajna i izrade ortodontskih aparata.

Klinički su dokazi koji podupiru učinkovitost i djelotvornost ovih uređaja različiti, a nijedan sustav nije jasno bolji. Potrebna su daljnja istraživanja prednosti i nedostataka dostupnih CAD/CAM ortodontskih aparata kako bi se bolje razumjela tehnologija i način na koji bi se ona trebala najbolje iskoristiti.

U digitalnoj ortodonciji postoji velik neiskorišten potencijal. Način na koji prosječni liječnik koristi skener analogan je korištenju pametnoga telefona s nekoliko osnovnih aplikacija. Kao ortodonti moramo istražiti sve svoje mogućnosti prilagođenih usluga i odrediti koje će najbolje funkcionirati za naše ordinacije. Gubitak je resursa posjedovati skener, a ne koristiti ga za svaki korak ortodontske terapije od interceptivnoga tretmana do retencije.

5. LITERATURA

1. Cunha TMAD, Barbosa IDS, Palma KK. Orthodontic digital workflow: devices and clinical applications. *Dental Press J Orthod.* 2021;26(6).
2. Vandenberghe B. The digital patient – Imaging science in dentistry. *J Dent.* 2018;74:21–826.
3. Verstreken K, Van Cleynenbreugel J, Marchal G, Naert I, Suetens P, van Steenberghe D. Computer-assisted planning of oral implant surgery: a three-dimensional approach. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1996;11(6):806–10.
4. Esquivel CC, Escamilla VJ. Digital workflow in orthodontics: future or present?. *Rev Mex Ortodon.* 2020;8(1):6-8.
5. Maras D. Digitalni virtualni setup u ortodonciji [Internet]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet; 2018 [pristupljeno 01.09.2022.]. Dostupno na: <https://repositorij.sfzg.unizg.hr/islandora/object/sfzg%3A523/datastream/PDF/view>
6. Christensen L. Digital workflows in contemporary orthodontics. *APOS Trends in Orthodontics.* 2017;7(1):12.
7. Chow KC. Digital workflow in orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46:12–3.
8. Breuning KH, Kau CH, ur. *Digital Planning and Custom Orthodontic Treatment.* Wiley;2017.138p.
9. Nathasha MM, Chakravarthi NCS, Srinivasan D, et al.. Orthodontics in the era of digital innovation – a review. *J Evolution Med Dent Sci* 2021;10(28):2114-22.
10. Aragón ML, Pontes LF, Bichara LM, Flores-Mir C, Normando D. Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: A systematic review. *Eur. J. Orthod.* 2016;38:429–34.

11. Brown, G.B.; Currier, G.F.; Kadioglu, O.; Kierl, J.P. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 2018;154:733–9.
12. Maal TJJ, van Loon B, Plooi J, Rangel F, Ettema AM, Borstlap WA, et al. Registration of 3-dimensional facial photographs for clinical use. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(10):2391–401.
13. Hou D, Capote R, Bayirli B, Chan DCN, Huang G. The effect of digital diagnostic setups on orthodontic treatment planning. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 2020;157(4):542-9.
14. Im J, Cha J-Y, Lee K-J, Yu H-S, Hwang C-J. Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2014 Apr;145(4):434–42.
15. Zimmermann M, Mehl A. Virtual smile design systems: a current review. *Int J Comput Dent.* 2015;18(4):303–17.
16. Hou D, Capote R, Bayirli B, Chan DCN, Huang G. The effect of digital diagnostic setups on orthodontic treatment planning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;157(4):542-9.
17. Yao J, Li DD, Yang YQ, McGrath CP, Mattheos N. What are patients' expectations of orthodontic treatment: a systematic review. *BMC Oral Health.* 2016;17(16):19.
18. Charavet C, Bernard JC, Gaillard C, Le Gall M. Benefits of Digital Smile Design (DSD) in the conception of a complex orthodontic treatment plan: A case report-proof of concept. *Int Orthod.* 2019;17(3):573-9.
19. Brown MW, Koroluk L, Ko CC, Zhang K, Chen M, Nguyen T. Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;148(6):1067-74.

20. Melkos AB. Advances in digital technology and orthodontics: a reference to the Invisalign method. *Medical Science Monitor : International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2005;11(5):I39-42.
21. Nathasha MM, Chakravarthi NCS, Srinivasan D, et al.. Orthodontics in the era of digital innovation – a review. *J Evolution Med Dent Sci* 2021;10(28):2114-21.
22. Tamer İ, Öztaş E, Marşan G. Orthodontic Treatment with Clear Aligners and The Scientific Reality Behind Their Marketing: A Literature Review. *Turk J Orthod*. 2019;32(4):241-6.
23. Koenig N, Choi J, McCray J, Hayes A, Schneider P, Kim KB. Comparison of dimensional accuracy between direct-printed and thermoformed aligners. *Korean J Orthod* 2022;52:249-57.
24. Hegele J, Seitz L, Claussen C, *et al.*. Clinical effects with customized brackets and CAD/CAM technology: a prospective controlled study. *Prog Orthod*. 2021; 40(22).
25. El Nigoumi A. Assessing the accuracy of indirect bonding with 3D scanning technology. *J Clin Orthod*. 2016;50:613-9.
26. Jungbauer R, Breunig J, Schmid A, Hufner M, Kerberger R, Rauch N, Proff P, Drescher, D, Becker K. Transfer Accuracy of Two 3D Printed Trays for Indirect Bracket Bonding—An In Vitro Pilot Study. *Appl Sci*. 2021;11:6013.
27. Huanca Ghislazoni LT, Negrini S. Digital Lab Appliances: The Time Has Come. *JCO* 2020;9:562.
28. Jyosthna A, Xavier Dhayananth L, Evan A Clement, Piradhiba R, Navaneetha Nambi, A Review—CAD/CAM in Orthodontics, *J Res Med Dent Sci*. 2022;10(2):253-7.
29. Spitz A, Frazao Gribel B, Marassi C. CAD/CAM Technology for Digital Indirect Bonding. *JCO*. 2018;2(11):621-8.

30. Retrouvey JM, Kader E, Caron E, Tamimi F, Light N. Printing Orthodontic Retainers Using CAD/CAM Technology. 2013.

31. Zreaqat M, Hassan R, Hanoun AF. A CAD/CAM Zirconium bar as a bonded mandibular fixed retainer: a novel approach with two-year follow up. Case Rep Dent [Internet]. 2017 [pristupljeno 10.10.2022]. Dostupno na: <https://www.hindawi.com/journals/crid/2017/1583403/>

6. ŽIVOTOPIS

Paola Rapanić rođena je 9. ožujka 1994. godine u Zadru. Osnovnu školu pohađa u Splitu te nakon završetka osnovnoškolskoga obrazovanja upisuje V. gimnaziju „Vladimir Nazor“ u Splitu. Godine 2012. upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu na kojemu diplomira 2018. godine na temu *Usporedba recipročne i rotacijske obrade korijenskog kanala* te stječe stručno zvanje doktora dentalne medicine. Nakon stjecanja odobrenja za samostalni rad počinje raditi u privatnoj ordinaciji dentalne medicine – Poliklinka Petković u kojoj radi i danas. Po završetku studija upisuje poslijediplomski specijalistički studij – dentalna medicina.