

Teemu Pirttijärvi ja Tempo Hopsu

CAD/CAM-tekniikalla työstettävien muovikomposiittien tekninen sidostaminen

*Syventävien opintojen kirjallinen työ
Kevätlukukausi 2016*

Teemu Pirttijärvi ja Tempo Hopsu

CAD/CAM-tekniikalla työstettävien muovikomposiittien tekninen sidostaminen

Hammaslääketieteen laitos

Kevätlukukausi 2016

Vastuhenkilö: Johanna Tanner

SISÄLLYS

- 1 Johdanto
- 2 Kirjallisuuskatsaus
 - 2.1 Suoran ja epäsuoran tekniikan eroavaisuudet
 - 2.2 Epäsuoran tekniikan materiaalit
 - 2.3 CAD/CAM-tekniikalla työstettävät muovikomposiitit
3. Tutkimuksen tavoite
4. Aineisto ja menetelmät
 - 4.1 Esivalmistelut
 - 4.2 Protokollat
 - 4.3 Näytteiden testaus
5. Tulokset
6. Pohdinta
7. Johtopäätökset

Lähteet

1. Johdanto

Perinteisesti paikkamateriaalit muotoillaan potilaan hammaspinnoilla, mitä nimitetään suoraksi paikkaustekniikaksi. Täytteet valokovetetaan ja viimeistellään purentaan sopivaksi. Epäsuoralla tekniikalla täyte valmistetaan suun ulkopuolella ja liimataan valmiina paikoilleen preparoidulle hammaspinnalle. Epäsuoria täytteitä voidaan tehdä Computer-aided desing / Computer-aided manufacturing (CAD/CAM) tekniikalla. Viime vuosina CAD/CAM-tekniikalla työstettyjen materiaalien käyttö on yleistynyt (Miyazaki ym. 2009 ja Van Noort 2012). Keraameilla on saavutettu hyvät mekaaniset ja optiset ominaisuudet. Kemiallinen pysyvyys ja yhteensopiavuus ympäröivien kudosten kanssa ovat parantuneet entisestään vuosien varrella. Keraamit ovat kuitenkin hauraita ja jäykkiä rakenteeltaan, mikä rajoittaa niiden käsittelyä. (Nguyen ym. 2014.) CAD/CAM- tekniikalla työstetyissä muovikomposiiteissa on yhdistetty tarkkuus ja kestävyys, jolloin nämä voivat toimia keraamien vaihtoehtona. Muovikomposiitit mahdollistavat nopean ja tarkan jyrkimisen. (Lauvahutanon ym. 2014.) Muovikomposiittien korjaamisessa voidaan hyödyntää sidosmuoveja ja pintojen esikäsittelyaineita, kuten silaaneja. Yleisesti kestävä sidos saadaan in-vitro-olosuhteissa, kun sidostus toteutetaan sidosaineella, joka sisältää silaanin (Staxrud, Dahl 2015).

CAD/CAM-muovikomposiitit koostuvat muovimatriksista ja epäorgaanisista keraamipartikkeleista (Ferracane 2011). Rakenne yhdistää keraamien ja muovitäytteiden suotuisat ominaisuudet kuten dentiinin kaltaisen jäykkyyden ja väsymislujuuden (Elsaka 2014). CAD/CAM-muovikomposiittien pitkäaikaiseen ennusteeseen vaikuttaa etenkin luotettava sidos mekaanisen retention ohella (Bavbek ym. 2013). Käytettävän materiaalin koostumuksen tulisi ratkaista käytettävä pintakäsittelymenetelmä. Erilaisilla kemiallisilla ja mikromekaanisilla retentioilla voidaan parantaa täytteen kiinnittymistä sidostettavaan pintaan (Lise ym. 2015). Hiekkapuhallus ja monipullotekniikalla toteutettava sidosaineiden käyttö parantaa huomattavasti sidoslujuutta (Kupiec ym. 1996, Tezvergil ym. 2003).

Hammaslääkärillä on tulevaisuudessa yhä enemmän materiaalivaihtoehtoja CAD/CAM-tekniikalla työstettäviä täytteitä suunniteltaessa. Tutkimus antaa viitteitä siitä, minkälaisilla sidostusmenetelmillä saadaan aikaan hyväennusteinen epäsuoran tekniikan täyte. Tarkastelun alla ovat etenkin sidosaineiden keskinäiset ominaisuudet sekä hiekkapuhalluksen vaikutus sidoslujuuteen. Hammaslääkäri voi hyödyntää tutkimustulosten tietoja pohtiessaan yksilöllistä hoidon tarvetta potilaan epäsuoralla tekniikalla toteutettavaa hampaiston kuntoutusta varten.

Tässä työssä tutkitaan kahden eri muovikomposiitin, Cerasmartin ja Lava Ultimaten, liimautumista muovisementteihin. Cerasmart on melko äskettäin markkinoille ilmestynyt CAD/CAM-tekniikalla työstettävä muovikomposiitti. Cerasmartilla voidaan saada aikaan melko hyvä taiputuslujuus, reunaistuvuus, ja luonnollinen ulkonäkö sekä kustannustehokkuus. Cerasmart materiaalin kanssa pyritään ensin optimoimaan esikäsitteily- ja liimaustekniikka. Parhaaksi osoittautuvalla esikäsitteily- ja liimausmenetelmällä testataan eri materiaalit ja vertaillaan saatuja sidoslujuusarvoja. Verrokkimateriaalina käytetään Empress-lasikeraamia. (Della Bona ym. 2014.)

Cerasmartin ja Lava Ultimaten käyttöindikaatioita ovat metallittomat epäsuoran tekniikan työt kuten kokokruunut, inlay- ja onlay-täytteet, laminaatit, ja implanttikruunut. Muovikomposiitit eivät kuluta vastapurijaa yhtä paljon kuin keraamit materiaalin koostumuksen, ja paremman joustavuuden vuoksi, jolloin muovikomposiittitäyte toimii puskurina purentavoimia vastaan.

2. Kirjallisuuskatsaus

2.1 Suoran ja epäsuoran tekniikan eroavaisuudet

Suoralla paikkaustekniikalla tarkoitetaan suoraan hammaslääkärin vastaanotolla tehtävää toimenpidettä, jossa paikka-ainetta applikoidaan, ja sidostetaan hampaalle pysyvästi. Suoran tekniikan täytteissä yleisimmin esiin tulevia ongelmia ovat sekundäärikaries, täytteiden murtumat, saumavuoto, täytteen värin muutokset ja pinnan kuluminen (Baig ym. 2013, Osiewicz ym. 2014). Suoralla tekniikalla on hankalampi toteuttaa hampaan pinnan anatomiset muodot. C-faktorin eli kaviteetin konfiguraatiotekijän kasvu esim. kapeissa ja syvissä kaviteeteissa johtaa sidoslajuuden heikentymiseen. C-faktorilla tarkoitetaan sidospintojen määrää suhteessa vapaiden pintojen määrään. Kutistumisjännitys ja paikkauksen jälkeinen kipu on yleistä. Keskeinen ongelma on kovettumiskutistuma, koska se johtaa epätoivottuihin vaikutuksiin, kuten täytteen saumavuotoon. Kovettumiskutistuma voi olla jopa 3 %. Tästä voi aiheutua heikkoa saumaistuvuutta, mikrovuotoa sekä kusprien murtumia. (Singh ym. 2015.) Suoran tekniikan suurimmat edut ovat täytteen nopea applikointi ja edullinen hinta verrattaessa epäsuoraan tekniikkaan. Suora tekniikka tarvitsee vain yhden hoitokäynnin, joka on suoraan yhteydessä

molempiin edellä mainittuihin tekijöihin. Pääsääntöisesti suoralla tekniikalla säästetään enemmän omaa hammaskudosta kuin epäsuoralla tekniikalla. Suoralla tekniikalla toteutetuilla pienillä täytteillä on hyvä ennuste, mutta täytteen koon kasvaessa useammalle hampaan pinnalle pitkän ajan ennuste huononee selkeästi.

Epäsuoralla tekniikalla tarkoitetaan suun ulkopuolella, joko vastaanotolla tai laboratoriossa valmistettavia täytteitä, jotka kiinnitetään valmistuksen jälkeen täytteitä varten muotoiltuun hampaistoon. Epäsuora tekniikka on lähinnä tarkoitettu laajoja paikkaustoimenpiteitä varten, sen edut korostuvat suoraan tekniikkaan verrattuna sitä enemmän mitä isompi täytettävä hampaan alue on. Epäsuora tekniikka mahdollistaa paremman hampaan karakterisoinnin ja anatomiset muodot sekä kontaktikohtien luomisen. Kovettumiskutistuma on pienempi kuin suoralla tekniikalla toteutetuissa täytteissä. Tekniikkaan kuuluvat lämpö- ja painekäsittelyt parantavat epäsuorien täytteiden kovettumisastetta, jolloin täytteet kestävät paremmin purenan aiheuttamaa räsitusta. Nämä epäsuoraan tekniikkaan liittyvät tekijät johtavat täytteen parempaan pitkäaikaisennusteeseen kuin suoralla tekniikalla toteutettavan ratkaisun tapauksessa. Epäsuoran tekniikan haittapuolena voidaan nähdä kahden tai useamman vastaanottoikäynnin tarve, mikä myös yhtenä tekijänä yhdessä mahdollisten laboratorioskulujen, ja materiaalikustannusten kanssa johtaa korkeampaan hintaan verrattaessa suoraan tekniikkaan. Monissa tutkimuksissa on todettu, että premolaareissa epäsuorat täytteet kestävät paremmin kuin molaareissa. Premolaaritäytteisiin kohdistuu vähemmän purennallista räsitusta kuin molaareihin, minkä lisäksi hampaisiin kohdistuvat toimenpiteet ja niiden puhdistus ovat helpompia toteuttaa. (Pallesen ja Qvist 2003, Manhart 2004.)

2.2 Epäsuoran tekniikan materiaalit

Käytetyimmät CAD/CAM-materiaalit ovat keraamit ja yhdistelmämuovit. Tässä tutkimuksessa käytimme tutkittavina materiaaleina keraameihin kuuluvaa Empress- lasikeraamia sekä kahta muovikomposiittia, jotka ovat koostumukseltaan yhdistelmämuovin ja keraamin yhdistelmiä.

Lasikeramian sidostuminen perustuu adhesiivitekniikkaan ja mikromekaaniseen retentioon, jolloin sidostuksen myötä saadaan luja kokonaisuus. Sidostettu keraaminen täyte lujittaa hammasta. Riittävän lujuuden vaatima tilantarve on 1,5-2mm. Pinnan viimeistely on siisti ja sileä,

joten plakin tarttumisen keramiaan on vähäisempää kuin muovitäytteisiin, jolloin sekundaarikarieksen riski on vähäisempi kuin muovitäytteitä käytettäessä. Lasikeraamiset materiaalit ovat kuitenkin hauraita, joten ne ovat alttiita murtumille. Lasikeraamin etuna on pinnan selektiivinen etsautuvuus, jolla saadaan aikaan mikromekaaninen retentio. Happokäsittelyn seurauksena syntyy kuoppia ja onkaloita, jotka ovat kooltaan sopivia täytettäväksi sidosmuovien ja muovisementtien molekyyleillä. Lisäksi piidioksidin ja muovisementtien sekä sidosmuovien molekyylien välille on mahdollista aikaansaada hyvä pinnan kostuminen ja kemiallinen sidossilaanitartunta-aineiden välityksellä. Sidos kuitenkin heikkenee, jos lasifaasi puuttuu tai sen osuus on vähäinen materiaalissa. Keramian kontraindikaatioita voivat olla bruksismi ja syväleikkeen alle ulottuvat kaviteetit, jolloin kosteuseristys ei ole riittävä. Laaja pulpa voi hankaloittaa hionnan toteuttamista, ja myös pienet ja lyhyet hampaat voivat olla haasteellisia. Pienten I- ja II-luokan kaviteettien korjaaminen ei ole järkevää epäsuoralla tekniikalla. Käytimme tässä omassa tutkimuksessamme Empress lasikeraamia. Frankenbergerin ym. (2008) tutkimuksessa Empress inlay- ja onlay- täytteet toimivat kliinisesti hyväksyttävästi 12 vuoden seurannassa. Restauraatiot, jotka sidostettiin kaksoiskovetteisella muovisementillä murtuivat harvemmin.

Suoraan suussa toteutetun paikkaustekniikan lisäksi, yhdistelmämuovista tehdyn täytteen voi valmistaa kipsimallin päällä laboratoriossa ja kiinnittää hampaaseen muovisementillä. Yhdistelmämuovi on kulta ja keramiaa edullisempi vaihtoehto. Epäsuoralla tekniikan yhdistelmämuovitäytteelle saavutetaan parempi kovettumisaste kuin suoran tekniikan yhdistelmämuovitäytteellä, sillä epäsuoran tekniikan täyte voidaan polymeroida suun olosuhteita korkeammassa lämpötilassa. Näin saadaan parempi lujuus ja näin saadaan suuremmalla todennäköisyydellä kulumiskestävämpi rakenne. Epäsuoralla tekniikalla tehdyt yhdistelmämuovitäytteet ovat edullisia sekä käyttäjäystävällisempiä ja helpommin korjattavia kuin keraamit. (Manhart ym. 2000.) Epäsuorat yhdistelmämuovitäytteet soveltuvat hyvin laajojen hammaspuutosten korvaamiseen, koska niitä käyttämällä saavutetaan hyvät kontaktit, saumat, sekä luonnollinen ulkonäkö (Wassell ym. 2000).

Kulta on epäsuorassa tekniikassa pisimpään käytössä ollut materiaali. Kulta on pehmeä metalli, jonka ajatellaan toimivan hyvin purupinnan materiaalina esimerkiksi bruksaajilla. Se muokkautuu paineen alaisena, jolloin saumatiiviyttä voidaan parantaa sementoinnin jälkeen punssaamalla. Retentio perustuu mekaaniseen lukkiutumiseen, jolloin preparointitekniikka on

keskeinen onnistumiseen vaikuttava tekijä. Täyte sementoidaan yleensä fosfaattisementillä. Kullan käyttö on vähentynyt adhesiivitekniikan ja lasikeramian käytön lisääntymisen myötä.

2.3 CAD/CAM työstettävät muovikomposiitit

CAD/CAM on tekniikka, jonka avulla pystytään valmistamaan epäsuoria täytteitä suun ulkopuolella. Tekniikka on todettu monipuoliseksi ja käyttökelpoiseksi hammaslääketieteessä. Sitä on käytetty onnistuneesti useiden keraamimateriaalien kanssa. (Awada ja Nathanson 2015.) CAD/CAM- materiaaleista tehdyt täytteet voidaan teettää nopeasti tietokoneohjelmalla vastaanotolla, jolloin vältetään väliaikaisten sementtien saostumisesta hiotun hampaan pinnalle, sekä väliaikaisille täytteille tyypillisen murtuman muodostumiselta (Frankenberger ym. 2015).

CAD/CAM tekniikan nopean kehittymisen myötä muovikomposiittien käyttö kliinisessä työssä on lisääntynyt. CAD/CAM-tekniikassa on alettu käyttää muovikomposiitteja vaihtoehtona keraamisille materiaaleille. CAD/CAM-keraamit ovat pitkällä aikavälillä kliinisissä olosuhteissa osoittautuneet CAD/CAM-muovikomposiitteja paremmiksi värin säilyvyydessä, lämpötilavaihteluihin sopeutumisessa ja pinnan karheudessa, kun taas CAD/CAM-muovikomposiitit vastustavat paremmin halkeamista ja kuluttavat vastapurijaa (kiille) vähemmän kuin työstetyt CAD/CAM-keraamit. CAD/CAM-muovikomposiittien konversioaste on parempi kuin tavallisten muovipaikkojen, minkä vuoksi CAD/CAM-muovikomposiitit ovat kestävämpiä ja niiden värit pysyvämpiä (Nobuaki ym. 2015). CAD/CAM-muovikomposiittien korjaaminen on helpompaa kuin keraamien (Tükmen ym. 2011). Muovikomposiittien retention tärkein tekijä on sidos, eikä aina edellytä kaviteetin mekaanista retentiota (Roperto ym. 2016).

CAD/CAM muovikomposiiteilla on hyväksyttävä kliininen toimintaennuste, mutta niiden toimintakyky ei ole osoittautunut paremmaksi kliinisissä tutkimuksissa suhteessa siihen, että käytetään suoraa paikkaustekniikkaa. CAD/CAM muovikomposiitit kestivät yhtä hyvin inlay-täytteinä kuin CAD/CAM-posliinit, kun niitä verrattiin kolmen vuoden kliinisessä tutkimuksessa (Fasbinder ym. 2005). Thordrup ym. (2006) tutkimuksessa todetaan, että 10 vuoden tarkastelun jälkeen epäsuorat muovikomposiitti-inlay-täytteet toimivat kliinisesti suun olosuhteissa ja purennassa. Kyseisessä tutkimuksessa epäsuorien muovikomposiittitäytteiden toimintaennuste vastasi suoralla tekniikalla toteutettavia restauraatiota. Batalha-Silva ym.

(2013) vertasivat tutkimuksessaan suoraa paikkaustekniikkaa ja CAD/CAM tekniikkaa ham- paissa, joihin oli tehty samanlaiset MOD kaviteetit. Kyseisessä *in vitro* tutkimuksessa CAD/CAM tekniikalla saatiin paremmat väsymislujuusarvot, ja tutkimuksen CAD/CAM tekniik- kalla tehtyjen paikkojen toimintaennuste (100%) oli huomattavasti korkeampi kuin suoralla paikkaustekniikalla tehtyjen täytteidien (13%), mutta voidaan todeta että molemmat pärjäsi- vät tavanomaisiin fysiologisiin purentavoima-arvoihin asti hyvin. Tästä voidaan päätellä, että CAD/CAM inlay paikkoja kannattaa miettiä etenkin voimakkaasti purevilla potilailla. Toi- saalta, edellä mainitun Thordrupin kliinisen tutkimuksen tulosten valossa voidaan arvioida suurimmat hyödyt CAD/CAM muovikomposiiteilla saavutettavan laajemmissa, onlay-tyyppi- sissä täytteisissä. *in vitro* tutkimuksissa CAD/CAM muovikomposiittikruunut kestävät hyvin jopa molaarialuiden purentarastitukset (Shembish ym. 2015).

Epäsuorien muovikomposiittien suosion lisääntyminen on johtunut huomattavasta mekaanis- ten ominaisuuksien kehittymisestä. Eniten on lisääntynyt ulkonäöllisesti korkeatasoisten, me- tallittomien ja kudosityhteensopivien materiaalien kysyntä, mikä merkitsee selvää etua epäsuo- rille muovikomposiiteille. (van Dijken 2000, Jongsma ym. 2012 ja Fennis ym. 2014.) Muovi- komposiitit kestävät hyvin jyrkintää, joten niitä voidaan muokata nopeammin, ja niillä voidaan saavuttaa parempi marginaalinen istuvuus. CAD/CAM muovikomposiittien kiillotus sekä pu- rentaan sovitus saadaan lyhyessä ajassa optimaaliseksi. (Giordano 2006.)

Tavallisimmat epäsuorien muovikomposiittitäytteidien epäonnistumiseen johtavat tekijät ovat murtumat, marginaalisen sauman pettäminen, sekundaarikaries sekä postoperatiivinen oi- reilu (Manhart 2004, Frankenberger ym. 2015). Dentiini voi kontaminoitua tai vahingoittua hoitojakson aikana. Yleisesti ottaen maksimaalinen sidoslujuus dentiiniin saavutetaan, kun hybridikerros muodostetaan heti preparoinnin jälkeen (Sharon ym. 2013). Täytteidien margi- naalinen istuvuus muuttuu huonommaksi ajan myötä. Erityisenä CAD/CAM- muovikomposiit- tien kliinisenä ongelmana pidetään valokovettamisen heikon etenemisen materiaalissa. Tämä vaikuttaa selkeästi kovettumisasteeseen ja sidoslujuteen. Riittämätön kovettuminen voidaan havaita dentiinitubulusten sisäisen polymerisaation vähäisenä määränä. Tämä ongelma voi- daan välttää käyttämällä esimerkiksi kaksoiskovetteisia muovisementtejä sidostettaessa CAD/CAD- muovikomposiitteja. (Frankenberger ym. 2015.)

Keraamien on todettu kuluttavan enemmän vastapurijaa kuin muovien tai metallien (Li Zhi ym. 2016). Epäsuorien täytteiden valmistaminen vaatii enemmän potilastyöaika ja vaatii väliaikaisen tätemateriaalin hoitajaksojen välille. Epäsuora tekniikka ei salli hionnalle allemenoja, joita voidaankin käyttää hyödyksi suoralla tekniikalla preparoitaessa.

3. Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kahden eri CAD/CAM menetelmällä työstettävän muovikomposiitin, Cerasmartin (CS) ja Lava Ultimaten (LVU), sidoslujuus muovisementtiin, sekä erilaisten pintakäsittelymenetelmien vaikutusta siihen.

Kahden erilaisen CAD/CAM-muovikomposiitin, Lava Ultimaten ja Cerasmartin, sidoslujuuksia testattiin erilaisilla sidostusmenetelmillä. Tuloksia verrattiin kontrollina toimineeseen leusiittilujitettuun lasikeraamiin (IPS Empress CAD; Taulukko 1). Tutkimuksen lähtökohtana oli ensimmäisenä selvittää, millä sidosaineella Cerasmartin sidoslujuus on suurin, kun sidostuksen kohteena on Relyx Ultimate-kiinnityssementti, jonka jälkeen parhaiten testeissä pärjännyttä sidosainetta käytettiin myös Lava Ultimaten testauksessa.

Tarkoituksena oli myös saada käsitystä siitä, minkälaisissa tilanteissa CAD/CAM-muovikomposiittia voisi ajatella käytettäväksi keraamisen täytteen sijasta kliinisessä työskentelyssä. Huomiota kiinnitettiin erityisesti teknisen sidostamisen herkkyyden ja hiekkapuhaltamisen merkitykseen sidoksen lujuudessa. CAD/CAM-muovikomposiitille optimoitiin paras mahdollinen sidostusmenetelmä, jotta saatiin selville suurin mahdollinen sidoslujuus Relyx Ultimate-kiinnityssementtiin.

Käytettyjä sidosaineita olivat Scotchbond Universal (3M Espe), Ceramic Primer (GC) ja Composite primer. Tässä tutkimuksessa saatiin myös vertailevia tuloksia siitä, millä sidosaineella saadaan suurin sidoslujuus Relyx Ultimate-kiinnityssementtiin. Tavoitteena oli myös selvittää hiekkapuhalluksen raekoon merkitystä sidoslujuuteen.

Tässä tutkimuksessa perehdyttiin nimenomaan epäsuoralla tekniikalla työstettävien muovikomposiittien tekniseen sidostamiseen. Tutkimustulokset voivat antaa ohjeistusta klinikolle, millä sidostusmenetelmällä saavutetaan hyväennusteinen ja tasapainoisessa purennassa kestävä hoitoratkaisu. Etenkin Cerasmart on suhteellisen uusi CAD/CAM-muovikomposiitti, joten tutkimustulokset antavat lisätietoa tämän materiaalin luonteesta ja sidostumisesta vakiintuneisiin sidosaineisiin.

4. Aineisto ja menetelmät

Taulukko 1 Käytetyt CAD/CAM-materiaalit. Muovimatriksin osuus ilmoitettu painoprosentteina.

<i>Materiaali</i>	<i>Symboli</i>	<i>Valmistaja</i>	<i>Rakenne</i>
Cerasmart	CS	GC Dental Products	Polymeeriä 29% + siliikaatti -ja barium lasin nanopartikkeleita 71%
Lava Ultimate Restorative	LVU	3M ESPE	Polymeeriä 20% + siliikaatti -ja zirkonia-nanopartikkeleita 80%
IPS Empress CAD	EMP	Ivoclar Vivadent	Leusiittilujitettua lasikeraamia

Taulukko 2 Testatut materiaalit ja niiden esikäsittelymenetelmät

<i>Materiaali</i>	<i>Esikäsittelymenetelmä</i>	<i>Sidosmuovi</i>	<i>Sementti</i>	<i>Kappalemäärä</i>
<i>Cerasmart (CS)</i>	<i>Cojet 30μM-alumiinioksidihiekka</i>	<i>Ceramic Primer</i>	<i>Relyx Ultimate</i>	<i>8</i>
<i>Cerasmart (CS)</i>	<i>Cojet 30μM-alumiinioksidihiekka</i>	<i>Composite Primer</i>	<i>Relyx Ultimate</i>	<i>10</i>
<i>Cerasmart (CS)</i>	<i>Cojet 30μM-alumiinioksidihiekka</i>	<i>Scotchbond Universal</i>	<i>Relyx Ultimate</i>	<i>20</i>
<i>Cerasmart (CS)</i>	<i>Cojet 50μM-alumiinioksidihiekka</i>	<i>Scotchbond Universal</i>	<i>Relyx Ultimate</i>	<i>20</i>
<i>Empress</i>	<i>Fluorivetyhappoet-saus</i>	<i>Scotchbond Universal</i>	<i>Relyx Ultimate</i>	<i>19</i>
<i>Lava Ultimate</i>	<i>Cojet 50μM-alumiinioksidihiekka</i>	<i>Scotchbond Universal</i>	<i>Relyx Ultimate</i>	<i>24</i>

4.1 Koekappaleiden valmistus

Tutkimuksessa käytettiin testaustelineenä sähköputkesta tehtyjä lieriön mallisia tukia, jotka sahattiin vannesahalla (Fox) sopivan kokoisiksi. Testaustelineistä hiottiin epätasaisuudet käsin sekä koneellisesti. Käsin tehdyissä hionnoissa käytettiin 180 grit-paperia karkeaan hiontaan, ja 1000 grit-paperia viimeistelyyn. Käsin tehdyissä hionnoissa tehtiin koneellinen viimeistely LapoPol-21-laitteella. Koneellinen hionta (300 rpm) suoritettiin Struers RotoForce-1- ja RotoPol-11- laitteistolla.

CAD-CAM-materiaalit muokattiin sopivan kokoisiksi vannesahalla (Fox) ja histologisella sahalla (Struers Secotom-50), sekä Macrocab-teknisellä poralla. CAD-CAM- materiaalit kiinnitettiin sähköputkiin sidostamalla valokovetteisella resiinillä, 50/50 Bis-GMa TEGDMA. Valokovetus tapahtui käsin 40 sekuntia (3M Espe Elipar S10) ja koneellisesti 11 minuuttia (Ivoclar – Targis Power).

Insuliiniruiskujen rungoista muokattiin sopivat muotit kiinnityssementin applikoinnin varmistamiseksi CAD-CAM-materiaaliin.

Testattuja sidosaineita olivat GC:n Ceramic Primer ja Composite primer sekä 3M Espe Scotchbond Universal. Lava Ultimaten sidostamisessa käytettiin samaa protokollaa, minkä totesimme Cerasmartilla parhaaksi. Kontrolliryhmä Empress etsattiin ensin fluorivetyhapolla, jonka jälkeen sidostettiin Scotchbond Universalilla Relyx Ultimate-kiinnityssementtiin.

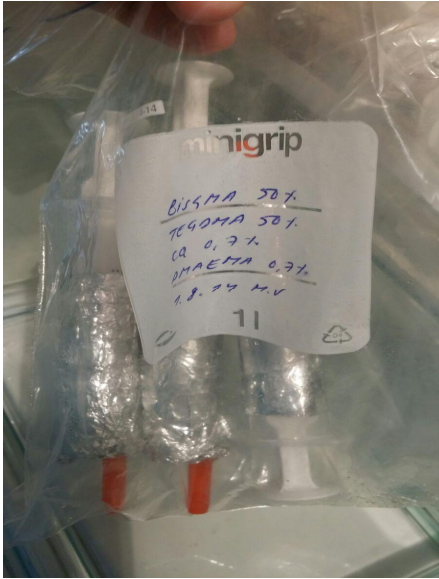
Yksi yleisimmistä menetelmistä parantaa materiaalin mekaanista retentiota on käsitellä se alumiinioksidipitoisella hiekkapuhalluksella, jolloin sidostettava pinta puhdistuu ja sidostuspinta-ala kasvaa. Riippuen materiaalista hiekkapuhallus voi toimia myös kemiallisena esikäsitelyinä kun pinta silanoidaan tai käsitellään muulla sidosaineella. (Bähr ym. 2013, Keul ym. 2013, Stawarczyk 2014.) Alumiinipitoinen hiekkapuhallus voi aiheuttaa huomattavaa vahinkoa CAD/CAM-muovikomposiitin sidostettavaan pintaan. Sidostuksessa käytettiin joko 30 μ m- tai 50 μ m-partikkelikokoista Cojet-hiekkaa (alumiinioksidi). Hiekkapuhalluksessa käytettävä paine oli 2.8bar. Pinnan käsittely alumiinioksidipitoisella hiekkapuhalluksella parantaa adhesiivisesti sementoidun CAD/CAM-muovikomposiitin vetolujuutta (Stawarczyk ym. 2012).



Kuva 1 Vannesahalla valmistettiin näyteputket



Kuva 2 Histologisella sahalla muokattiin CAD/CAM- blokkeja



A



B

KUVA 3 CAD/CAM- materiaalit sidostettiin näyteputkiin resiinillä



A



B

KUVA 4 Näyteblokkien valokovetus käsin (A). Koneellisesti (B) 11 minuutin valokovetus.



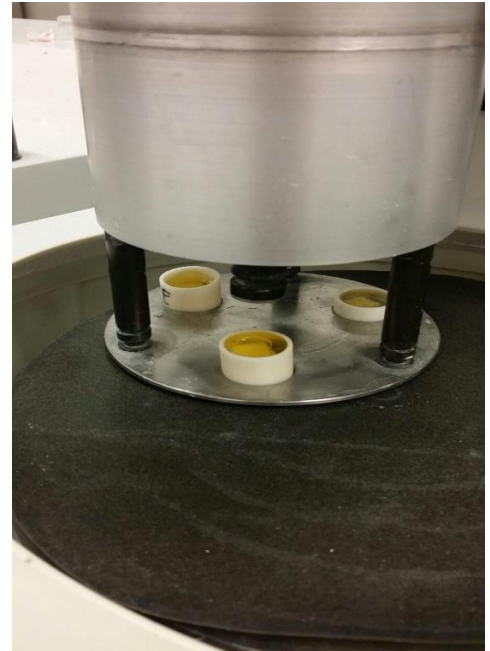
A



B



C



D

KUVA 5 CAD/CAM- blokkien hionta hiontapaperilla käsin sekä koneellisesti.

4.2 Protokollat

Cerasmartin yleisessä sidostusprotokollassa Cojet-hiekkapuhalsimme joko 30 μ m- tai 50 μ m- alumiinioksidihiekalla materiaalin pintaa. Testattavan hoitoyksikön ilmanpaine vakioitiin arvoon 280 kPa. Pinnan karhennuksen jälkeen tehtiin sidostus. Sidosaineina käytettiin Scotchbond Universalia, Composite primeria ja Ceramic primeria. Muovikomposiitin pinnalle applikoitiin Relyx Ultimate- kiinnityssementti. Lava Ultimaten yleisessä sidostusprotokollassa Cojet- hiekkapuhalsimme 50 μ m- alumiinioksidihiekalla materiaalin pintaa. Pinnan karhennuksen jälkeen tehtiin sidostus. Sidosaineena käytettiin Scotchbond Universalia. Muovikomposiitin pinnalle applikoitiin Relyx Ultimate- kiinnityssementti. Empress- lasikeraamin yleisessä sidostusprotokollassa pinta karhennettiin fluorivetyhappoetsauksella. Pinnan karhennuksen jälkeen tehtiin sidostus. Sidosaineena käytettiin Scotchbond Universalia. Lasikeraamin pinnalle applikoitiin Relyx Ultimate- kiinnityssementti. (Taulukko 2)

Cerasmart ja Lava Ultimate näytteiden käsittely:

- 1) Hiekkapuhallus (Cojet) 15 sekuntia
- 2) Kevyt ilmapuhallus
- 3) Sidosaineen applikointi 5 sekuntia
- 4) Valokovetus 20 sekuntia
- 5) Sementin ruiskutus muovisen muotin kautta sidostuspinnalle
- 6) Valokovetus 20 sekuntia

Empress näytteiden käsittely:

- 1) Fluorivetyhappoetsaus 15 sekuntia
- 2) Huuhtelu ja kevyt ilmapuhallus
- 3) Sidosaineen applikointi 5 sekuntia
- 4) Valokovetus 20 sekuntia
- 5) Sementin ruiskutus muovisen muotin kautta sidostuspinnalle
- 6) Valokovetus 20 sekuntia

4.3 Näytteiden testaus

Ennen näytteiden testausta näytteet olivat kuivana vähintään kahden vuorokauden ajan lämpökaapissa 38,5 asteessa.

Näytteiden testauksessa käytettiin LR30K Plus- laitteistoa (Lloyd Instruments) sidoslujjuuden selvittämiseksi. Tässä leikkauslujjuustestissä laite taivutti sementtipilaria (Relyx ultimate) 90 asteen kulmassa sidostuspintaan nähden. Testauskärki kalibroitiin CAD-CAM- materiaalin ja sementtipilarin sidostuspintaan (interface). Laite taivutti pilaria murtumiseen asti ja tieto siirtyi tietokoneelle, josta saatiin tarvittava informaatio. Laitteisto kalibroitiin seuraavasti:

Puristusvoimaksi määritettiin maksimissaan 2500N. Alustava kuormitusvoima (preload) oli 3N. Kuormitusvoiman nopeus alkuvaiheessa oli (preload speed) 10mm/min. Testinopeus oli 1mm/min. Taivutus (Extension) 6mm asti. Sementtipilarin halkaisija oli 3,7mm.

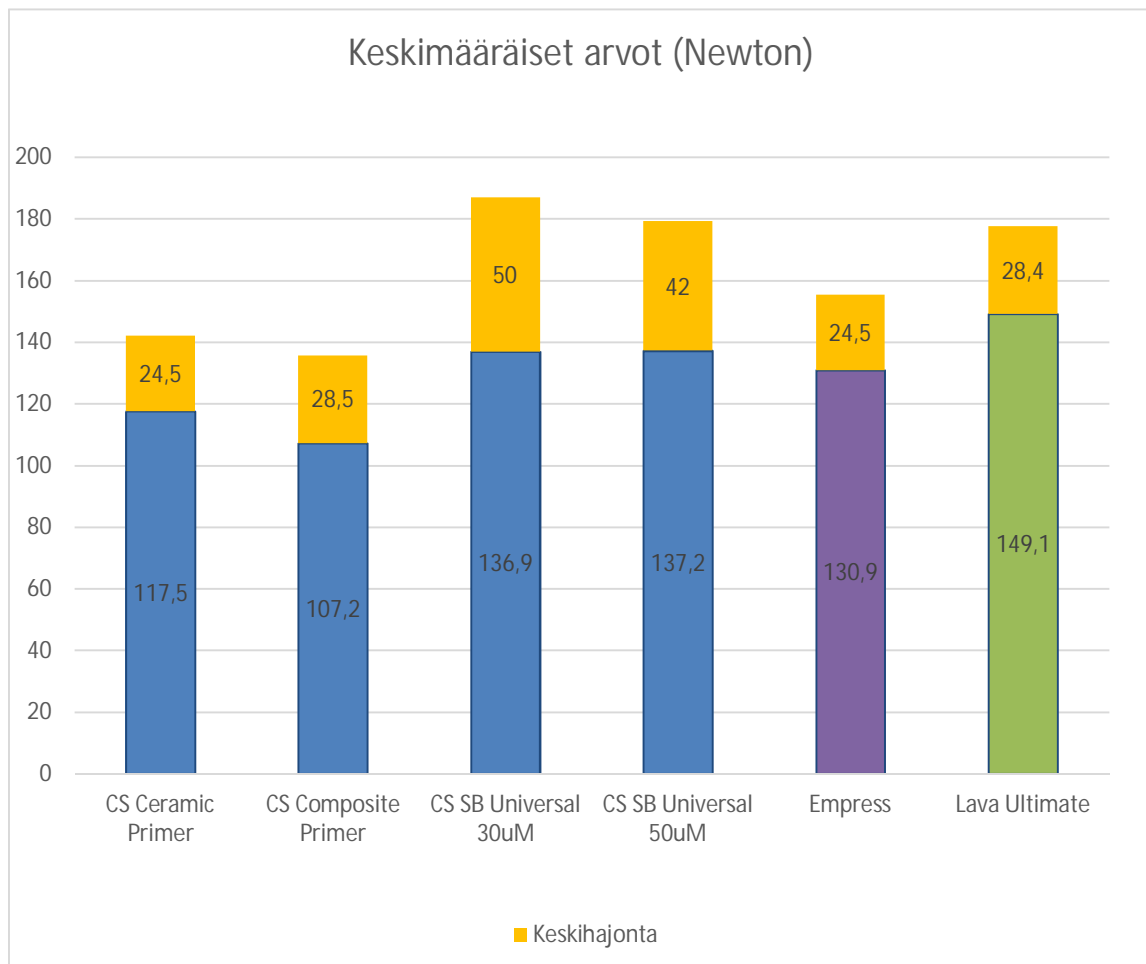
Jokaisen taivutuksen yhteydessä kirjattiin ylös materiaalin murtumatyyppi. Näitä tyyppejä olivat adhesiivinen tai kohesiivinen murtumistapa. Adhesiivisessä murtumatyyppissä sidos peittää CAD-CAM- materiaalin ja sementtipilarin välistä (interface). Kohesiivisessä murtumatyyppissä materiaalin sisäinen lujuus on pienempi kuin sidoslujuus, jolloin se havaitaan materiaalin murtumisena ja sidos pysyy ennallaan. Kirjasimme testauksen aikana materiaalien murtumatyyppit. Murtumatyyppin pystyimme päättelemään irronneen pilarin ja materiaalin pinnan tarkastelun avulla.

4.4 Tilastomenetelmät

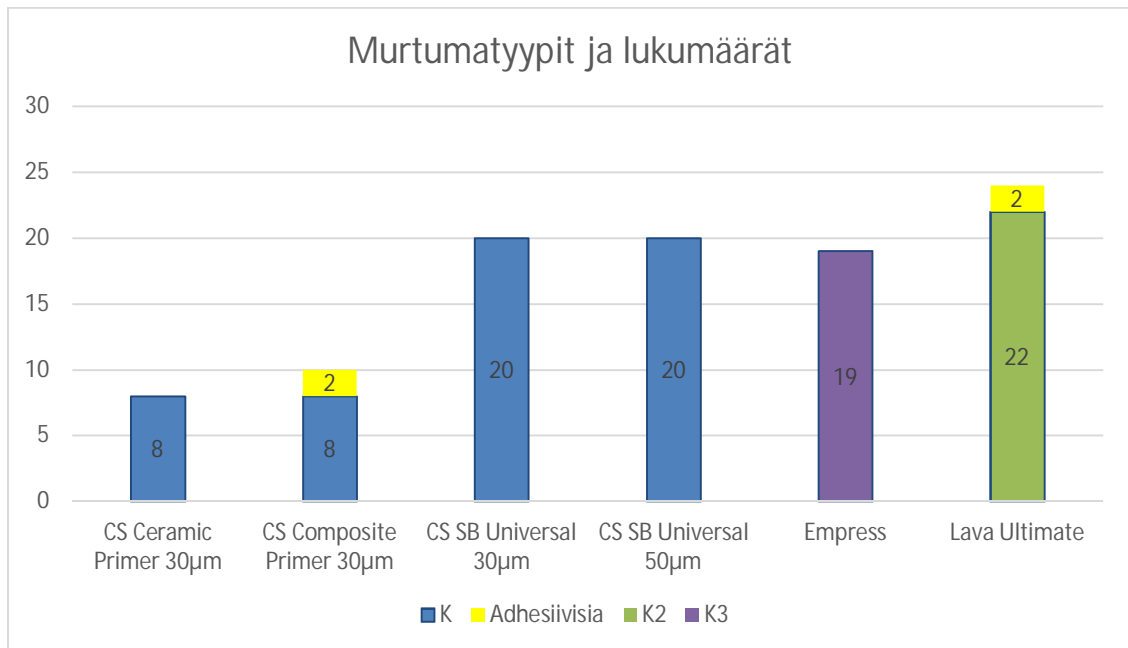
Tutkimuksen tulokset analysoitiin SPSS tilasto-ohjelmalla. Analysoinnissa käytettiin varianssi-analyysiä (ANOVA), ja parittaisvertailutestiä (Tukeyn post hoc – testi). Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi valittiin $p= 0.05$.

5. Tulokset

Parhaan sidoslujouden saavutti Lava Ultimate Cojet 50 μ m hiekkapuhalluksella ja Scotchbond Universal sidosaineella. Heikoin sidoslujuus mitattiin Cerasmartilla, joka oli Cojet 30 μ m hiekkapuhallutettu ja sidostettu Composite primerilla. Suurin keskihajonta oli Cerasmartilla, joka hiekkapuhallutettiin Cojet 30 μ m- hiekkalla ja sidostettiin Scotchbond Universalilla. Pienimmät keskihajonnat saavuttivat Empress sekä Cerasmart, jotka sidostettiin Ceramic Primerilla. (Kuva 6) Pääosin testattavat materiaalit murtuivat koheisiivisesti, jolloin materiaalin sisäinen lujuus oli heikompi kuin sidoksen lujuus. (Kuva 7) Satunnaisia adhesiivisesti murtuneita materiaaleja olivat Cerasmart, joka oli sidostettu Composite Primerilla sekä Lava Ultimate.



Kuva 6 Eri esikäsittelymenetelmillä saavutetut Relyx Ultimate muovisementin murtovoimat tutkittuihin materiaaleihin (N). Keltainen palkki ilmaisee arvojen keskihajonnan.



Kuva 7 Tutkittavien materiaalien ja muovisementin väliset murtumatyypit testauksen yhteydessä. Keltainen palkki ilmaisee adhesiivisten murtumien lukumäärän. Kohesiiviset murtumat ilmaistu K:lla.

Materiaalien ja eri esikäsittelymenetelmien saamat sidoslujusarvot olivat kaiken kaikkiaan melko samankaltaisia. Pienin sidoslujusarvo mitattiin Cerasmartilla, joka oli esikäsitelty Composite primerilla ja korkein vastaavasti Lava Ultimateella (hiekkapuhalluksen raekoko 50uM, ja sidosaine Scotchbond Universal). Näiden ryhmien välillä todettiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p > 0.05$). Muut materiaalit ja esikäsittelymenetelmät sijoittuivat edellämainittujen välille eivätkä eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Taulukko 3).

Taulukko 3 Ryhmien eroavaisuudet ja samankaltaisuudet tilastollisesti.

Parittaisvertailutesti (Tukeyn post- hoc- testi)

Tukey HSD^{a,b}

group	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
CS Composite Primer 30 uM	10	9,956	
CS Ceramic Primer 30 uM	8	10,924	10,924
Empress	19	12,181	12,181
CS SB Universal 30 uM	20	12,729	12,729
CS SB Universal 50 uM	20	12,763	12,763
Lava Ultimate	24		13,871
Sig.		,222	,177

6. Pohdinta

Tässä kokeellisessa työssä tutkittiin kahden erilaisen muovikomposiitin liimautumista muovisementtiin ja erilaisen pintakäsittelyn vaikutusta niihin. Vertailumateriaalina käytettiin lasi-
keraamia.

Cerasmartin sidoslujuuden testauksissa totesimme, että Scotchbond Universalin sidoslujuus Relyx Ultimaten kanssa oli muita sidosaineita (Ceramic primer & Composite primer) parempi (Kuva 6). Scotchbond Universal sitoutuu silaanin avulla Cerasmartin silikaatti- ja bariumlasi-
nanopartikkeleihin, muovimatriksin lisäksi. Ceramic primerin sisältämä silaani sitoutuu tehokkaasti Cerasmartin silikaatti – ja bariumlasi-
nanopartikkeleihin, kun taas Composite primer sitoutuu Cerasmartin muovi-matriksiin. Ceramic primerin ja composite primerin välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

Tutkimustulosten perusteella päädyimme tekemään lisätutkimuksia Cerasmart + hiekkapuhallus + Scotchbond + Relyx Ultimate-
protokollalla. Hiekkapuhalluksessa käytimme kahta eri rae-
koon Cojet-hiekkaa, 30µm ja 50µm. Cerasmartin sidoslujuus Relyx Ultimate-kiinnityssementtiin oli aavistuksen suurempi 50µm Cojet-
hiekalla, mutta tuloksella ei ole tilastollista merkitystä.

Cerasmart- tutkimusten perusteella päädyimme testaamaan Lava Ultimatea 50µm Cojet-
hiekalla sekä Scotchbond Universal sidosaineella, koska ne olivat antaneet parhaat tulokset testeissä. Lava Ultimate saavutti testiryhmän parhaan keskiarvon sidoslujuudessa (Kuva 6).

Verrokkiryhmä Empress oli ainoa testiryhmä, joka käsiteltiin fluorivetyhapolla, koska tutkimustulokset ovat osoittaneet, että Empressin käsittely fluorivetyhapolla antaa hiekkapuhallukseen verrattuna sidokselle paremmat lujuusarvot (Yavuz ym. 2015).

Suurin keskihajonta oli yhdistelmällä: Cerasmart 30 uM hiekkapuhallus + Scotchbond Universal + Relyx Ultimate. Kuva 6.

Cerasmart CAD-CAM- materiaalia on helppo korjata, sillä se sidostuu resiinipohjaisiin sidosaineisiin ja on edullisempi vaihtoehto kuin Empress- lasikeraami. Lava Ultimate suoriutui hyvin sidosljuustesteissä. Cerasmartin ja Lava Ultimaten keskinäisen vertailun arviointi vaatii lisätutkimuksia. Tässä tutkimuksessa ei selvinnyt merkittävää eroa kyseisten materiaalien sidostumisessa Relyx Ultimate- kiinnityssementtiin. Tässä tutkimuksessa saatiin käsitys siitä, millä sidosaineella saadaan kestävin sidosljuus Cerasmartin ja Relyx Ultimaten välille. Hiekkapuhalluksen raekolla (30uM versus 50uM) ei ollut merkittävää eroa sidosljuuteen. Lisätutkimuksen tarve on ilmeinen, kun ajatellaan Cerasmartin käyttöä kliinisessä työssä esimerkiksi lasikeraamin korvaajana.

Kaikilla tutkituilla materiaaleilla saatiin aikaan hyvä sidosljuus muovisementtiin. Tutkimuksessa käytettiin Relyx Ultimate- kiinnityssementtiä, joka on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu vastaavanlaisessa käytössä muita yleisessä käytössä olevia (Variolink Esthetic, Gcem Link Ace) kiinnityssementtejä paremmaksi (Cecic-Nagas ym. 2016). Relyx Ultimaten valinnalla pyrittiin pääsemään mahdollisimman hyviin sidosljuusarvoihin. Tämän tutkimuksen tulokset eivät poikenneet merkittävästi aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista, joissa on testattu vastaavia materiaaleja. Cerasmart ja Lava Ultimate ovat osoittaneet kestävänsä hyvin sidosljuusmittauksissa. (Cecic-Nagas ym 2016.) Frankenberger ym. (2015) tutkivat in vitro tutkimuksessaan etenkin muovikomposiittien sidoksen kestävä vetolujuutta. Testattujen materiaalien välillä oli eroja sidosljuuksissa, mutta kokonaisuudessaan Cerasmart ja Lava Ultimate osoittivat lupaavaa kiinnittymistä kaksoiskovetteiseen muovisementtiin. Tutkimustulosten perusteella materiaaleilla on hyvä potentiaali puskuroida purentavoimia suun olosuhteiden kaltaisessa ympäristössä.

Valmistajien antamat suositukset sidostusmenetelmän käytöstä ovat käyttökelpoisia ja tuottavat lupaavia vetolujuusarvoja CAD/CAM- muovikomposiiteille. Lava Ultimaten sidostamiseen suositellaan ainoastaan hiekkapuhallusta. (Frankenberger ym. 2015.)

Tutkimusta suunniteltaessa oletuksena oli, että muovikomposiittien liimautuminen muovisementtiin olisi heikompaa kuin lasikeraamin. Tulokset eivät kuitenkaan vahvistaneet tätä oletusta, vaan lasikeraaminäytteiden (Empress- ryhmä) sidosljuuksien keskiarvo oli matalin ja tilastollisesti samankaltainen kuin muut Scotchbondilla sidostetut muovikomposiittinäytteet. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että kontrolloiduissa laboratorio-olosuhteissa muo-

vikomposiitteihin voidaan saada lasikeraamien sidosta vastaava sidoslujuus. Tätä ei voida yhdistää suoraan kliiniseen toimivuuteen, mutta antaa viitteitä hyvään ennusteeseen. In-vivo olosuhteissa liimasaumaan kohdistuu myös muita voimia, kuten purennalliset liikkeet eri suunnissa, ruokamateriaali, happamuusaste, bakteerit yms. Laboratorio-olosuhteissa tehtävä räsitus on vain suora leikkausvoima.

Silaanipohjaisten primereiden käyttöön liittyy sidoksen heikkenemisen riski veden hydrolyytisen vaikutuksen takia. On osoitettu, että silaanipohjaisilla keraamiprimereilla aikaansaatu hyvä sidos heikkenee spontaanisti 3-4 vuoden vesisäilytyksessä, koska keraamien pinnalla olevat hydroksyyliyhdyttävät saattavat reagoida vesimolekyylien kanssa aiheuttaen hydrolyysiä. Lisäksi lämpökäsittelyn vaikutuksesta aiheutuu lämpölaajenemista sekä lisääntynyttä materiaalien välistä puristusta. Tästä johtuen materiaalien rajapintaan kohdistuu räsitusta, jolloin sidoslujuus voi heikentyä. Näiden kahden mekanismin yhdistelmä, hydrolyysi ja sidoksen rajapintaan kohdistuva räsitus, oli tärkein sidoslajuuden heikentymiseen vaikuttava tekijä. (Heikkinen ym. 2013.)

7. Johtopäätökset

Tutkimuksemme tulosten perusteella näyttää siltä, että CAD/CAM muovikomposiiteilla voidaan saavuttaa lasikeraamia vastaava sidoslujuus muovisementtiin ainakin lyhytkestoisien vesisäilytyksen jälkeen. Cerasmart, joka sidostettiin 50 μ M Cojet-hiekalla ja Scotcbond Universalilla (Debonding force 137,2 N), saavutti hieman lujemman sidoslajuuden kuin kliinisessä käytössä oleva Empress- lasikeraami. Lava Ultimatella oli testiryhmän pienimpiin kuuluva keskijajonta ja suurin sidoslajuuden keskiarvo.

CAD/CAM tekniikalla työstettävät muovikomposiitit ovat nopeita jyrsiä, kiillottaa ja hioa purentaan sopivaksi ja ovat edullisempia materiaaliratkaisuja kuin perinteiset keraamit. Kliinisessä työssä voi olla indikoitua käyttää etenkin suurissa hammaskudoksen puutoksissa epäsuoralla tekniikalla työstettyjä muovikomposiitteja.

Tämän tutkimuksen tulokset olivat yhden spesifisen sidostusprotokollan antama näyttö laboratorio-olosuhteissa, joten lisää erilaisten sidostusmenetelmien tutkimusta tulisi lisätä, jotta saataisiin laajempi ja yleisempi kuva CAD/CAM muovikomposiittien sidostumisesta erilaisiin hammaslääkärin vastaanotolla oleviin sementteihin. Sidoslajuuden hajonta voi olla suurtakin erilaisten käytettyjen hiekkapuhallusten ja sidosaineiden välillä.

Lähteet

Awada A, DDS, MSD and Nathanson D, DMD, MSD Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM. *JProsthet Dent*. 2015 Oct;114(4):587-93. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.04.016. Epub 2015 Jul 2.

Baig Mirza Mubashir, Mustafa Mohammed , Jeaidi Zaid A. Al, Al-Muhaiza Mohammed: Microleakage evaluation in restorations using different resin composite insertion techniques and liners in preparations with high c-factor – An in vitro study, *King Saud University Journal of Dental Sciences* 07/2013; 4(2):57–64 2013

Batalha-Silva S, de andrada MA, Maia HP, Magne P. Fatigue resistance and crack propensity of large MOD composite restorations: Direct versus CAD/CAM inlays. *Dental materials* 29 2013 324-331.

Bavbek AB, Goktas B, Cekic-Nagas I, Egilmez F, Ergun G, Eskitascioglu G. Micro-shear bond strength of resin cement to dentin after application of desensitizing toothpastes. *Acta Odontol Scand* 2013;71:952-6

Bähr N, Keul C, Edelhoff D, Eichberger M, Roos M, Gernet W, et al. Effect of different adhesives combined with two resin composite cements on shear bond strength to polymeric CAD/CAM materials. *Dent Mater J*. 2013;32:492-501.

Cekic-Nagas I DDS, PhDa,*, Ergun G DDS, PhDa, Egilmez F DDS, PhDa, Vallittu PK CDT, DDS, PhDb,c, Lassila LVDDS, MsC, Eng: Micro-shear bon strength of different resincements to ceramic/glass-polymer CAD-CAM block material (2016)

Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dent Mater* 2014;30:564-9

Elsaka SE. Bond strength of novel CAD/CAM restorative materials to self-adhesive resin cement: the effect of surface treatments. *J Adhes Dent* 2014;16:531-40

Fasbinder DJ, Dennison JB, Heys DR, Lampe K. The clinical performance of CAD/CAM-generated composite inlays. *J Am Dent Assoc*. 2005 Dec;136(12):1714-23.

- Fennis WM, Kuijs RH, Roeters FJ, Creugers NH, Kreulen CM. Randomized control trial of composite cuspal restorations: five-year results. *J Dent Res* 2014;93:36–41.
- Ferracane JL. Resin composite – state of art. *Dent Mater* 2011;27:29-38
- Frankenberger R, Taschner M, Garcia-Godoy F, Petschelt A, Krämer N: Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years – *J Adhes Dent*. 2008 Oct; 10(5):393-8
- Frankenberger, Hartmann, Krech, Krämer, Reich, Braun, Roggendorf: Adhesive luting of new CAD/CAM materials 2015. *Int J Comput Dent*. 2015;18(1):9-20
- Giordano R. Materials for chairside CAD/CAM-produced restorations. *JADA* 2006;137(9 Suppl):14S–21S.
- Heikkinen TT, Matinlinna JP, Vallittu PK, Lassila LV. *Open Dentistry* 2013; 7: 123–125.
- Jongsma LA, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Clinical success and survival of indirect resin composite crowns: results of a 3-year prospective study. *Dent Mater* 2012;28:952–60.
- Keul C, Martin A, Wimmer T, Roos M, Gernet W, Stawarczyk B. Tensile bond strength of PMMA- and composite-based CAD/CAM materials to luting cements after different conditioning methods. *Int J Adhesion Adhes*. 2013;46:122-7.
- Kupiec KA, Barkmeier WW. Laboratory evaluation of surface treatments for composite repair. *Oper Dent* 1996;21(2):59-62.
- Lauvahutanon S, Takahashi H, Shiozawa M, Iwasaki N, Asakawa Y, Oki M, et al. Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent Mater J* 2014;33:705-10
- Li Zhi, DMD, Tisiana Bortolotto, Dr, PhD, and Ivo Krejci, DMD, PhD. Comparative in vitro wear resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2016.
- Lise DP, Perdigão J, Van Ende A, Zidan O, Lopes GC. Microshear bond strength of resin cements to lithium disilicate substrates as a function of surface preparation. *Oper Dent* 2015;40:524-32
- Manhart 2004 Manhart & Others: Review of the Clinical Survival of Direct and Indirect Restorations

Manhart J, Scheibenbogen-Fuchsbrunner A, Chen HY, Hickel R. A 2-year clinical study of composite and ceramic inlays. *Clin Oral Investig*. 2000;4:192-8.

Miyazaki T, Hotta , Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J* 2009;28:44-56

Nguyen JF, Ruse D, Phan AC, Sadoun MJ. High-temperature-pressure polymerized resin-infiltrated ceramic networks. *J Dent Res* 2014;93:62-7

Nobuaki Arao, Keiichi Yoshida, Takashi Sawase 2015. Effects of air abrasion with alumina or glass beads on surface characteristics of CAD/CAM composite materials and the bond strength of resin cements.

Osiewiczza, Wernerb, Pytko-Polonczyka, Roetersb, Kleverlaanb, Contact- and contact-free wear between various resin composites. *Dental Materials*. 2015 Feb;31(2):134-40 2014

Pallesen U, Qvist V 2003. Composite resin fillings and inlays. An 11-year evaluation. *Clin Oral Investig*. 2003 Jun;7(2):71-9. Epub 2003 May 10.

Roperto ym. *Dent Res J (Isfahan)*. 2016 Mar-Apr; 13(2): 117–123. Effect of different adhesive strategies on microtensile bond strength of computer aided design/computer aided manufacturing blocks bonded to dentin

Singh TV, Patil JP, Raju RC, Venigalla BS, Jyotsna SV, Bhutani N. Comparison of Effect of C-Factor on Bond Strength to Human Dentin Using Different Composite Resin Materials. *J Clin Diagn Res*. 2015 Aug;9(8):ZC88-91. doi: 10.7860/JCDR/2015/14026.6384. Epub 2015 Aug 1.

Sharon E ym. Retention or adhesion? 2013 Apr;30(2):24-9, 79.

Shembish Fatma A, Hui Tong, Marina Kaizer, Malvin N. Janal , Van P. Thompson, Niek J. Opdam, Yu Zhang: Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns (2015)

Stawarczyk B, Basler T, Ender A, Roos M, Özcan M, Hämmerle C. Effect of surface conditioning with airborne—particle abrasion on the tensile strength of polymeric CAD/CAM crowns luted with self-adhesive and conventional resin cements. *J Prosthet Dent* 2012; 107:94-101.

Stawarczyk B, Stich N, Eichberger M, Edelhoff D, Roos M, Gernet W, et al. Long-term tensile bond strength of differently cemented nanocomposite CAD/CAM crowns on dentin abutment. *Dent Mater*. 2014;30:334-42.

Staxrud F, Dahl JE. Silanising agents promote resin-composite repair. *Int Dent J*. 2015 Dec;65(6):311-5. doi: 10.1111/idj.12188. Epub 2015 Oct 9.

Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK. Composite-composite repair bond strength: Effect of different adhesion primers. *J Dent* 2003;31(8):521-5.

Thordrup, Marianne/Isidor, Flemming/Hörsted-Bindslev, Preben: A prospective clinical study of indirect and direct composite and ceramic inlays, 2006

Tükmen C, Durkan M, Cimilli H, Öksüz M. Tensile bond strength of indirect composites luted with three new self-adhesive resin cements to dentin. *J Appl Oral Sci*. 2011;19:363-9.

Van Dijken JW. Direct resin composite inlays/onlays: an 11year follow-up. *J Dent* 2000;28:299–306.

Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012;28:3-12

Wassell RW, Walls AWG, McCabe JF. Direct composite inlays versus conventional composite restorations: 5-year follow-up. *Journal of Dentistry*. 2000;28:375-82.

Yavuz T, Özyılmaz ÖY, Dilber E, Tobi ES, Kiliç HŞ: Effect of Different Surface Treatments on Porcelain-Resin Bond Strength. (*J Prosthodont*. 2015 Oct 19. doi: 10.1111/jopr.12387)