



**TURUN
YLIOPISTO**

CAD/CAM-tekniikassa käytettävät yhdistelmämuovi- ja hybridimateriaalit

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Laatija:

Eva Rekola

Ohjaaja:

Prof. Timo Närhi

3.5.2023

Turku

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.



**TURUN
YLIOPISTO**

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Oppiaine: Protetiikka ja purentafysiologia

Tekijä: Eva Rekola

Otsikko: CAD/CAM-tekniikassa käytettävät yhdistelmämuovi- ja hybridimateriaalit

Ohjaaja: Prof. Timo Närhi

Sivumäärä: 24 sivua

Päivämäärä: 3.5.2023

Tiivistelmä

Tämä syventävien opintojen työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, joka käsittelee CAD/CAM-tekniikkaa hammasprotetiikassa ja siinä käytettäviä keraamisia materiaaleja sekä hybridi- ja yhdistelmämuovimateriaaleja.

Kirjallisuuskatsauksen aineistona käytettiin PubMed -tietokannan artikkeleita. Tiedonhaussa hakusanana olivat ”ceramic dental materials”, ”CAD/CAM hybrid materials” ja ”CAD/CAM composites”.

CAD/CAM-tekniikka on todettu käyttäjä- ja potilasystävälliseksi, monipuoliseksi ja tehokkaaksi tavaksi valmistaa hammasproteettisia rakenteita. Kiinnostus CAD/CAM-tekniikkaan on lisännyt materiaalivalikoiman monipuolisuutta. Tekniikkaan soveltuvia materiaaliblokkeja on markkinoilla toistakymmentä, mutta mikään näistä ei ole ominaisuuksiltaan täysin yleispätevä. Kliinikon on tärkeää tuntea käyttämänsä materiaalin ominaisuudet, sen edut ja haitat sekä käsittelytapa. Proteettisen työn onnistuminen riippuu materiaalivalinnan lisäksi useista tekijöistä kuten suunnittelusta, potilaan purennasta ja sementoinnista. Osasta materiaaleja on vielä vain vähäistä näyttöä ja kliinistä kokemusta.

Avainsanat: CAD/CAM, hammasprotetiikka, epäsuorat täytteet, hammaslääketieteen materiaalit

SISÄLLYS

1 Johdanto

2 Epäsuorat täytteet

2.1 Epäsuorien täytteiden indikaatiot

2.2 Epäsuorien täytteiden valmistus

3 CAD/CAM-tekniikka

3.1 CAD/CAM-tekniikka hammaslääketieteessä

3.2 CAD/CAM-työkulku

3.2.1 Skannaus ja suunnittelu

3.2.2 Materiaalin työstäminen

3.2.2.1 Jyrsintä

3.2.2.2 Tulostus

4 Keraamiset CAD/CAM-materiaalit

4.1 Lasikeraamit

4.2 Oksidikeraamit

5 CAD/CAM-yhdistelmämuovit ja -hybridimateriaalit

5.1 Rakenne ja ominaisuudet

5.1.1 CAD/CAM-yhdistelmämuovit

5.1.2 CAD/CAM-hybridimateriaalit

5.2 Edut ja haitat

5.3 Käsittely

6 Pohdinta

Lähteet

1 Johdanto

Hammaslääketieteessä proteettisia rakenteita ovat hammaskruunut ja -sillat, laminaatit, irrotettavat osaproteesit sekä erilaiset suun ulkopuolella tehtävät täytteet. Hammasprotetiikalla tarkoitetaan kaikkea purennan kuntouttamista ja siihen liittyvää menetettyjen hampaiden tai hammaskudoksen korvaamista erilaisten proteettisten rakenteiden avulla. Nykyaikaisessa hammasprotetiikassa tietokoneavusteisen suunnittelun (computer-aided design, CAD) ja tietokoneavusteisen valmistuksen (computer-aided manufacturing, CAM) rooli on kasvanut jatkuvasti ja menetelmien helppokäyttöisyys on mahdollistanut monenlaiset uudet hoitokonseptit hammaslääkärien vastaanotoilla.

CAD/CAM-työssä, esimerkiksi yksittäisen hammaskruunun valmistuksessa on kolme vaihetta: ensimmäisenä hampaan preparointi ja jäljentäminen intraoraaliskannerilla tai suukameralla, seuraavaksi kruunun suunnittelu digitaalisella ohjelmistolla ja lopulta kruunun valmistus jyrsimällä tai tulostamalla. (Marchesi et al. 2021.)

CAD/CAM-materiaalien valikoima on jatkuvasti kehittyvä ja kasvava kenttä, ja klinikon onkin tärkeää tietää, millaista materiaalia milloinkin voidaan käyttää. Materiaaleilta toivottuja ominaisuuksia ovat esteettisyys, kudostävyllisyys sekä pitkäikäisyys. Niiden halutaan vastaavan sekä hammaslääkäreiden että potilaiden korkeisiin odotuksiin. Mikään materiaalin ominaisuus ei voi suoraan ennustaa sen kliinistä menestystä tai epäonnistumista, mutta tietyt parametrit kuten taivutuslujuus, taivutuskerroin ja kimmomoduuli antavat käsityksen osviittaa käyttäytymisestä rasituksen alaisena.

Oikean materiaalin valinta indikaation sekä esteettisten ja toiminnallisten tarpeiden perusteella on tärkeää työn onnistumisen ja pitkäaikaisennusteen kannalta. Useat kliiniset tutkimukset ovat osoittaneet erittäin korkeita pitkän ajan onnistumisprosentteja CAD/CAM-tekniikalla tehdyille proteettisille töille. (Blatz & Conejo 2019.)

2 Epäsuorat täytteet

Hampaan korjaavassa hoidossa voidaan käyttää kahta menetelmää: suoraa ja epäsuoraa tekniikkaa. Suoran tekniikan täytteissä paikkausmateriaali, usein yhdistelmämuovi, asetetaan suoraan hammaslääkäriin hampaaseen preparoimaan kaviteettiin. Toimenpiteen suurin etu on se, että potilaan omaa hammaskudosta menetetään mahdollisimman vähän, mikä on tärkeä osa modernia minimaalisesti invasiivista korjaavaa hoitoa. Lisäksi suoralla tekniikalla tehtävän täytteen valmistus onnistuu usein suhteellisen alhaisin kustannuksin vain yhdellä hoitokäynnillä. (Angeletaki et al. 2016.)

Suoran tekniikan haittana on paikka-aineena yleisesti käytettävän yhdistelmämuovin kovettumiskutistuminen sekä sen heikko kulutuskestävyys etenkin molaarialueella. Muita haittoja ovat yhdistelmämuovin kuluminen, karheus ja värjäytyminen. Lisäksi toimenpiteen jälkeinen hampaan oireilu, sekundaarikaries, hampaan kusprien murtumat ja menetelmän tekniikkasensitiivisyys ovat suoran tekniikan yhteydessä ilmeneviä ongelmia. (Angeletaki et al. 2016, Azeem & Sureshbabu 2018.)

Epäsuorassa tekniikassa restauraatio valmistetaan suun ulkopuolella, mikä vaatii hampaan preparoinnin jälkeen jäljennöksen ottamista preparoidusta hampaasta. Tämän jälkeen suun ulkopuolella valmistettu täyte kiinnitetään kiinnityssementillä muotoiltuun kaviteettiin. Epäsuoraa tekniikkaa käytettäessä voidaan välttyä useilta suoran tekniikan haittapuolilta kuten paikka-aineen kovettumiskutistumalta. Lisäksi epäsuora tekniikka mahdollistaa ihanteellisen hammasmorfologian ja kontaktin muodostamisen viereisiin hampaisiin. Epäsuora tekniikka myös mahdollistaa suoraan tekniikkaan verrattuna purentarasitusta paremmin kestävien materiaalien käytön. Tekniikka on kuitenkin aikaa vievämpi, sillä se vaatii yleensä useita hoitokäyntejä ja on kustannuksiltaan suoran tekniikan restauraatiota arvokkaampi, mikä saattaa rajata sen potilaan toiveiden ulkopuolelle. (Duquia et al. 2006, Angeletaki et al. 2016.)

Epäsuorat täytteet voidaan luokitella inlay -täytteisiin, jotka eivät kata kuspeja, onlay -täytteisiin, jotka kattavat ainakin yhden kusprien sekä ja overlay -täytteisiin, jotka kattavat kaikki kuspit (Morimoto et al. 2016).

2.1 Epäsuorien täytteiden indikaatiot

Hampaan korjaavaan hoitoon voidaan päätyä useasta eri syystä. Kaikista tapauksista 90 %:ssa syynä on hammaskaries, mutta myös useat muut syyt kuten eroosio, hampaiden kuluminen ja lohkeamat aiheuttavat hammaskudoksen menetystä. Abraasio tarkoittaa hampaan kulumista, jonka aiheuttaa jokin muu materiaali, esimerkiksi liian kova harjaus hammasharjalla. Attritio puolestaan on hampaan kulumista hammas-hammas-kontaktin seurauksena ja eroosio hampaan kovakudoksen liukenemista ei-mikrobiperäisten happojen takia. Abfraktion (engl. *noncariious cervical lesion*) tausta on monitekijäinen, tyypillisesti niihin liittyy sekä abraasiota että eroosiota ja purennan aiheuttamia mikrofraktuuroja. Nämä ongelmat voivat aiheuttaa potilaalle kipua, pulpavaurioita, sekundaarikariesta sekä purennallisia ongelmia kuten vastapurijan ylipuhkeamisen tai purentainterferenssien muodostumisen. (Bustamante-Hernández et al. 2020.)

Korjaavan hoidon toimenpiteet ovat edelleen yleisin toimenpide hammaslääkärin vastaanotolla. Suomessa tehdään vuosittain yli 3 miljoona paikkaushoitotoimenpidettä, mikä tarkoittaa, että hammaslääkäreiden työajasta on noin 30–50 % kuluu hampaiden paikkaukseen. Korjaavassa hammashoidossa yleisin tapa restauroida hammas on suora tekniikka. Suun ulkopuolella valmistettava epäsuora täyte tulee yleensä kyseeseen silloin, kun korjataan kolmelle tai useammalle pinnalle ulottuvaa vauriota etenkin molaarialueella. Suosituksen mukaan tällöin tulisi käyttää jotain muuta materiaalia kuin yhdistelmämuovia, etenkin, jos kyseessä on juurihoidettu hammas tai esteettisesti tärkeä alue. (Hampaan paikkaushoito. Käypä hoito -suositus 2018.)

2.2 Epäsuorien täytteiden valmistus

Epäsuoria täytteitä voidaan valmistaa perinteisillä menetelmillä hammaslaboratoriossa käsityönä kerrostamalla materiaaleja tai digitaalisesti CAD/CAM-tekniikalla, jota pystytään käyttämään sekä hammaslääkärin vastaanotolla että hammaslaboratoriossa. Nykyään käsityön määrä on vähentynyt tietokoneavusteisen suunnittelun suosion kasvaessa. Tässä työssä keskitytään CAD/CAM-tekniikkaan epäsuorien täytteiden valmistuksessa.

3 CAD/CAM-tekniikka

3.1 CAD/CAM-tekniikka hammaslääketieteessä

CAD (computer-aided design) eli tietokoneavusteinen suunnittelu ja CAM (computer-aided manufacturing) eli tietokoneavusteinen valmistus, lyhyemmin CAD/CAM-tekniikka kehitettiin alun perin 1960-luvulla lentokone- ja autoteollisuuden sovelluksiin. Hammaslääketieteessä se otettiin käyttöön ensimmäisen kerran kymmenen vuotta myöhemmin, kun ranskalainen tohtori Francois Duret esitteli sen vuonna 1971. (Davidowitz & Kotick 2011.)

CAD/CAM-tekniikkaa on kunnolla hyödynnetty 1980-luvulta lähtien inlay- ja onlay-täytteiden, laminaattien, kruunujen sekä implanttikruunujen valmistuksessa. Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics eli CEREC, joka tuli markkinoille vuonna 1987, oli ensimmäinen tuotemerkki hammaslääkärien vastaanotoilla. (Ahlholm et al. 2016.) Oli vallankumouksellista, että kyseisellä järjestelmällä pystyttiin optisen jäljennöksen perusteella valmistamaan keraamisia restauraatioita hammaslääkärien vastaanotoilla yhden päivän aikana (Blatz & Conejo 2019).

Nykyisin CAD/CAM-tekniikalla pystytään valmistamaan myös irrotettavia proteeseja sekä implanttien abutmentteja. Protetiikan lisäksi toinen käyttöalue on oikomishoito, jossa CAD/CAM-tekniikalla valmistetaan kirkkaita, irrotettavia oikomiskalvoja (esim. Invisalign, Align Technology, Inc, Santa Clara, CA, USA). (Davidowitz & Kotick 2011.) Nykyisin tärkeimmät hammaslääketieteen CAD/CAM-järjestelmät, esimerkiksi PlanScan (Planmeca, Suomi) ja CEREC (Dentsply-Sirona, USA) käyttävät täysin digitaalista työkalua (Marchesi et al. 2021).

3.2 CAD/CAM-työkalu

CAD/CAM työkalussa valmistusprosessiin kuuluvat hampaan preparointi, preparoidun hampaan tai koko hampaiston skannaus, proteettisen rakenteen suunnittelu digitaalisesti sekä täytteen jyrsiminen tai tulostus. Viimeinen vaihe voi tapahtua joko hammaslaboratoriossa, tuotantokeskuksessa tai hammaslääkärien vastaanotolla, jolloin puhutaan niin sanotusta tuolinviesmenetelmästä. (de Paula Silveira et al. 2017.) Hammaslääketieteessä CAD/CAM-tekniikka on jatkuvasti kasvattanut suosiotaan käyttäjä- sekä potilasystävällisyytensä ansiosta. Intraoraaliskannerit ja hammaslaboratoriossa tai vastaanotolla tapahtuva jyrsiminen mahdollistavat erityyppisten restauraatioiden valmistuksen kustannustehokkaasti. (Lauvahutanon et al. 2014.)

Hammashoidossa käytettävä CAD/CAM-järjestelmä koostuu intraoraaliskannerista, skannattua dataa prosessoivasta ohjelmistosta ja valmistusjärjestelmästä, joka muuttaa dataa lopullisiksi restauraatioiksi tai proteeseiksi. Digitaalinen tiedosto voidaan myös ladata pilvipalvelimeen, joka mahdollistaa nopean ja helpon kommunikoinnin hammasteknikon kanssa. (Sulaiman 2020.)

Suunnittelutyö tehdään tietokoneella ja tiedot lähetetään jyrsintälaitteelle. Lopulta restauraatio kiinnitetään tavanomaisella adhesiivitekniikalla. (Davidowitz & Kotick 2011.)

Jotkut CAD/CAM-materiaaleista vaativat lisäkäsittelyä jyrsinnän jälkeen, mikä edellyttää erikoislaitteita esimerkiksi polttoa tai lasitusta varten. Kaikki materiaalit eivät kuitenkaan niitä tarvitse, vaan ne voidaan viimeistellä helposti hammaslääkärin vastaanotolla. (Awada & Nathanson 2014.)

Tällä hetkellä yleisin valmistusmenetelmä on jyrsintä, mutta additiiviset teknologiat kuten 3D-tulostaminen ovat tulossa yhä suosittumaksi. Parempien tulostimien ja materiaalien kehitys avaa tulevaisuudessa enemmän mahdollisuuksia teknologian hyödyntämiselle myös hammaslääketieteessä. Materiaalivaihtoehdot vaihtelevat yhdistelmämuoveista ja polymetyylimeta-akrylaateista (PMMA) piioksidipohjaisiin ja lujiin keraameihin kuten zirkoniaan.

Hammasta preparoidessa tulee ottaa huomioon valitun materiaalin vaatima tilan tarve. Hionnan muotojen tulee olla sisäpinnoilta pyörästetyt. Marginaalisilta osilta suositeltavin hiontatyyppi on pyörästetty olkapäähionta. Liian vähäinen materiaalille jätetty tila voi johtaa rakenteen murtumiseen. Preparoinnin laadulla on suora yhteys lopullisen proteettisen rakenteen saumatiiviyteen. Kun koko prosessi tapahtuu hammaslääkärin vastaanotolla, puhutaan niin sanotusta tuolinviersmenetelmästä. Tällöin myöskään väliaikaisia rakenteita ei tarvita, sillä lopullinen restauraatio valmistetaan ja kiinnitetään vain yhdellä käyntikerralla. (Blatz & Conejo 2019.)

3.2.1 Skannaus ja suunnittelu

Ensimmäinen osa CAD/CAM-työkulkua on potilaan hampaiston skannaus suuskannerilla, joka muuttaa suuontelon anatomisista rakenteista saadun kuvan digitaaliseksi, kolmiulotteiseksi malliksi (Suese 2020). Yksittäisissä restauraatioissa tai 3–4 yksikön silloissa optisen jäljennöksen tarkkuus on riittävä, mutta perinteinen jäljennös menetelmä näyttää edelleen olevan paras ratkaisu laajemmille proteettisille töille (Mangano et al. 2017).

Muiden kolmiulotteisten (3D) skannerien tapaan intraoraaliskannerit projisoivat valonlähteen (laser tai strukturoitu valo) skannattavaan kohteeseen, tässä tapauksessa hammaskaariin (Mangano et al. 2017). Optisessa jäljennöksessä saadaan kolmiulotteista tietoa esimerkiksi hampaiden ja ikenien pintojen muodosta, vastapurijasta ja purennasta (Suese 2020). Kuvausanturilla otetut kuvat hampaista ja ympäröivistä kudoksista käsitellään skannausohjelmistolla, jonka tuottamista datapisteistä 3D-malli muodostuu. Tämä digitaalinen työmalli toimii vaihtoehtona perinteiselle kipsimallille. (Mangano et al. 2017.)

Mahdollisuus tallentaa suoraan kaikki potilaan hampaiston tiedot ilman tavanomaisia fyysisiä jäljennöksiä on yksi optisen jäljentämisen eduista. Perinteinen jäljentäminen, jossa jäljennösmateriaalia laitetaan jäljennöslusikkaan ja sitten asetetaan potilaan suuhun, tuntuu usein potilaasta epämukavalta. Iäkkäät kuivasuiset potilaat tai herkän yökkäysrefleksin omaavat potilaat, eivät välttämättä siedä tavanomaista jäljentämistä lainkaan. Tällaisille potilasryhmille perinteisen jäljennöksen korvaaminen skannauksella on erityisen hyödyllistä. Optinen jäljentäminen skannaamalla on myös ajallisesti tehokkaampaa, ja täten varsin kustannustehokas vaihtoehto. Uusimmat laitteet mahdollistavat koko hampaiston skannauksen alle kolmessa minuutissa. Todellinen ajansäästö saadaan kuitenkin siinä, että digitaalisesta jäljennöksestä ei tarvitse perinteisen jäljennöksen tapaan valaa fyysistä kipsimallia. Digitaalisen mallin jakaminen myös tekniikan käyttöön onnistuu nopeasti esimerkiksi sähköpostin välityksellä, jolloin jäljennöksiä ei tarvitse postittaa. (Mangano et al. 2017.)

Yksi yleisimmistä optisen jäljennöksen ongelmista on preparoidun hampaan syvien hiontarajojen havaitseminen, erityisesti, jos alueella on ientulehduksesta johtuvaa verenvuotoa. Joissain tapauksissa, erityisesti esteettisillä alueilla, joissa restauraation reunan subgingivaalinen sijainti on tärkeää, voi valon olla vaikea erottaa hiontarajaa. Tästä huolimatta riittävän tarkka optinen jäljennös voidaan saada käyttämällä kaksinkertaista ientaskulankaa ja hyvällä suuhygienialla, jolloin ienverenvuotoa voidaan kontrolloida. (Mangano et al. 2017.)

Mahdollisuus visualisoida ja analysoida digitaalista jäljennöstä heti skannauksen jälkeen on yksi tuolinviesmenetelmän parhaista puolista. Ohjelmisto auttaa havainnoimaan virheitä preparoinnissa ja skannauksessa kuten epäselviä hiontarajoja ja teräviä kulmia. Erityisesti opetusympäristössä tämä on hyödyllistä. Perinteisessä jäljennöksessä taas virheet havaitaan usein vasta kipsimallin valamisen jälkeen. (Blatz & Conejo 2019.)

Suunnitteluvaiheeseen on tarjolla erilaisia kirjastoja, joista hampaan luonnollinen morfologia voidaan valita tai ohjelmisto pystyy myös luomaan peilikuvan potilaan suussa jo olemassa olevasta vastapuolen hampaasta. Näiden ominaisuuksien ansiosta potilaan yksilölliset tarpeet ja toiveet eivät ole enää vain hammasteknikon käsityön varassa. Edistyneimmät ohjelmistot sisältävät myös digitaalisen hymyn suunnittelutyökalun sekä kasvojen skannauksen esteettisen lopputuloksen takaamiseksi. (Blatz & Conejo 2019.)

Kliinikolle on mahdollista myös skannauksen ja hiontarajan määrittämisen jälkeen lähettää digitaalinen jäljennös hammaslaboratorioon, jossa haluttu restauraatio valmistetaan. Digitaaliset mallit voidaan tallentaa ja arkistoida virtuaalisesti palvelimelle. Tallennuksessa on kuitenkin tärkeää ottaa huomioon potilastietojen suojaus, mikä edellyttää ymmärrystä siitä, missä ja miten skannaustiedostoja tallennetaan. Useimmissa järjestelmissä CAD-tietoja käsitellään STL-muodossa. STL-tiedostot kuvaavat vain 3D-objektin pinnan geometriaa ilman värejä, tekstuuria tai muita CAD-mallien ominaisuuksia. (Blatz & Conejo 2019.)

3.2.2 Materiaalin työstäminen

CAD/CAM-tekninen työstövaihe voidaan luokitella joko ”substraktiiviseksi” eli vähentäväksi tai ”additiiviseksi” eli lisääväksi menetelmäksi. Substraktiivinen valmistusmenetelmä sisältää jyrsintä- ja laserablaatioteknologian kun taas additiiviseen valmistusmenetelmään kuuluu esimerkiksi 3D-tulostus- ja lasersulatustekniikat.

3.2.2.1 Jyrsintä

Hammaslääkärien vastaanotoilla olevat kompaktit jyrsintäyksiköt ovat tyypillisimmin 4-akselisia (ts. 3+1-akselinen), mikä tarkoittaa, että jyrsinpora liikkuu kolmella akselilla (x, y ja z) ja lisäksi materiaalilohko voi pyöriä yhdellä lisäakselilla. Joissain yksiköissä on kaksi erillistä poranterää kahdessa erillisessä moottorissa materiaaliblokin jyrsimisen nopeuttamiseksi. Tarkkuuden ja jyrsintäajan määrittävät useat tekijät, kuten akselin ja karojen lukumäärä, poran koko ja hiontakkyky, jyrsintänopeus ja jyrsittävä materiaali. Piioksidipohjaiset keraamit jyrsitään tyypillisesti kosteassa ympäristössä, kun taas komposiitti- ja zirkoniumoksidihiot jyrsitään kuivina. Kaikissa koneissa ei

ole sekä märkä- että kuivajysintää, mikä tulee ottaa huomioon yksikköä valittaessa. (Blatz & Conejo 2019.)

Yksittäisen kruunun jyrsiminen voi viedä nopeimmillaan vain kuusi minuuttia. Vastaanotolla sijaitsevan jyrsimen etuna on myös ajansäästö, sillä potilas voi saada pysyvän restauration suuhunsa jopa samalla käynnillä, jolloin väliaikaista restauraatiota ja uutta käyntiä ei tarvita. (Davidowitz & Kotick 2011.)

Neliakseliset (3+1) jyrsimet ovat pitkään olleet tavallisimpia vastaanotoilla, sillä ne sopivat hyvin useimpien restaaraatioiden kuten laminaattien, kruunujen, onlay- ja inlay-täytteiden valmistukseen. Jyrsimet, joissa on viisi tai useampi akseli, voivat pyörittää materiaalikappaletta lisäakseleilla, mikä mahdollistaa monimutkaisempien mallien jyrsimisen. Ne näyttävät olevan myös tarkempia. Kompaktimpiin vastaanotoilla käytäviin jyrsimiin mahtuu jopa 20 mm, 40 mm ja 85 mm kokoisia materiaalilohkoja. Viisiakseliset jyrsimet pystyvät käsittelemään polymeerejä, hybridimateriaaleja, lasikeraameja, silikaattikeraameja ja zirkoniumoksidia. Ne pystyvät työstämään halkaisijaltaan 98,5 mm ja paksuudeltaan jopa 30 mm olevia materiaalikappaleita. Multiblock-pidikkeillä pystytään jyrsimään samanaikaisesti kuutta kappaletta tuottavuuden ja tehokkuuden maksimoimiseksi. Uunia tarvitaan materiaaleihin, jotka vaativat sintrauksen tai lasituksen. CEREC Speedfire (Dentsply Sirona) ja Programat CS4 (Ivoclar Vivadent) ovat pienikokoisia vastaanotoillekin sopivia uuneja, joita voidaan käyttää zirkoniumoksidin sintraukseen, keraamien lasitukseen ja litiumdisilikaattien käsittelyyn. Yhdistelmämuovit ja hybridimateriaalit tarvitsevat vain kiillotuksen jyrsimisen jälkeen.

Laserjyrsimisessä miljoonat lyhyet, korkean intensiteetin laserpulssit poistavat pieniä määriä materiaalia jyrsimäblokkista. Erittäin pieni laserpistekoko mahdollistaa korkean erotuskyvyn, mikä parantaa restaaraatioiden morfologiaa ja mikrorakennetta. Laserjyrsimisen etuja ovat täytteiden kustannusten aleneminen, kun leikkaavia osia kuten poria sekä jäädytysnesteitä ei tarvita. Integroitu 3D-skanneri auttaa sisäisessä laadunvalvonnassa restaaraation valmistuessa. (Blatz & Conejo 2019.)

CAD/CAM-restaaraatioiden viimeistelyyn kuuluvat lasitus ja kiillotus, jolloin pinnasta saadaan sileä ja materiaalin optiset ominaisuudet tulevat esiin. Kun blokki jyrsitään timanttikoralla, sen pinnasta tulee karhea. Pinnan karheus lisää värjäytymistä, plakin kertymistä ja ientulehdusta. Lisäksi karheus kuluttaa vastapurijaa. Tasaisen pinnan saamiseksi restaaraation kiillotuksessa voidaan jyrsimisen jälkeen käyttää erilaisia kiekkoja, kiillotussarjoja ja tahnoja materiaalista ja käyttäjän mieltymyksistä

riippuen. Lasitus taas on suositeltava toimenpide kaikille keraamisille CAD/CAM-restauraatioille. Lasituksen yhteydessä restauraatio voidaan myös karakterisoida halutuin sävyin luonnollisen lopputuloksen saamiseksi. Uunikäsittelyn jälkeen restauraatio jäähdytetään, puhdistetaan ja sementoidaan. (Skolruska et al. 2021.)

3.2.2.2 Tulostus

Additiivisessa menetelmässä, jota kutsutaan myös nimellä kolmiulotteinen tulostus (3D-tulostus), haluttu kappale rakennetaan kerros kerrokselta tietokoneella suunnitellun mallin pohjalta.

3D-tulostus on uusi ja suurta kiinnostusta herättänyt tekniikka hammaslääketieteessä, koska sen avulla on mahdollista valmistaa esimerkiksi erilaisia implanttiohjureita, väliaikaisia täytteitä, purentakiskoja, hammassuojia ja oikomiskojeita. (Sulaiman 2020.)

3D-tulostuksen etuja jyrksintään verrattuna ovat vähäisempi hukkamateriaalin määrä ja pienempi energiankulutus. Välivaiheiden määrä lopullisen tuotteen saamiseksi on myös pienempi, samoin inhimillisen virheen todennäköisyys on pieni. Additiivitekniikalla voidaan myös aikaansaada monimutkaisempia rakenteita kuin jyrsimällä. (Sulaiman 2020.)

Additiivisessa valmistuksessa käytettävistä materiaaleista tutkituimpia ovat polymeerit, jonka jälkeen tulevat metallit. Keraamien käyttö additiivisessa tekniikassa on jäänyt muista materiaaleista hieman jälkeen johtuen niiden mekaanisista ominaisuuksista, viimeistelystä ja mittatarkkuudesta. (Galante et al. 2019.)

On kuitenkin tärkeää tutkia enemmän tällä hetkellä saatavilla olevia 3D-tulostusmateriaaleja, niiden ominaisuuksia ja kestävyyttä, jotta saadaan lisää tietoa siitä, voidaanko niillä korvata perinteisiä materiaaleja tai käytössä jo olevia jyrksittäviä materiaaleja (Sulaiman 2020).

Tärkeimpien 3D-tulostuspatenttien päättyminen äskettäin on tehnyt tulostimien käytöstä edullisempää ja helpompaa. Markkinat tulevat todennäköisesti tulevaisuudessa kasvamaan, ja digitaalisen hammaslääketieteen onkin arvioitu olevan yksi nopeimmin kasvavia additiivisen valmistusmenetelmän sektoreista. (Galante et al. 2019.)

4 Keraamiset CAD/CAM-materiaalit

Yleisesti keraamit ovat kiteisiä, ei-metallisia materiaaleja. Ne voivat sisältää metallisia tai ei-metallisia osia, jotka sitoutuvat toisiinsa ionisidoksilla tai kovalenttisilla sidoksilla. Materiaalien ominaisuuksia määrittää niiden koostumus, rakenne sekä sidostyytit, jotka pitävät sen ”rakennuspalikoita” yhdessä. (Ruse & Sadoun 2014.)

Keraamit ovat bioyhteensopivia ja inerttejä materiaaleja, ja ne sopivat vakautensa ansiosta käytettäväksi suun sisällä. Keraamit ovat kuitenkin hauraita materiaaleja, jotka murtuvat helposti. Tämän heikkouden korjaamiseksi keraamit usein vahvistetaan hiukkasilla, tuetaan metallilla tai valmistetaan puhtaasti monikiteisestä materiaalista. (Warreth & Elkareimi 2020.)

Kultainen standardi kiinteässä protetiikassa on ollut metallokeramia, jolloin rakenteen runko on metallia ja pintaosa keraamia. Tässä perinteisessä menetelmässä on kuitenkin esteettisiä puutteita ja lisäksi se vaatii laajempaa hammaskudoksen preparointia. Metallokeramiset rakenteet ovat myös hammasteknikolle hitaita valmistaa. (Husain et al. 2020.)

Perinteisen hammaskeraamin, eli hammasposliinin, pohjan muodostaa maasälpä, jolla on hyvät esteettiset ominaisuudet, vaikka se ei olekaan riittävän vahva materiaali takahammasalueelle, jossa purentavoimat ovat suuret (Li et al. 2014).

Ensimmäinen CAD/CAM-tekniikalla tuotettu inlay valmistettiin vuonna 1985, materiaalina hienorakenteinen maasälpäposliini (Vita Mark I, Vita Zahnfabrick, Bad Sackingen, Saksa) (Li et al. 2014). Ensimmäiset 15 vuotta Vita Mark I oli ainoa CEREC:lle saatavissa oleva materiaali, joka sopi käytettäväksi oikeastaan vain pienissä okklusaalipinnan inlay-täytteissä (Marchesi et al. 2021).

Kymmenen vuotta kestäneessä prospektiivisessä tutkimuksessa Vita Mark I inlay- ja onlay-täytteiden onnistumisprosentti oli 90,4 %, kuitenkin myös paljon korkeammasta, jopa 36 %:n rikkoutumisasteesta ilmoitettiin kahden vuoden jälkeen. Vita Mark II, joka kehitettiin erityisesti CEREC:lle vuonna 1991, oli mekaanisilta ominaisuuksiltaan parempi. Sen raportoitu taivutuslujuus oli lasitettuna noin 100–160 MPa. Kliiniset tutkimukset Vita Mark II inlay-täytteiden onnistumisesta ovat raportoineet 94,7 % viiden vuoden jälkeen ja 90,6 % kahdeksan vuoden jälkeen. Kymmenen vuoden jälkeen onnistumisprosentit ovat vaihdelleet 85,7–89 %:n välillä. (Li et al. 2014.)

Sittemmin parempien mekaanisten ominaisuuksien tarve edisti uusien materiaalien kehitystä, jolloin myös CAD/CAM-tekniikan käyttökohteet laajenivat onlay-täytteisiin ja laminaatteihin. Näitä uudempia, mikrorakenteeltaan paranneltuja materiaaleja ovat litiumdisilikaattilujitteiset

lasikeraamit, leusiittilujitteiset lasikeraamit sekä oksidikeraameihin kuuluva zirkonia. (Marchesi et al. 2021.)

Haittapuolena keraameissa voidaan mainita suun pH:n vaikutus sekä veden imeytyminen, joka voi vaikuttaa heikentävästi materiaalin sisäisiin sidoksiin (Ruse & Sadoun 2014).

Eräissä tutkimuksissa on kuitenkin havaittu keraameissa myös myöhemmin ilmeneviä ongelmia keraamien haurauden vuoksi sekä niiden vastapurijaa hankaavan vaikutuksen takia (Awada & Nathanson 2014).

4.1 Lasikeraamit

Lasikeraamit ovat yhdistelmäateriaaleja, joissa lasifaasi toimii runkona ja keraami vahvistavana täyteaineena (Ruse & Sadoun 2014).

Lasikeraameille ominaista on suuri osuus lasikomponenttia, mikä tekee niistä läpikuultavan ja esteettisen materiaalin. Lasikeraamien taivutuslujuus on parantunut ensimmäisistä markkinoille tulleista materiaaleista 125 MPa:sta 375 MPa:iin. (Marchesi et al. 2021.)

Lasikeraamit ovat erinomaisia materiaaleja fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksiensa ansiosta. Ne ovat vahvoja ja jäykkiä, mutta hauraita materiaaleja. Hammaskudokseen sidostettuna ne muodostavat vahvan rakenteen. Niiden kulutuskestävyys on hyvä, samoin kudosystävällisyys. Murtumasitkeys sekä lämmönjohtavuus ovat matalia. Estetiikka on erinomainen ja optiset ominaisuudet kuten läpikuultavuus, fluoresenssi ja opaakkius ovat parempia kuin muovipohjaisilla materiaaleilla. (Ruse & Sadoun 2014, Fu et al. 2020.)

Yleisessä käytössä olevalla litiumdisilikaatilla lujitetun lasikeraamin taivutuslujuus on 350–450 MPa. Tämä on korkeampi kuin leusiittivahvisteisilla lasikeraameilla. (Li et al. 2014).

IPS e.max CAD (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) on yleisimmin käytetty litiumdisilikaatilla lujitettu lasikeraami, joka esiteltiin vuonna 2006. Sillä oli edeltäjiensä huomattavasti parempi murtositkeys. Nykyisin sen rinnalle on tullut muiden valmistajien vastaavia materiaaleja. Litiumdisilikaatista valmistettujen monoliittisten kruunujen onnistumisprosentti kymmenen vuoden seurannassa on vaihdellut 83,5–96,7 %:n välillä. (Marchesi et al. 2021.)

Mekaanisten ominaisuuksien parantamiseksi on litiumsilikaatti-CAD/CAM-blokkeihin lisätty tetragonaalista zirkoniumoksidikomponenttia. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi Vita Suprinity PC (Vita ZahnFabrick) ja Celtra Duo (Dentsply Sirona). Näiden materiaalien etuina ovat parempi kestävyys zirkonian ansiosta sekä nopeampi työstö, sillä blokit ovat jo valmiiksi sintrattuja tai esisintrattuja. (Warreth & Elkareimi 2020.)

4.2 Oksidikeraamit

Oksidikeraamit ovat monikiteisiä keraameja, jotka eivät sisällä lasia. Ne ovat alumiinioksidi- tai zirkoniapohjaisia. Ne ovat kaikkein lujimpia materiaaleja hammaslääketieteessä. Molemmille on tunnusomaista niiden hyvät mekaaniset ominaisuudet; esimerkiksi alumiinioksidin taivutuslujuus on noin 650 MPa, kun taas zirkoniumoksidin 800–1500 MPa. Siksi ne ovat vahvempia ja sitkeämpiä kuin lasipohjaiset keraamit. Oksidikeraamit ovat kuitenkin vähemmän läpikuultavia ja enemmän opaakkeja kuin lasipohjaiset keraamit. (Rekow et al. 2011.)

Zirkonian mekaaniset ominaisuudet ovat poikkeukselliset. Sillä on korkea lujuus, kovuus, kulutuksenkestävyys, korroosion kestävyys, terästä vastaava kimmokerroin, rautaa vastaava lämpölaajenemiskerroin ja suurin murtolujuus kaikista keraameista. Haittapuolia ovat taas materiaalin opasiteetti, joka heikentää estetiikkaa. Lisäksi materiaalin vanhetessa kosteuden vaikutuksesta voi sen pintaan syntyä halkeamia, jotka heikentävät rakenteen pitkän aikavälin ennustetta. (Galante et al. 2019.)

Materiaalin käyttöaiheita ovat yksittäiset kruunut, implanttikruunut ja sillat. Vanhempien zirkoniamateriaalien estetiikkaa on pyritty parantamaan uusissa materiaaleissa lisäämällä läpikuultavuutta, mutta näistä materiaaleista on vielä vähän kliinistä näyttöä. Läpikuultavuuden lisääminen on kuitenkin johtanut heikompaan lujuuteen ja sitkeyteen. (Zhang & Lawn 2019, Marchesi et al. 2021.)

Muovisementin ja lujien oksidikeraamien välille on vaikeaa saavuttaa luotettavaa sidosta niiden kemiallisen inerttiyden vuoksi. Lisäksi oksidikeraamit eivät sisällä piioksidia, jolloin niitä ei myöskään voida etsata. Zirkoniaa ei siis voida sidostaa hampaaseen lasikeraamien tavoin. (Scaminaci et al. 2019.)

5 CAD/CAM-yhdistelmämuovit ja -hybridimateriaalit

Alun perin CAD/CAM-järjestelmät kehitettiin keraamisten täytteiden valmistukseen, mutta myöhemmin materiaalivalikoimaan tuli myös yhdistelmämuovimateriaaleja. Ensimmäinen CAD/CAM-yhdistelmämuoviblokki oli Paradigm MZ100 (3M, St Paul, USA), joka tuli markkinoille vuonna 2000. Sitä pidettiin nopeasti jyrättävänä ja kulutusta kestäväenä vaihtoehtona keraameille. (Silva et al. 2017.) Paradigm MZ100:n raportoitu taivutuslujuus on 157 MPa, joka on samanlainen kuin maasälpäkeraamien (Marchesi et al. 2021). Paradigm MZ100:n jälkeen markkinoille on tasaisesti tullut suorituskyvyltään ja estetiikaltaan yhä parempia materiaaleja niin hybridi- kuin yhdistelmämuovimateriaalienkin saralta.

Markkinoilla on useita CAD/CAM-yhdistelmämuovimateriaaleja ja niistä kehitettyjä keraami-muovi-hybridimateriaaleja. Näiden materiaalien etuja ovat helppo korjaus suussa valokovetettavilla paikkamateriaaleilla ja nopeampi tuotantonopeus, sillä keraamien vaatimaa polttoa ei tarvita. (Marchesi et al. 2021.)

5.1 Rakenne ja ominaisuudet

5.1.1 CAD/CAM-yhdistelmämuovit

CAD/CAM-yhdistelmämuovit koostuvat polymeerimatriksista, joka on lujitettu täyteaineilla eli fillereillä. Fillerit voivat olla epäorgaanisia (keraamisia, lasikeraamisia tai lasia), orgaanisia tai näiden yhdistelmiä. (Ferracane 2011.)

Yhdistelmämuovien mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi fillereiden morfologia eli muoto, niiden koon vaihtelu sekä tilavuus (Alzraikat et al. 2014).

Michaël Sadounin johtama tutkimusryhmä suoritti kaupallisen ja kokeellisen tutkimuksen suorissa restauraatioissa käytettävälle yhdistelmämuoveille parantaakseen niiden ominaisuuksia CAD/CAM-sovelluksissa. Yhdistelmämuovien polymerointireaktio toteutettiin korkeassa paineessa (high pressure, HP, 300 MPa) ja korkeassa lämpötilassa (high temperature, HT, 120–180 astetta). Tuloksena saaduissa HP/HT-polymeroiduissa yhdistelmämuoveissa oli selkeästi useita parantuneita ominaisuuksia kuten taivutuslujuus, kovuus ja tiheys. (Ruse & Sadoun 2014.)

CAD/CAM-yhdistelmämuovien eduksi voidaan katsoa myös vastapurijan vähäisempi kuluminen verrattuna lasikeraameihin ja hybridimateriaaleihin (Stawarczyk et al. 2015). CAD/CAM-yhdistelmämuovit ovat myös kliinisesti helppokäyttöisiä. Jyrsinnän jälkeen viimeistelyyn tarvitaan ainoastaan kiillotus. Niiden ominaisuudet eivät kuitenkaan täysin saavuta keraamisten materiaalien ominaisuuksia. (Blatz & Conejo 2019.)

CAD/CAM-yhdistelmämuovien kimmomoduuli on samanlainen kuin dentiinin, jonka kirjallisuudessa ehdotetaan minimoivan jännityksen keskittymisen täytteessä ja estävän murtumia. Mekaanisten arvojen halutaan olevan mahdollisemman lähellä luonnonhampaita.

CAD/CAM-yhdistelmämuovit soveltuvat inlay- ja onlay-täytteiden valmistukseen. Kirjallisuudessa on vielä vähäisesti kliinistä tutkimusta CAD/CAM-yhdistelmämuoveista, keskimääräinen onnistumisprosentti kymmenen vuoden kohdalla on ollut 95 %. (Marchesi et al. 2021.)

Markkinoilla olevia CAD/CAM-yhdistelmämuoveja ovat muun muassa Tetric CAD (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) ja LuxaCam Composite (DMG, Hampuri, Saksa). Valmistajien mukaan materiaalien indikaatioita ovat inlayt, onlayt, laminaatit, osakruunut, kruunut ja jopa enintään kolmen yksikön sillat.

5.1.2 CAD/CAM-hybridimateriaalit

Hybridimateriaalien rakenteessa yhdistyvät sekä yhdistelmämuovien että keraamien positiiviset puolet. Hybridimateriaalien suunnittelussa on haluttu yhdistää yhdistelmämuoveille tyypillinen vähäisempi hauraus keraameihin verrattuna mutta myös keraamien parempi estetiikka. Mikrorakenteen perusteella hybridimateriaalit jaetaan kahteen luokkaan, nanokeraameihin ja polymer-infiltrated ceramic network eli PICN-materiaaleihin (Taulukko 1).

Nanokeraamiblokkit valmistetaan hyödyntäen polymerointiprosessia korkeassa paineessa (high pressure, HP) ja korkeassa lämpötilassa (high temperature, HT). Pohjamateriaali (usein Bis-GMA, UDMA, UTMA tai Bis-EMA) yhdistetään keraamiseen täyteaineeseen eli filleriin, jota on materiaalissa jopa 80 painoprosenttia. Materiaalit ovat pääosin orgaanisessa faasissa. PICN-materiaaliblokkien rakenteesta 86 painoprosenttia on puolestaan keraamiverkkoa, johon yhdistelmämuovi tunkeutuu muodostaen 14 prosenttia sen painosta. PICN-materiaalit ovat

puolestaan pääosin epäorgaanisessa faasissa. (Coldea et al. 2013, Mainjot et al. 2016, Marchesi et al. 2021.)

CAD/CAM-nanokeraamien ominaisuudet ovat samankaltaiset kuin luonnonhampaalla, olipa kyseessä taivutus (lähes 200 MPa), puristus (380 MPa) tai kuluminen (noin 2–10 mikrometriä vuodessa). Pohjamateriaalina toimiva polymeeri kuluu nopeammin keramiaan verrattuna. (Lambert et al. 2017.)

Nanokeraameja voidaan käyttää materiaaleina onlay- tai overlay-täytteissä, mutta kruunumateriaaleiksi ne eivät sovellu. Tällä hetkellä on olemassa vain viiden vuoden kliininen tutkimus, jonka mukaan adhesiivisella tekniikalla kiinnitettyjen CAD/CAM-nanokeraamien menestys onlay- ja overlay -täytteissä on ollut samankaltaista kuin maasälpäposliinilla takahammasalueella. (Marchesi et al. 2021.)

Ensimmäinen nanokeraaminen hybridimateriaali oli Lava Ultimate (3M ESPE, St. Paul, MN, USA). Muita tähän kategoriaan kuuluvia markkinoilla olevia materiaaleja ovat muun muassa Cerasmart (GC America, Alsip IL, USA), Block HC (Shofu, Kyoto, Japani) ja Katana Avencia Block (Kuraray Noritake Dental). Valmistajien mukaan materiaaleja voidaan käyttää inlay- ja onlay-täytteissä, laminaateissa ja kruunuissa. (Jovanović et al. 2021.)

PICN-materiaaleja on puolestaan markkinoilla vain yksi, Vita Enamic (Vita Zahnfabrick). Materiaali muodostuu keraamisesta runkorakenteesta, johon polymeeriverkko tunkeutuu. Materiaalin mekaaniset ominaisuudet ovat melko keskitasoa. Keraamikomponentti parantaa kulutuskestävyyttä, mutta voi tehdä materiaalista herkemmän murtumille. Polymeeriverkko puolestaan parantaa materiaalin kestävyttä murtumia vastaan tehden siitä plastisemman. Vita Enamic soveltuu inlay- ja onlay-täytteisiin, laminaatteihin sekä kruunuihin. Koska materiaali on tuotu markkinoille vasta hiljattain, on kliinisiä tutkimuksia saatavilla rajatusti. Kolmen vuoden seurannassa onnistumisprosentti on ollut 95,6–97,4. (Marchesi et al. 2021.)

PICN-materiaalin etuna on, että niiden kimmokerroin on noin 50 % pienempi verrattuna maasälpäposliiniin ja siten lähempänä dentiiniä. Niillä on sekä keraameihin että yhdistelmämuoveihin liittyviä hyviä ominaisuuksia, joissa yhdistyy tasapaino elastisuuden ja

lujuuden välillä. Polymeeriosan lujuus on alle 30 MPa ja keraamiverkon lujuus noin 160 MPa, kun taas lopullisen materiaalin 135 MPa. Nanokeraamien tapaan materiaalin taivutuslujuus on keraameja korkeampi, materiaali on helposti työstettävä ja tarvittaessa suoraan suussa korjattava. (Silva et al. 2017.)

PICN-materiaalit kuluvat vähemmän suun olosuhteissa verrattuna nanokeraameihin. Ne kuitenkin kuluttavat vastakkaista hammasta enemmän kuin nanokeraamit. Lasikeraameihin verrattuna yhdistelmämuovi- ja hybridimateriaaleilla on kyky estää halkeaman etenemistä materiaalissa. Lasikeraameissa puolestaan halkeamat leviävät materiaalin läpi sen murtumiseen saakka. (Laborie et al. 2022.)

Vaikka hybridi- ja yhdistelmämuovimateriaalien mekaaniset ominaisuudet ovat parantuneet uusien materiaalien tullessa markkinoille, eivät ne vielä kukaan yllä samankaltaisiin mekaanisiin ominaisuuksiin keraamien kanssa (Ling 2021). Hybridimateriaalien suureksi eduksi voidaan kuitenkin katsoa se, että ne voidaan sidostaa hammaskudokseen yhdistelmämuovien ja lasikeraamisten materiaalien tavoin (Bahadır & Bayraktar 2020).

Luokitus	Määritelmä	Esimerkkimateriaali
Nanokeraamit	Polymeerimatriksi ja vahvisteena keraamiset nanopartikkelit. Matriksi usein UDMA-pohjainen.	Cerasmart (GC) Lava Ultimate (3M ESPE) Block HC (Shofu)
PICN (polymer-infiltrated-ceramic network)	Polymeeri-infiltroitu eli resiinitäytteinen keraaminen verkko. Hybridirakenne, jossa kaksi lomittain menevää verkostoa (keraami ja polymeeri).	VITA Enamic (Vita ZahnFabrick)

Taulukko 1: CAD/CAM-hybridimateriaalien luokittelu

5.2 Edut ja haitat

Korkean taivutuslujuutensa ansioista hybridi- ja yhdistelmämuovimateriaaleja on mahdollista käyttää pienempinä materiaalipaksuuksina. Lasikeraaminen täyte vaatii tilaa noin 1,5–2 mm, kun taas hybridimateriaaleille ja yhdistelmämuoveille riittää 1,5 mm. (Marchesi et al. 2021.)

CAD/CAM-yhdistelmämuovien ja hybridimateriaalien houkuttelevuus perustuu valmistuksen ja jysynnän helppouteen. Ne eivät ole niin alttiita murtumille ja lohkeilulle jysynnän aikana kuin keraamiset materiaalit, mikä johtaa parempaan saumatiivyyteen. Kun keraameja työstetään, voi pintaan syntyä mikroskooppisen pieniä murtumia, jotka voivat lopulta johtaa koko rakenteen halkeamiseen. Suoran tekniikan yhdistelmämuovimateriaaleihin verrattuna hybridimateriaaleilla on paremmat fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet. (Peumans et al. 2016.)

Missä tahansa materiaalissa voi esiintyä murtumia purentarasituksen, parafunktioiden tai trauman seurauksena. Usein murtuneen kohdan korjaaminen on edullisempaa kuin koko rakenteen uusiminen. Lasikeraamisten rakenteiden korjaaminen suussa vaatisi käsittelyn syövyttävällä ja myrkyllisellä fluorivetyhapolla (HF). Korjaaminen tapahtuu yhdistelmämuovilla, jolla on melko erilaiset mekaaniset ja optiset ominaisuudet lasikeraamiin verrattuna. Komposiittimateriaaleista

valmistetun rakenteen korjaus suussa puolestaan aloitetaan karhentamalla pinta poralla tai hiekkapuhaltamalla. Itse korjaus tapahtuu tavanomaisesti yhdistelmämuovilla, jonka mekaaniset ja optiset ominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset kuin alkuperäisellä rakenteen materiaalilla. (Ruse & Sadoun 2014)

Yleisesti CAD/CAM-restauraatioissa käytettyyn litiumdisilikaattikeramiaan verrattuna yhdistelmämuovi- ja hybridimateriaaleilla kulutuskestävyys on huonompi. Mikään tällä hetkellä saatavilla olevista materiaaleista ei osoita täydellistä stabiiliutta suun olosuhteissa ajan mittaan. Eri hybridimateriaalien välillä kulutuskestävyys vaihtelee. Kulutuskestävyyden on todettu riippuvan keraamifillereiden ominaisuuksista. Kulumisprosessi vaihtelee etiologian (attriitio, abraasio tai eroosio) mukaan, mutta johtaa aina materiaalihäviöön ja materiaalin pinnan muotojen muotoksiin. Nykyiset hybridimateriaalit näyttävät olevan aiemmin runsaassa käytössä olleen litiumdisilikaatin kanssa samalla tasolla kliinisten vaatimusten ja indikaatioiden osalta. (Laborie et al. 2022.)

Keraamiset materiaalit ovat myös resistentimpiä värjäytymiselle suun olosuhteissa hybridi- ja yhdistelmämuovimateriaaleihin verrattuna. Värjäytyminen on tosin yksilökohtaista, sillä runsaasti värjääviä elintarvikkeita käyttävällä henkilöllä proteettiset rakenteet värjäytyvät materiaalista riippumatta. (Bahadır & Bayraktar 2020.) Valmistajien mukaan nanokeraameissa säilyy yhdistelmämuoveja paremmin pinnan kiiltokäsittely (Marchesi et al. 2021).

Haittana voidaan myös mainita hybridimateriaalien vasta hiljattainen tulo markkinoille, minkä takia pitkäaikaisia kliinisiä tutkimuksia ei niistä ole vielä saatavilla (Blatz & Conejo 2019).

5.3 Käsittely

CAD/CAM-hybridimateriaalit ja yhdistelmämuovit eivät vaadi lisätoimenpiteitä jyrinnän jälkeen kiillotusta lukuun ottamatta. Suussa niitä voidaan tarvittaessa korjata suoran tekniikan yhdistelmämuoveilla. Sidostusvaiheessa CAD/CAM-materiaaleja voidaan käsitellä kemiallisesti tai mekaanisesti. Kemiallinen käsittely tehdään usein 5 % tai 9 % fluorivetyhapolla. Happo reagoi piioksidin kanssa muodostaen fluoripiihappoa, mikä luo tilaa sementille ja tekee pinnasta karheamman. Pinnan karheus ja etsauksen aiheuttamat kuopat saavat sementin hakeutumaan

syvemmälle materiaaliin. Silanointikäsittelyainetta käytetään hapon jälkeen parantamaan rakenteen kemiallista kiinnittymistä hampaan pintaan. Mekaaninen käsittely tehdään hiekkapuhaltamalla, jossa voidaan käyttää alumiinioksidihiuksia. (Alsaed 2022)

Hyvä sidos CAD/CAM-restauraation ja hampaan välillä vaikuttaa pitkällä aikavälillä työn onnistumiseen. On osoitettu, että pinnan käsittelyllä ennen sementointia on suuri vaikutus sidoslujuteen. Mikromekaanista retentiota voidaan saada hiekkapuhalluksella ja happoetsauksella, kun taas silanointi muodostaa kemiallisen sidoksen. Kimmoisa ja kestävä sidos hampaan ja restauraation välillä retentoi täytteen, estää mikrovuotoja ja vahvistaa saumatiiivyyttä. Onnistunut sidos lisää restauroidun hampaan ja täytteen murtumiskestävyyttä. (Lise et al. 2016, Peumans et al. 2016.)

PICN-materiaali Vita Enamicille esitetään kirjallisuudessa seuraavaa sidostusprotokollaa: fluorivetyhappoetsaus 60 s Vita Ceramics Etch, silanointi VitaSIL:lla, VITA:lla tai Monobond Plussalla (Ivoclar Vivadent), sementointi RelyX Unicemillä (3M) tai Variolink II:lla valmistajan ohjeiden mukaisesti. (Skolruska et al. 2021)

6 Pohdinta

CAD/CAM-tekniikka on vahvasti vallannut paikkansa hammaslääketieteessä. Sen avulla voidaan suunnitella ja valmistaa hammaskruunuja, siltoja ja muita proteettisia rakenteita nopeasti ja tarkasti. Kliinikon on tärkeä ymmärtää CAD/CAM-tekniikassa käytettävien materiaalien ominaisuudet, punnita edut ja haitat tapauskohtaisesti sekä tietää, miten materiaalia käsitellään. Tämänhetkiset CAD/CAM-hybridi- ja yhdistelmämuovimateriaalit ovat vielä suhteellisen uusia, ja pitkäaikainen tutkimusnäyttö puuttuu.

Yhteenvetona voidaan todeta, että CAD/CAM-hybridi- ja yhdistelmämuovimateriaalit tarjoavat monia etuja hammaslääketieteessä kuten esteettisyyttä, kestävyyttä, nopeaa ja tarkkaa valmistusta sekä alhaisempia kustannuksia esimerkiksi keraamisiin materiaaleihin verrattuna. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin tiettyjä rajoituksia käyttökohteiden osalta ja kulutuskestävyys näyttäisi olevan niillä heikompa keraameihin verrattuna, mutta toisaalta ne aiheuttavat vähemmän vastapurijan kiilteen kulumista, jolloin purennan madaltuminen kokonaisuudessaan voi olla jopa vähäisempää.

Tulevaisuudessa CAD/CAM-tekniikoiden käyttö hammaslääketieteessä tulee todennäköisesti kasvamaan entisestään teknologian kehittyessä, mikä voi johtaa parempiin ja entistä kestävämpiin hoitotuloksiin. Toisaalta materiaalikehityksen myötä CAD/CAM-tekniikan käyttö voi myös muuttua. 3D-tulostus on jo mahdollista joillain materiaaleilla, mutta tulevaisuudessa siitä voi tulla yhä yleisempää samalla kuitenkin tuoden uusia haasteita hammaslääketieteen ammattilaisille, sillä heidän tulee opetella käyttämään uusia tekniikoita ja materiaaleja. 3D-tulostuksen jatkokehityksen arvioidaan alentavan merkittävästi tuotantokustannuksia, parantavan materiaalien ominaisuuksia sekä tehostavan tuotantoprosesseja. Tämä hyödyttää varmasti potilaiden lisäksi koko terveydenhuoltojärjestelmää.

Hammashoidon ammattilaisten on tärkeää pysyä ajan tasalla uusimmista teknologioista ja materiaaleista, jotta he voivat tarjota potilailleen parasta mahdollista hoitoa. Tämän takia myös materiaalitutkimus on tärkeä alaa eteenpäin vievä voima hammaslääketieteessä. Se auttaa kehittämään parempia ja kestävämpiä materiaaleja, parantamaan jo olemassa olevien materiaalien ominaisuuksia, kuten kestävyyttä, bioyhteensopivuutta ja esteettisyyttä sekä ymmärtämään paremmin materiaalien käyttäytymistä suussa.

Lähteet

Ahlholm, P., Sipilä, K., Vallittu, P., Jakonen, M., & Kotiranta, U. (2018). Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. *Journal of prosthodontics: official journal of the American College of Prosthodontists*, 27(1), 35–41.

Alsaeed A. Y. (2022). Bonding CAD/CAM materials with current adhesive systems: An overview. *The Saudi dental journal*, 34(4), 259–269.

Alzraikat, H., Burrow, M. F., Maghaireh, G. A., & Taha, N. A. (2018). Nanofilled Resin Composite Properties and Clinical Performance: A Review. *Operative dentistry*, 43(4), E173–E190.

Angeletaki, F., Gkogkos, A., Papazoglou, E., & Kloukos, D. (2016). Direct versus indirect inlay/onlay composite restorations in posterior teeth. A systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry*, 53, 12–21.

Awada, A., & Nathanson, D. (2015). Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *The Journal of prosthetic dentistry*, 114(4), 587–593.

Azeem, R. A., & Sureshababu, N. M. (2018). Clinical performance of direct versus indirect composite restorations in posterior teeth: A systematic review. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 21(1), 2–9.

Bahadır, H. S., & Bayraktar, Y. (2020). Evaluation of the repair capacities and color stabilities of a resin nanoceramic and hybrid CAD/CAM blocks. *The journal of advanced prosthodontics*, 12(3), 140–149.

Blatz, M. B., & Conejo, J. (2019). The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dental clinics of North America*, 63(2), 175–197.

Bustamante-Hernández, N., Montiel-Company, J. M., Bellot-Arcís, C., Mañes-Ferrer, J. F., Solá-Ruíz, M. F., Agustín-Panadero, R., & Fernández-Estevan, L. (2020). Clinical Behavior of Ceramic, Hybrid and Composite Onlays. A Systematic Review and Meta-Analysis. *International journal of environmental research and public health*, 17(20), 7582.

Coldea, A., Swain, M. V., & Thiel, N. (2013). Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 29(4), 419–426.

de Paula Silveira, A. C., Chaves, S. B., Hilgert, L. A., & Ribeiro, A. P. (2017). Marginal and internal fit of CAD-CAM-fabricated composite resin and ceramic crowns scanned by 2 intraoral cameras. *The Journal of prosthetic dentistry*, 117(3), 386–392.

Duquia, R.deC., Osinaga, P. W., Demarco, F. F., de V Habekost, L., & Conceição, E. N. (2006). Cervical microleakage in MOD restorations: in vitro comparison of indirect and direct composite. *Operative dentistry*, 31(6), 682–687.

Ferracane J. L. (2011). Resin composite--state of the art. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 27(1), 29–38.

Fu, L., Engqvist, H., & Xia, W. (2020). Glass-Ceramics in Dentistry: A Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 13(5), 1049.

Galante, R., Figueiredo-Pina, C. G., & Serro, A. P. (2019). Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 35(6), 825–846.

Jovanović, M., Živić, M., & Milosavljević, M. (2021). A potential application of materials based on a polymer and CAD/CAM composite resins in prosthetic dentistry. *Journal of prosthodontic research*, 65(2), 137–147.

Laborie, M., Naveau, A., & Menard, A. (2022). CAD-CAM resin-ceramic material wear: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*, S0022-3913(22)00076-2. Advance online publication.

Lambert, H., Durand, J. C., Jacquot, B., & Fages, M. (2017). Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *The journal of advanced prosthodontics*, 9(6), 486–495.

Lauvahutanon, S., Takahashi, H., Shiozawa, M., Iwasaki, N., Asakawa, Y., Oki, M., Finger, W. J., & Arksornnukit, M. (2014). Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dental materials journal*, 33(5), 705–710.

Li, R. W., Chow, T. W., & Matinlinna, J. P. (2014). Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art. *Journal of prosthodontic research*, 58(4), 208–216.

Ling, L., Ma, Y., & Malyala, R. (2021). A novel CAD/CAM resin composite block with high mechanical properties. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 37(7), 1150–1155.

- Lise, D. P., Van Ende, A., De Munck, J., Vieira, L., Baratieri, L. N., & Van Meerbeek, B. (2017). Microtensile Bond Strength of Composite Cement to Novel CAD/CAM Materials as a Function of Surface Treatment and Aging. *Operative dentistry*, 42(1), 73–81.
- Mainjot, A. K., Dupont, N. M., Oudkerk, J. C., Dewael, T. Y., & Sadoun, M. J. (2016). From Artisanal to CAD-CAM Blocks: State of the Art of Indirect Composites. *Journal of dental research*, 95(5), 487–495.
- Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G., & Logozzo, S. (2017). Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC oral health*, 17(1), 149.
- Marchesi, G., Camurri Piloni, A., Nicolini, V., Turco, G., & Di Lenarda, R. (2021). Chairside CAD/CAM Materials: Current Trends of Clinical Uses. *Biology*, 10(11), 1170.
- Morimoto, S., Rebello de Sampaio, F. B., Braga, M. M., Sesma, N., & Özcan, M. (2016). Survival Rate of Resin and Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of dental research*, 95(9), 985–994.
- Peumans, M., Valjakova, E. B., De Munck, J., Mishevskaja, C. B., & Van Meerbeek, B. (2016). Bonding Effectiveness of Luting Composites to Different CAD/CAM Materials. *The journal of adhesive dentistry*, 18(4), 289–302.
- Rekow, E. D., Silva, N. R., Coelho, P. G., Zhang, Y., Guess, P., & Thompson, V. P. (2011). Performance of dental ceramics: challenges for improvements. *Journal of dental research*, 90(8), 937–952.
- Ruse, N. D., & Sadoun, M. J. (2014). Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *Journal of dental research*, 93(12), 1232–1234.
- Scaminaci Russo, D., Cinelli, F., Sarti, C., & Giachetti, L. (2019). Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning Methods and Bonding Materials. *Dentistry journal*, 7(3), 74.

Silva, L. H. D., Lima, E., Miranda, R. B. P., Favero, S. S., Lohbauer, U., & Cesar, P. F. (2017). Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Brazilian oral research*, 31(suppl 1), e58.

Skorulska, A., Piszko, P., Rybak, Z., Szymonowicz, M., & Dobrzyński, M. (2021). Review on Polymer, Ceramic and Composite Materials for CAD/CAM Indirect Restorations in Dentistry-Application, Mechanical Characteristics and Comparison. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(7), 1592.

Spitznagel, F. A., Boldt, J., & Gierthmuehlen, P. C. (2018). CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. *Journal of dental research*, 97(10), 1082–1091.

Suese K. (2020). Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. *Dental materials journal*, 39(1), 52–56.

Sulaiman T. A. (2020). Materials in digital dentistry-A review. *Journal of esthetic and restorative dentistry: official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]*, 32(2), 171–181.

Warreth, A., & Elkareimi, Y. (2020). All-ceramic restorations: A review of the literature. *The Saudi dental journal*, 32(8), 365–372.

Zhang, Y., & Lawn, B. R. (2019). Evaluating dental zirconia. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 35(1), 15–23.