

Lasikuituvahvisteisen sillan valmistus injektiotekniikalla

FRC FPD injektiotekniikalla

Syventävien opintojen kirjallinen osuus

Turun yliopisto

Lääketieteellinen tiedekunta

Hammaslääketieteen laitos

Oppiaine: Biomateriaalitiede

Laatija(t):

Elisa Miikkulainen

Saana Ranta

Ohjaaja(t):

HT, EHL, HLT Jasmina Bijelic-Donova

Prof. Pekka Vallittu

07.05.2024

Turku

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Tiivistelmä

Tämä tutkielma on tehty tutkimusprojektina, jonka tavoitteena on testata uutta menetelmää valmistaa lasikuitusiltoja suoralla tekniikalla. Kirjallisen työn lisäksi opiskelumateriaali sisältää suppean testaussarjan, valokuvaussarjan ja videomateriaalia injektiotekniikalla valmistettavasta lasikuitusillasta. Kirjallisuusosuus käsittelee hammaslääketieteessä käytettäviä kuitulujitteisia muoveja ja niiden käyttöindikaatioita, mutta siinä painotetaan lasikuitujen käyttöä kuitulujitteisissa siltarakenteissa. Tässä tutkielmassa käytetään lasikuitulujitteisesta hammassillasta lyhennettä lasikuitusilta. Tutkielmassa perehdytään lasikuitusiltojen suunnittelussa huomioon otettavaan tehokkuuskertoimen tärkeyteen ja sen soveltamiseen käytännössä, semi-IPN matriisin ominaisuuksiin, lasikuitusiltojen tyypeihin ja valmistusteknikoihin. Tutkielmassa selvitetään myös klinisen käytön ongelmakohtia. Tutkitaan myös injektiotekniikan käyttöindikaatioita sekä sen mahdollista hyödyntämistä lasikuitusiltojen valmistuksessa suoralla tekniikalla hammaslääkärin vastaanotolla.

Avainsanat: lasikuitu, lasikuitusilta, kuitulujitteinen hammassilta, kuitulujitteinen muovi, injektiotekniikka

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	KIRJALLISUUSKATSAUS	3
2.1	Hammaslääketieteessä käytettävät kuidut	3
2.1.1	Lasikuitu.....	3
2.1.2	Polyetyleenikuitu.....	3
2.2	Krenchel-tehokkuuskerroin ja kuitulujitteisten muovien lujuuteen vaikuttavat tekijät..	3
2.3	Semi-IPN verkostorakenne – osittais-lomittais-verkosto polymeerimatriisirakenne	6
2.4	Krenchel-tehokkuuskertoimen ja semi-IPN verkostorakenteen hyödyntäminen lasikuitusillan valmistuksessa käytännössä	8
2.4.1	Rungon suunnittelu.....	8
2.4.2	Välihammas	10
2.5	Lasikuitusiltatyypit	10
2.5.1	Pintakiinnitteinen (kevyt)silta ja mikroinvasiivinen silta	10
2.5.2	Kaviteettikiinnitteinen ja vaippakruunukiinnitteinen silta	12
2.5.3	Hybridikiinnitteinen silta	12
2.6	Lasikuitusiltojen valmistustekniikat	13
2.6.1	Suora tekniikka (vastaanotolla <i>ns.</i> chair-side).....	13
2.6.2	Epäsuora (hammaslaboratoriossa)	13
2.6.3	Semi-direct (suun ulkopuolella valmistettu lasikuiturunko)	14
2.7	Lasikuitusiltojen toimintaennuste	15
3	TUTKIMUKSEN TAVOITE	19
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	20
4.1	Lasikuituvahvisteisen sillan valmistus injektiotekniikalla	20
4.2	Potilastapaus	28
4.3	Omat mielipiteet injektiotekniikasta	33
4.4	Kuormankantokyky	34
4.5	Opintomateriaalin toteutus	37
5	POHDINTA	38

1 JOHDANTO

Lasikuitulujitteiset muovit ovat hammaslääketieteessä vielä varsin uusi materiaalityyppi. Materiaalin ominaisuudet ovat riippuvaiset kuitujen suunnasta ja määrästä. Tämän vuoksi kuitulujitteisen muovin käyttöön liittyy ns. teknikkaherkkyttä: kuituja laitetaan joko riittämätön määrä tai ne sijoitetaan ja lujitettu runko-osa muotoillaan väärin. Lasikuitusilloja valmistetaan huomioimatta materiaalin vaatimaa tilan tarvetta, minkä seurauksena joko lasikuituja tai fasadimuovia ei mahdu riittävästi, tai approksimaaliset puhdistusvälit jäävät ahtaiksi. Lasikuitujen sidostuspinnan asianmukainen käsittely on usein myös puutteellinen. Esikäsittelymenetelmien kehittämisen myötä lasikuitujen käsiteltävyys on kuitenkin huomattavasti parantunut, minkä ansiosta niiden käyttö on yleistynyt.

Lasikuitulujitteisilla muoveilla on nykyään useita eri käyttökohteita. Lasikuidun yksi yleisimmistä käyttökohteista hammaslääketieteessä on kuitulujitteiset hammassillat. Lisäksi lasikuitua käytetään muun muassa parodontologisissa kiskotuksissa sekä yksilöllisissä ja tehdasvalmisteisissa juurikanavaan asetettavissa kuitunastoissa. Kuiduilla voidaan myös vahvistaa akryyliosaproteeseja ja niistä voidaan valmistaa erilaisia ortodonttisia kojeita, kuten tilansäilyttäjiä.

Lasikuitumateriaali koostuu itse lasikuiduista ja niitä yhteen kiinnittävästä polymeerimatriisista. Hyvä lasikuitujen impregnoituminen ja kiinnittyminen ympäröivään polymeerimatriisiin on tärkeää, jotta kuitukomposiittirakenteeseen kohdistuva kuormitus saadaan siirtymään lujitekuitujen kannattavaksi. Lasikuitujen silanointi parantaa niiden sitoutumista polymeereihin (Vallittu 1997a), mutta rakenteen lujuuteen vaikuttavat myös kuitujen määrä ja suunta (Vallittu 1997b). Kuitujen tehtävä on antaa vahvuutta ja polymeerimatriisin suojaa kuituja ja välittää kuormituksen kuiduille.

Lasikuitusillalla voidaan korvata yhden tai useamman hampaan menetyksestä aiheutuvaa puutosaukkoa hampaistossa. Verrattuna muihin kiinteän protetiikan hoitomuotoihin, lasikuitusilta on nopea, kudosta säästävä hoitomuoto ja kustannuksiltaan edullinen hoitovaihtoehto. Tavanomaisin indikaatioalue on yksi puuttuva hammas tilanteessa, jossa naapurihampaat ovat vähän restauroituja, mutta implanttahoito ei ole mahdollinen tai väliaikaisena ratkaisuna implanttihoidon aikana. Vaativat purentaolosuhteet ja korkea kariesaktiivisuus ovat tämän hoidon kontraindikaatioita.

Erilaisia lasikuitulujitteisen sillan tyyppejä ovat pintakiinnitteinen, kaviteettikiinnitteinen ja hybridikiinnitteinen. Pintakiinnitteinen lasikuitusilta valmistetaan yleensä etualueelle ja se kiinnitetään karhennetuille hampaiden pinnoille. Kaviteettikiinnitteisessä lasikuitusillassa hyödynnetään yleensä vanhan täytteen kaviteetteja tai tukihampaisiin preparoidaan kaviteetit. Hybridikiinnitteisestä lasikuitusilloista puhutaan, kun rungon kiinnityksessä yhdistetään vaippakruunu- ja pinta- tai kaviteettikiinnitys.

Lasikuitusillan valmistustekniikoita on myös erilaisia. Lasikuitusilta voidaan valmistaa joko suoralla, epäsuoralla tai näiden yhdistelmää käyttävällä (semi-direct – tekniikka) tekniikalla. Suorassa tekniikassa lasikuitusilta valmistetaan kokonaan hammaslääkärin vastaanotolla suoraan potilaan suussa. Epäsuorassa tekniikassa hammaslääkäri ottaa preparoinneista tarkkuusjäljennöksen, jonka jälkeen hammasteknikko valmistaa koko lasikuitusillan kipsimallilla. Valmis lasikuitusilta sementoidaan hammaslääkärin vastaanotolla tukihampaisiin. Myös semi-direct - tekniikassa hammaslääkäri preparoi tukihampaat ja ottaa jäljennöksen. Hammasteknikko valmistaa laboratoriossa vain lasikuiturungon. Hammaslääkäri kiinnittää lasikuiturungon tukihampaisiin, peittää sen juoksevilla yhdistelmämuovilla ja rakentaa sekä muotoilee välihampaan yhdistelmämuovilla.

Lasikuitusilta on kaikkein edullisin, kun se valmistetaan suoraan vastaanotolla potilaan suussa eli suoralla tekniikalla. Tällöin vältetään laboratoriokustannuksilta. Suora tekniikka on myös nopein tapa valmistaa lasikuitusilta, sillä sen valmistus vaatii vain yhden käynnin vastaanotolla. Tekniikka vaatii kuitenkin perehtymistä kuitujen käsittelyyn sekä harjoitusta, ja siksi se usein koetaan työläänä.

Tässä työssä tutkitaan mahdollisuutta valmistaa lasikuitusilta injektitekniikalla, jonka tavoitteena on yksinkertaistaa ja nopeuttaa lasikuitusillojen valmistusta suoraan vastaanotolla. Tekniikassa purentaa kestävä juokseva yhdistelmämuovi injektoidaan läpinäkyvän muotin läpi halutulle alueelle. Tekniikkaa voidaan hyödyntää lasikuitusilloissa välihampaan rakentamiseen. Injektitekniikkaa käytetään usein esimerkiksi purenta korotuksissa, jossa kulunut hampaisto korjataan yhdistelmämuovilla (Geštakovski 2019, Ypei Gia ym. 2021). Dokumentoimme lasikuituvahvisteisen sillan valmistuksen injektitekniikalla valokuvin ja videomateriaalin avulla. Tämän lisäksi, tässä työssä vertaillaan perinteisellä suoralla tekniikalla ja injektitekniikalla tehtyjen lasikuitusillojen kuormankantokykyä. Aiheesta ei tietäksemme ole aikaisempia tutkimuksia.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Hammaslääketieteessä käytettävät kuidut

2.1.1 Lasikuitu

Lasikuitu on yleisin hammaslääketieteessä käytetty kuitumateriaali kuitulujitteisissa komposiiteissa. Lasikuituja on olemassa useita erilaisia, näistä esimerkkejä ovat E-, S- ja AR-lasikuidut. Lasikuidut ovat kaikki stabiileja ympäristön suhteen, eli ne eivät reagoi ympäristön vaikutuksiin. Lasikuidut ovat läpinäkyviä ja lasikuitulujitteiset komposiitit pystytään kiillottamaan, joten niillä on parempi estetiikka kuin monilla muilla kuitukomposiiteilla. Lasikuiduilla on hyvä kyky vastustaa jännitystä ja estää murtuman eteneminen komposiitissa (van Heumen ym. 2009). Lasikuitujen pinta voidaan silanoida ja saada kuitujen ja matriisimuovin välinen sidos lujaksi. Tuote-esimerkkejä lasikuitukomposiitista ovat esimerkiksi Stick, everStick C&B, everXFlow ja Fiber Splint.

2.1.2 Polyetyleenikuitu

Toiseksi eniten käytetty kuitutyyppi hammaslääketieteessä on polyetyleenikuitu (UHMP – ultra-high-modulus polyethylene). Tuote-esimerkkeinä ovat Ribbond, DVA Fibers ja Connect, joista eniten käytetty on Ribbond. Polyeteenikuitujen sidostaminen polymeereihin on huono, eikä sitä voi parantaa silanoimalla (Vallittu 1997a). Siksi niiden käyttö ei ole indikoitua suurta taivutuslujuutta ja väsymiskestävyyttä vaativissa kohteissa (Vallittu 1997b).

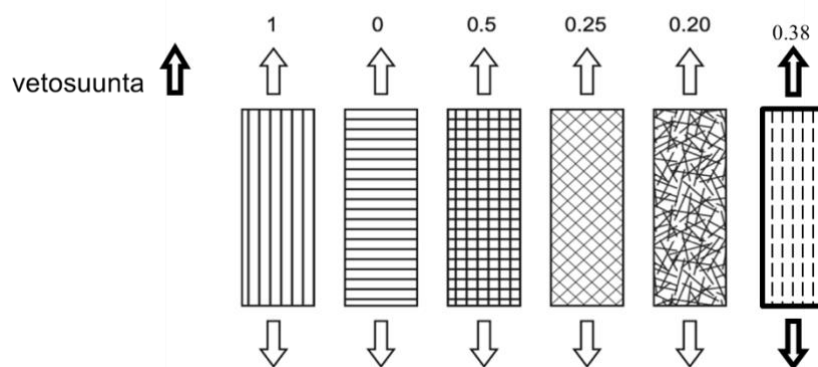
2.2 Krenchel-tehokkuuskerroin ja kuitulujitteisten muovien lujuuteen vaikuttavat tekijät

Kuitujen suunnan ja siihen liittyvän Krenchel-tehokkuuskertoimen hampaisiin kohdistuvien rasitusvoimien (puruvoimien) suuntien ymmärtäminen on edellytys kuitulujitteisten siltojen runkojen oikealle suunnittelulle sekä onnistumiselle. Oikein suunnitellussa kuitulujitteisessa rakenteessa lasikuidut ovat mitoitettu ja muotoiltu niin, että siihen kohdistuva rasitus siirtyy kuitujen kannettaviksi.

Tehokkuuskerroin kuvaa kuitulujitteen lujitusvaikutusta, joka perustuu kuitujen suuntaan (Vallittu ja Nohrström 1997). Yhdessä suunnassa kulkevat kuidut (yhdensuuntainen kuitu) lujittavat kuiturakennetta vain yhdessä suunnassa; lujuus on suurimmillaan kohtisuoraan kuituja vastaan olevassa rasitus suunnassa. Silloin ne estävät murtumalinjoja parhaiten.

Kuiturakenteen ominaisuudet ovat tässä tapauksessa ei-isotroopiset (suunnasta riippuvia) ja Krenchel-tehokkuuskerroin on 1 (eli suurimmillaan). Yhdensuuntaiset kuidut eivät vahvista kuiturakennetta kuitujen suunnassa olevassa rasitussuunnassa, jolloin kuidut eivät estä murtuman etenemistä (Krenchel-tehokkuuskerroin 0). Kahdensuuntaisen kuidun (lujitekuitukankaan) tehokkuuskerroin on $1/2$ (*ts.* 0.5), joka käytännössä tarkoittaa, että kahdensuuntaisella kuidulla lujitettu kuiturakenne on vahva kahdessa suunnassa. Kuiturakenteen ominaisuudet ovat tässä tapauksessa ortotroopiset ja rakenteen lujuus vaihtelee kuitujen keskeisen suuntauksen mukaan. Jos kahdessa suunnassa kulkevat kuidut ovat kohtisuorassa keskenään (90 asteen kulmassa) Krenchel-tehokkuuskerroin on $1/2$ ja mikäli kuidut ovat 45 asteen kulmassa, se on $1/4$ (*ts.* 0.25). Katkokuiduilla lujitettu komposiitti on kaikissa suunnissa yhtä luja. Kuiturakenteen ominaisuudet ovat tässä tapauksessa isotroopiset siten, että Krenchel tehokkuuskerroin on $1/5$ (*ts.* 0.20) jos katkokuittujen suunta on satunnainen tai $3/8$ (*ts.* 0.38) jos katkokuidut ovat järjestäytyneet yhdensuuntaisesti (Kuva 1). (Vallittu ja Nohrström 1997, Callister ja Rethwisch 2018.) Katkokuituja voidaan hyödyntää lasikuitusillan välihampaan muotoilussa.

Lasikuitujen sijoittamisen lisäksi impregnoituminen ja kiinnittyminen polymeerimatriisiin ovat ratkaisevia tekijöitä lujuuden kannalta. Kuituja voi itse impregnoida (kostuttaa monomeerilla) manuaalisesti ennen käyttöä tai vaihtoehtoisesti voi käyttää valmiiksi impregnoituja kuitutyppejä. Valmiiksi impregnoituilla kuitukomposiiteilla on paremmat mekaaniset ominaisuudet (Perea-Lowery ym. 2018). Niiden käyttö helpottaa kliinistä lasikuitusillan valmistusta, mutta niiden käytöllä ei ole havaittu merkittävää vaikutusta lasikuitusillan kliiniseen kestävyYTEEN (Frese 2014).



Kuva 1. Kaavakuva kuitujen suuntaamisesta. Vasemmalta oikealle: Krenchel 1 – yhdensuuntaiset kuidut ovat samansuuntaisia vetosuunnan kanssa (kuiturakenne lujitettu 100 %). Krenchel 0 – yksisuuntaiset kuidut ovat kohtisuorassa vetosuuntaan nähden (kuiturakenne lujitettu 0 %). Krenchel 0.5 – kahdensuuntaiset kuidut ovat suorassa kulmassa keskenään ja kohtisuorassa vetosuuntaan nähden (kuiturakenne lujitettu 50 %). Krenchel 0.25 – kahdensuuntaiset kuidut ovat 45 asteen kulmassa keskenään ja 45 asteen kulmassa vetosuuntaan nähden (kuiturakenne lujitettu 25 %). Krenchel 0.20 – katkokuidut ovat järjestäytyneet satunnaisesti ja

Krenchel 0.38 – katkokuidut ovat järjestäytyneet samansuuntaisesti vetosuuntaan nähden (kuiturakenne lujitettu 20 % ja 38% vastaavasti) (Modifioitu lähteestä Vallittu ja Matinlinna. Types of FRCs used in dentistry. Teoksessa P.K. Vallittu, M. Özcan (toim.). Clinical guide to principles of fiber-reinforced composites in dentistry. 2017; s.15.).

Kuitulujitteisten muovien lujuuteen vaikuttavat siis 1. kuitujen ominaisuudet suhteessa polymeerimatriisiin ominaisuuksiin, 2. kuitujen impregnoituminen eli kyllästysaste polymeerimatriisilla, 3. kuitujen adheesio eli kiinnittyminen polymeerimatriisiin, 4. kuitujen suunta, 5. kuitujen määrä ja järjestäytyminen (Vallittu 1997a). Lasikuitukomposiittien ominaisuudet ovat räätälöitävissä ja lasikuiturungon suunnittelussa tulee muistaa materiaalin ei-isotroopinen luonne. Näin ollen, yhdensuuntaista kuitua tulee käyttää silloin, kun murtuman etenemisen suunta on ennustettavissa, kuten esimerkiksi kuitunastoissa ja kiinteiden siltojen välihampaissa. Kahdensuuntainen kuitu sopii tilanteisiin, joissa murtumalinjan aloituskohtaa ja suuntaa ei voida ennustaa, kuten esimerkiksi kruunuissa. Kahdensuuntainen kuitu ei lujita yhtä paljon kuin yhdensuuntainen kuitu, mutta se lisää murtumasitkeyttä, kiertojäykkyyttä ja väsymiskestävyyttä (Vallittu 1997a, Vallittu 1997b).

Kuitulujitteisten komposiittien mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttavat useat tekijät, joita ovat kuidun tyyppi, kuitujen ja polymeerimatriisin suhde, kuitujen ja matriisin ominaisuudet sekä kuitujen järjestäytyminen. Kuitulujitteisten komposiittien fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat kuitujen vetolujuus, kuitujen sekä matriisin joustavuus, kuitujen impregnoituminen ja adheesio matriisiin sekä kuitujen pintakäsittely, kuten silanointi. Fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikuttavat myös kuitujen suunta, pituus, määrä ja halkaisija. Kuormankantokykyyn vaikuttavat materiaalin tilavuusosuudet ja materiaalien välinen sidostuvuus. Kuitulujitteiset komposiitit, joissa kuitujen pituuden ja halkaisijan suhde on suuri, ovat lujia ja vastustavat murtumia paremmin kuin pienen muotosuhteen (eng. aspect ratio, l/d) kuitulujitteiset komposiitit (Perea-Lowery ym. 2018). Veden imeytyminen polymeerimatriisiin heikentää kaikkien komposiittien fysikaalisia ominaisuuksia (Lassila ym. 2004). Tämän vuoksi rakenne pitää mitoittaa kantamaan kuormitusta myös vesiabsorption tapahduttua.

Kuitujen käyttö riittävän suurena määränä vähentää myös rakenteiden murtumariskiä. Mitä useampaa kuitua käytetään lujittamaan rakennetta, sitä pienempi riski on murtumille (Perea-Lowery ym. 2018). Tämä tarkoittaa sitä, että murtumalinjan tulisi silloin löytää tuhansien yksittäisten kuitujen pinnoilta pintavirheen edetäkseen kuitulujitteisessa materiaalissa.

Murtumalinja alkaa jännityksen puolelta, eli paineen vastakkaiselta puolelta. Rakennetta vahvistavat kuidut tulisi tästä syystä asettaa vetojännityspuolelle.

2.3 Semi-IPN verkostorakenne – osittais-lomittais-verkosto polymeerimatriisirakenne

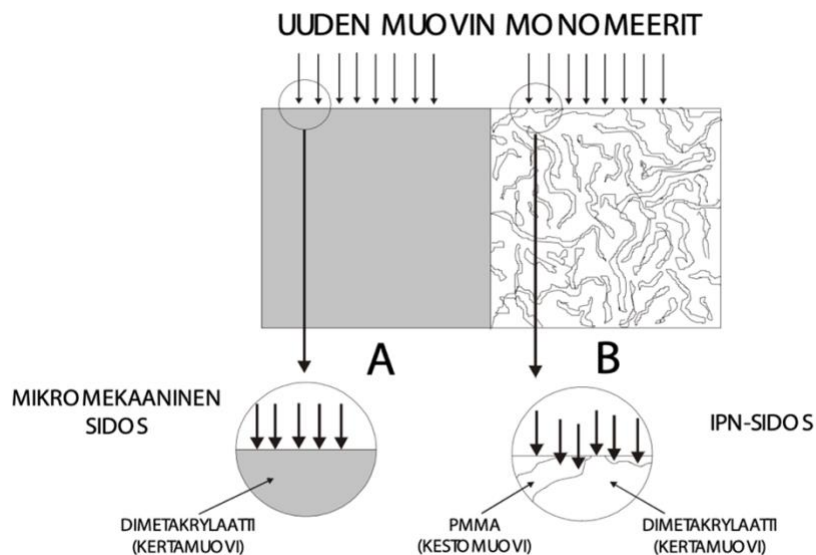
Materiaalin sidosominaisuudet vaikuttavat rakenteen kestävyYTEEN ja pitkäaikaisen toimivuuteen suun olosuhteissa. Kun puhutaan kuitulujitteisista rakenteista, on muistettava, että kuitulujitteisen komposiitin matriisin tyyppi on ratkaisevin sidostamiseen vaikuttava tekijä. Kuitulujitteisen komposiitin matriisi voi olla lineaarinen (polymetyylimetakrylaatti, PMMA), ristiinsilloitettu (bisphenol A-glycidyl methacrylate, BisGMA) tai osittaislomittainen polymeeriverkosto (BisGMA-PMMA) eli *ns.* semi-interpenetrating polymer network, josta käytetään lyhennettä semi-IPN network (semi-IPN verkosto).

semi-IPN verkoston muodostuminen on mahdollinen vain, jos matriisi sisältää sekä lineaarista polymeeriä (PMMA) eli kestumuovivyöhykkeitä ja ristisilloituvaa dimetakrylaattimonomeeriä (BisGMA) eli kertamuovia (Kuva 2). BisGMA-PMMA yhdistelmän PMMA ketjuja on mahdollista liuottaa tarpeeksi pienimolekyylisillä monomeereilla (esim. MMA ja HEMA), jolloin se saadaan uudelleen sidostumaan toiseen polymeerimatriisiin, kuten yhdistelmämuoviin tai sementtiin. IPN-kiinnittyminen tapahtuu nanotasolla ja puhutaankin nanomekaanisesta sidoksesta. (Lastumäki 2002.) Tilanteissa, joissa BisGMA-PMMA muovia valokovetetaan kuiturungon muotoilun aikana (*ts.* kuiturunko ei ole työstetty eikä loppukovetettu) tai sitä käytetään suoraan tekniikan paikkauksessa, tapahtuu myös kemiallinen sidostuminen tahmean happi-inhibitiokerroksen ansiosta (Bijelic-Donova ym. 2015). Loppukovetuksen jälkeen saadaan primaarinen IPN-sidos. Happi-inhibitiokerrosta poistetaan kiillotuksen yhteydessä tai happisulkugeelillä (esim. Oxyguard, Kuraray tai vaseliini), mutta kuitupintojen sidostuspinoille muodostuu ohut kertamuovikalvo. Tämä muodostuu resiinistä, jota käytetään lasikuitujen käsittelyssä tai kostuttamisessa. Kuitulujitteisen rakenteen sementointia varten tulee siksi em. kertamuovikalvoa poistaa esimerkiksi karhentamalla tai hiekkapuhaltamalla, ja sitten aktivoida uudelleen IPN-sidosta. Mekaaninen käsittely (karhennus poralla tai heikkapuhallus) paljastaa kestumuovivyöhykkeitä (eli PMMA kerroksia), joita tulee sen jälkeen liuottaa monomeerilla. Tätä varten tulee varmistaa, että sementtikohalliset adhesiiviresiinit sisältävät pieniä molekyyliä, jotka pystyvät tunkeutumaan

kestomuovimatriisiin ja muodostumaan sekundaari-IPN sidoksen (Lastumäki 2002, Bijelic-Donova ym. 2015, Khan ym. 2018). Tällaisia resiinejä ovat esimerkiksi Sctochbond Multi-purpose adhesive-resiini, Stick Resin, Clearfil SE adhesive-resiini, Composite Primer ja G-Multi Primer (da Silva ym. 2018, Khan ym. 2018). Sama käsittely ja sidospriaate pätee myös korjaustoimenpiteisiin (Bijelic-Donova ym. 2018a, Bijelic-Donova 2018b).

IPN - sidoksen muodostuminen ei siis ole mahdollinen, jos polymeerimatriisi on vain ristisilloitettua muovia (esim. Vectis, FibreKor, Splint It, Dentapreg Splint), koska ne sisältävät vain ristiinsilloittuneita vyöhykkeitä, jotka eivät liukene sidosmuovien monomeereilla. (Lastumäki 2002, Vallittu 2008).

Mainittakoon vielä, että viime vuosina on puhuttu gradienttimaisesta rakenteesta, johtuen siitä, että semi-IPN verkoston pintakerroksessa on enemmän lineaarista polymeeria kuin sisäosissa. Tätä kutsutaan semi-IPN-gradienttirakenteeksi (kerros-syvyysrakenne) ja se vaikuttaa sekundaari-IPN sidoksen lujuuteen esimerkiksi lasikuitusillojen sementoinnissa tai korjaustoimenpiteissä (Khan ym. 2018, Khan ym. 2019).



Kuva 2. IPN-sidosta ei muodostu tapauksessa, jossa jo kovetettu muovimatriisi on pelkästään ristisilloitettua kertamuovia (A). Jos kovetettu muovimatriisi sisältää sekä kestomuovivyöhykkeitä että kertamuovia voidaan IPN-sidosta hyödyntää (B) (Lastumäki T. Lasikuitulujitetun sillan ja kruunun sidosominaisuudet uuteen muoviin. Hammasteknikko 2002; 2:5-8).

2.4 Krenchel-tehokkuuskertoimen ja semi-IPN verkostorakenteen hyödyntäminen lasikuitusillan valmistuksessa käytännössä

2.4.1 Rungon suunnittelu

Lasikuitusillan kuiturunko koostuu useimmiten yhdensuuntaisia jatkuvia lasikuituja sisältävästä kuitulujitteisesta komposiitista, joka päällystetään kauttaaltaan yhdistelmämuovilla. Näiden kahden komponentin tulee muodostaa yhtenäinen rakenne, jotta sitä kuormittavat voimat jakautuisivat mahdollisimman tasaisesti. Rungon suunnittelu vaikuttaa kuitusillan kliiniseen kestävyYTEEN ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Näihin pystytään vaikuttamaan muuttamalla kuitujen suuntausta. Myös sillä, miten kuidut ovat kiinnittyneet polymeerimatriisiin, on vaikutusta mekaanisiin ominaisuuksiin. Kuitujen geometrialla on lisäksi merkitystä rungon joustavuuteen ja lujuuteen. Yhdensuuntaisilla kuiduilla saadaan hyvä taivutuslujuus ja kuormankantokyky. Parhaiten frakturoitumista vastustaa anatomisesti muotoillut rungot (Behr ym. 2005, Perea-Lowery ym. 2018).

Taka-alueen siltoja rakentaessa olisi suositeltavaa asettaa kaksi yhdensuuntaista kuitua, toinen jännite- ja toinen painepuolella. Sekä etu- että taka-alueen silloissa tulisi välihampaan aluetta vahvistaa lisäkuiduilla. Välihampaan alueelle saadaan enemmän tukea lisäämällä runkoon kuitunippu kohtisuoraan muiden kuitujen suuntaa nähden, toisin sanoen poikittaiskuitu. Taka-alueella poikittaiskuitu asetetaan bukko-oraali suuntaan ja etualueella pystysuoraan (inkiso-kervikaali suuntaan). Poikittaiskuiduilla voidaan lisätä rungon joustavuutta tai lujuutta, estää delaminaatiota eli yhdistelmämuovin irtoamista kuiturungolta sekä myös estää murtuman etenemisen rungossa (Vallittu ja Shinya 2017, Freilich ym. 2002, Xie ym. 2007).

Kuitujen määrä poikittaislujitteessa vaikuttaa rungon kuormankantokykyyn. Yksi kuitunippu sisältää 2000-4000 yksittäistä yhdensuuntaista lasikuitua. On suositeltavaa asettaa yksi 4000 yhdensuuntaista yksittäistä lasikuitua sisältävä kuitunippu runkoon, kun korvataan yksi hammas etualueella. Kaksi tällaista nippua tulee asettaa, kun korvataan kaksi hammasta etualueella. Premolaarialueella asetetaan kaksi nippua, kun korvataan yksi premolaari ja kaksi tai kolme nippua, kun korvataan kaksi premolaaria. Kolme nippua tulisi asettaa, kun korvataan molaari. Lisäksi on huomattu, että etualueen silloissa murtumisriski kasvaa, kun runkoon (välihampaan alueelle) lisätty poikittaiskuitu on litteä bukko-palatinaalisuunnassa. Pienempi murtumisriski on, kun poikittaiskuitu on paksu ja pyöreä (Dyer ym. 2004).

Käytettävien materiaalien lisäksi sillan kestävyys ja onnistumiseen vaikuttaa rungon sijainti siltarakenteessa kokonaisuutena. Oikein sijoitettu runko mahdollistaa kuormittavien voimien tasaisen jakautumisen kuiduille. Siltarakenteissa suurin rasitus kohdistuu ns. konnektorialueelle. Lasikuiturungon asettaminen vetojännityspuolelle lisää rakenteen jäykkyyttä ja murtumalujuutta, joten rungon asettaminen mahdollisimman gingivaalisesti taka-alueilla mahdollistaa suurimman kuormankantokyvyn. Suurin vetojännitys syntyy välihampaan pohjaan, joten siitäkin syystä kuidut tulisi asettaa mahdollisimman lähelle alveoliharjannetta. Lasikuiturunkoon on suotavaa lisätä vielä toinen kuitu, joka kulkee puristujajännitys (kompressio) puolella eli okklusaalikolmanneksessa. Jännityksen aiheuttamaa rasitusta konnektorialueelle voidaan vähentää myös paralleelikuiduilla eli siivekkeillä, jotka ulottuvat tukihampaan bukkaali- tai palatinaali-/linguaalipuolelle. (Vallittu ja Shinya 2017, Perea-Lowery ym. 2018.). FEM-mallinnuksella on havaittu konnektorialueelle muodostuvan myös suuria leikkausjännityksiä (shear-stress), joita kuitujen lujitusvaikutus pystyy myös vastustamaan.

Etualueen lasikuitusilloissa lasikuiturunko tulisi asettaa mahdollisimman lähelle inkisaalikärkeä. Taka-alueen kuitusilloissa pääkuitu asetetaan jännityspuolelle ja kuitu muotoillaan kaarelle (Wolf ym. 2011). Etualueen lasikuitusiltojen kuiturungon suunnittelussa tulee lisäksi huomioida, että etualueelle kohdistuu enemmän lateraalisuuntaista voimaa ja irtoamisien ehkäisemiseksi kulmahampaaseen tulee rakentaa labiaalinen siiveke. Lasikuitusiltojen irtoamiset ovat nimittäin usein ongelmana kulmahammaseudussa (van Heumen ym. 2009), joten kulmahammas tulee ikään kuin sidota labiaalsiivekkeellä. Resistenssin kannalta approksimaalipinnoilla preparoitavien kaviteettien koon tulee olla vähintään 2x2 mm ja pohjan tulee olla mahdollisimman leveä. Etualueen sillan konektorin on oltava palato-labiaaliselta paksuudeltaan yli 1,5 mm ja se voi muodostua sekä kuitulujitteisesta muovista että normaalista yhdistelmämuovista.

Kestävää siltarakennetta ei pystytä rakentamaan ilman riittävää vertikaalista tilaa. Lasikuiturunko ja yhdistelmämuovi vaativat n. 1.5-2 mm tilaa. Purennassa tulisi olla vähintään 2 mm tilaa ja konnektorialueella tämän etäisyyden tulisi olla vähintään 4 mm. Rungon okklusaalipuolelle tulisi mahtua vähintään 2 mm paksuinen kerros yhdistelmämuovia. (Vallittu ja Shinya 2017.)

2.4.2 Välihammas

Välihammas rakennetaan useimmiten yhdistelmämuovista, mutta välihampaina on käytetty myös luonnonhampaita (potilaan omia poistettuja hampaita), akryylihampaita (proteesihampaita) ja tutkittu on myös mahdollisuutta käyttää jyrstyttä keraamisia hampaita.

Luonnonhampaiden etuina ovat alkuperäinen ulkonäkö ja anatominen muoto. Lisäksi niiden etuna on kiilteen etsattavuus, joka mahdollistaa yhdistelmämuovin sidostumisen konektorin alueella luonnonvälihampaan ja tukihampaan välillä. Luonnonhampaita käytettäessä tulee luoda myös makromekaanista kiinnitystä rungolle. Tämä tehdään preparoimalla ura välihampaaseen lasikuiturungolle.

Myös akryyliproteesihampaita voidaan käyttää välihampaan valmistamiseen. Tällaisten tehdasvalmisteisten välihampaiden käyttö yksinkertaistaa sillan valmistusprosessia. Akryylihampaat koostuvat polymetyylimetakrylaatista, joka muodostaa ristiinsilloitetun polymeerimatriisin. Akryylihampaissa polymeerimatriisi on epätasaisesti jakautunut siten, että okklusaalisella alueella ristiinsilloittumista on enemmän kuin gingivaalisesti. Akryylihampaan sidostuminen yhdistelmämuoviin tapahtuu liottamalla sen pintaa monomeereillä, jolloin muodostuu sekundääri-IPN-sidos. Mitä syvemmälle monomeerit pääsevät tunkeutumaan, sitä vahvempi sidos muodostuu. Monomeerien tunkeutumista voidaan parantaa pidentämällä käsittelyaikaa (Vallittu 1999, Perea ym. 2015).

2.5 Lasikuitusiltatyypit

Lasikuitusilta on lasikuiturungosta ja sitä päällystävästä yhdistelmämuovista koostuva kiinteä proteettinen rakenne, jolla voidaan korvata puuttuvia hampaita väliaikaisesti tai pysyvästi. Väliaikaiset lasikuitusillat valmistetaan lasikuidusta ja väliaikaisesta akrylaatista, jolloin silta on tarkoitettu pitkäaikaisväliaikaiseen käyttöön. Pidempään (ts. puolipysyvään) tai pysyvään käyttöön tarkoitetut lasikuitusillat valmistetaan lasikuidusta ja yhdistelmämuovista (Kallio 1998). Lasikuidulla voidaan valmistaa erilaisia siltarakenteita. Tyypillisiä kuitulujitteisia siltatyyppejä ovat pintakiinnitteinen, kaviteetikiinnitteinen ja hybridikiinnitteinen.

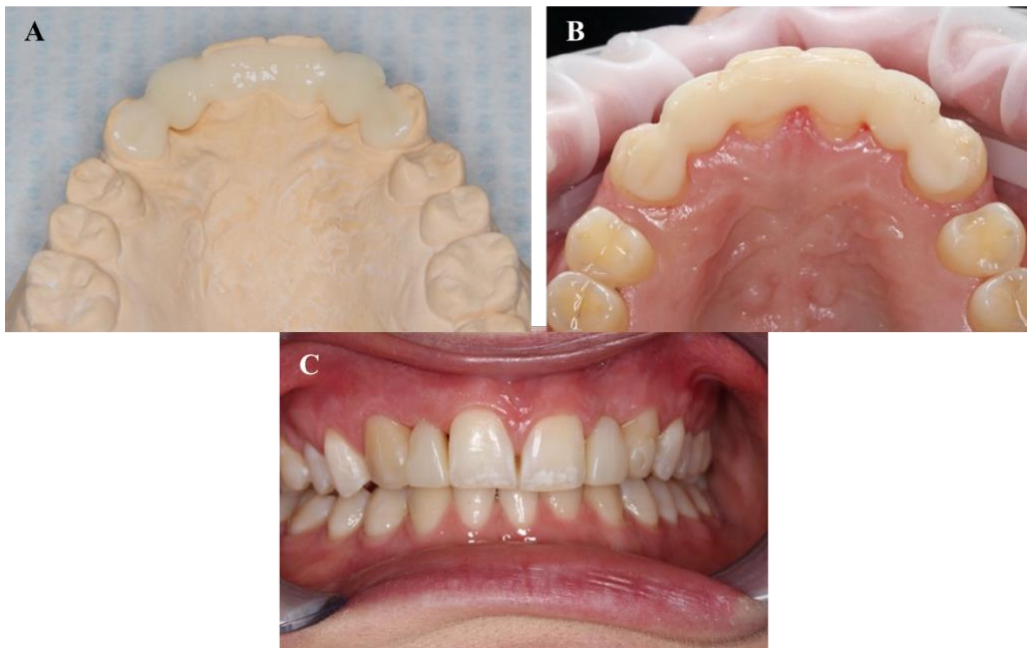
2.5.1 Pintakiinnitteinen (kevyt)silta ja mikroinvasiivinen silta

Perinteiset pintakiinnitteiset sillat ovat tavanomaisen kevytsiltojen kaltaisia, jossa selkälävy on korvattu lasikuidusta valmistetulla selkälävällä. Kuitulujitteisen muovin joustavuus

mahdollistaa erilaisia muunnoksia. Lasikuidusta voidaan valmistaa hampaiden näkyville pinnoille eli bukkaali- ja/tai oraalipinnoille ulottuvia siivekkeitä, jotka toimivat kiinnityspinta-alana selkälevyn sijasta (Vallittu 2002). Tässä *ns.* mikroinvasiivisessa siltatyypissä kuidun kiinnittyminen perustuu kiilteen ja komposiitin sidostumiseen toisiinsa. Eräänlainen pintakiinnitteinen lasikuitusilta on niin kutsuttu Marylandin silta, jossa kiinnittyminen perustuu vain siivekkeisiin, eikä tukihampaita preparoida. Marylandin kuitusiltaa voidaan valmistaa sekä etu- että taka-alueelle. Taka-alueen pintakiinnitteisessä kuitusillassa kuitu kiinnitetään tukihampaiden okklusaalipinnalle sekä bukkaali- tai linguaali/palatinaalipuolelle voidaan tehdä lisäksi kuidusta siivekkeet (upplay & wing combinations). Uplay-kiinnitys ilman preparointia onnistuu vain, jos okklusaalisesti on tarpeeksi tilaa (van Heumen ym. 2010).



Kuva 3. Pintakiinnitteinen lasikuitusilta, jolla korvataan kolme alankisiivä (Vallittu PK. Survival rates of resin-bonded, glass fiber-reinforced composite fixed partial dentures with a mean follow-up of 42 months: A pilot study. Journal of Prosthetic Dentistry 2004; 91:241-246).



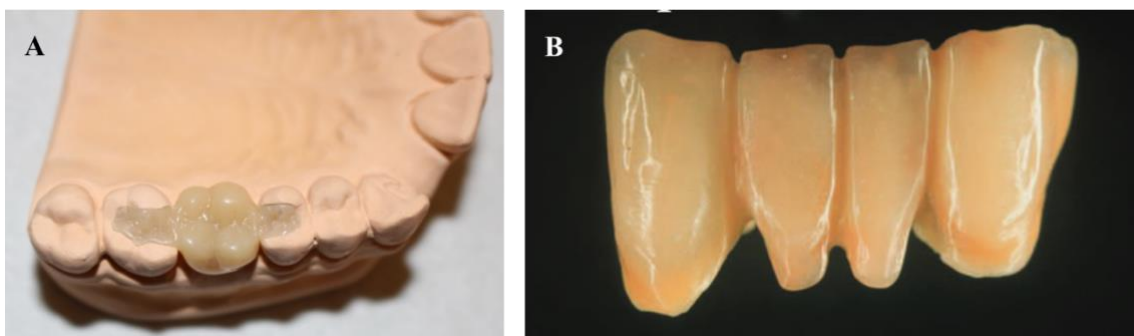
Kuva 4 A-C. Pintakiinnitteinen lasikuitusilta, jolla korvataan synnynnäisesti puuttuvia yläkakkosia. Potilastapaus ja kuvat EHL, HLT Jasmina Bijelic-Donova.

2.5.2 Kaviteettikiinnitteinen ja vaippakruunukiinnitteinen silta

Kaviteettikiinnitteisessä kuitulujitteisessa sillassa kiinnityspintalana käytetään kaviteetteja. Näitä siltatyyppejä kutsutaan inlay-silloiksi. Lasikuidun kiinnitys pohjautuu porattuihin uriin ja tukiin, ja näiden rakenteiden valmistuksessa tavanomaisesti hyödynnetään vanhojen täytteiden kaviteetteja.

Inlay-kaviteetin tulisi olla ainakin 2 mm x 2 mm x 2 mm, jotta siinä on tarpeeksi retentiota rotaatiovoimille (van Heuman ym. 2010).

Vaippakruunukiinnitteisessä tyypissä tukihampaaseen on tehty kaarroshionta. Tällainen vaihtoehto on hyvä, kun tukihammasta on jo restauroitu laajasti.



Kuva 5. A: Inlay-kiinnitteinen lasikuitusilta, jossa on hyödynnetty naapurihampaiden d.15 ja d.17 täytteitä (Kuva: EHL, HLT Jasmina Bijelic-Donova) ja B: vaippakruunukiinnitteinen lasikuitusilta, jossa tukihampaina ovat dd.32 ja 42 (Vallittu PK. Lasikuiturunkoinen silta kultasillan sijasta. Tapausselostus. Hammasteknikko 2002; 1: 4-7).

2.5.3 Hybridikiinnitteinen silta

Hybridikiinnitteisessä lasikuitusillassa yhdistyy kaviteetti-, vaippakruunu- ja pintakiinnitys eli kuiturunko kiinnittyy esimerkiksi toiseen tukihampaaseen kaviteettikiinnitteisesti ja toiseen pintakiinnitteisesti eli kiinnityssiivekkeellä. Tämä on mahdollista, sillä kuitulujitteinen muovi on joustava ja sallii fysiologisia liikkeitä (Vallittu 2002).



Kuva 6. Hybridikiinnitteinen lasikuitusilta, jossa yhdistyy A: vaippakruunukiinnitys (d.16) ja kiinnityssiipi (d.13) (Vallittu PK 2004: Survival rates of resin-bonded, glass fiber-reinforced composite fixed partial dentures with

a mean follow-up of 42 months: A pilot study. Journal of Prosthetic Dentistry 2004; 91:241-246) ja B: inlay-kiinnitys (d.16) ja kiinnityssiipi (d.13) (Teoksen P. Vallittu (toim.). Non-metallic biomaterials for tooth repair and replacement. Woodhead Publishing. England., kansikuva).

Kaavakuvia erilaisista lasikuitusiltatyypeistä on esitetty van Heumanin ym. tutkimuksessa (Van Heumen ym. 2010).

2.6 Lasikuitusiltojen valmistustekniikat

2.6.1 Suora tekniikka (vastaanotolla *ns.* chair-side)

Suorassa tekniikassa lasikuiturunko sidostetaan suoraan suussa hampaiden pintoihin tai kaviteetteihin. Tukihampaat puhdistetaan ensin hohkakivellä tai hampaat karhennetaan sekä tehdään tarvittavat preparoinnit, jonka jälkeen hampaat etsataan fosforihapolla ja sidostetaan käyttäen mielellään Kofferdam-suojaa. Kaviteetteihin laitetaan pieni määrä juoksevaa yhdistelmämuovia, jonka jälkeen valmistetaan lasikuiturunko ja valokovetetaan. Tämän jälkeen välihammas rakennetaan kerrostamalla yhdistelmämuovia. Lopuksi lasikuitusilta viimeistellään (Wolff ym. 2011).

Suoralla tekniikalla valmistetun lasikuitusillan ongelma on se, että valmista kuitusiltaa ei voi kiillottaa ja viimeistellä välihampaan pohjasta (Wolff ym. 2011). Suoran tekniikan etu on hampaan kovakudosten säästö, sillä tässä tekniikassa vähäisempi preparointi riittää ja voidaan hyödyntää myös allemenokohtia. Aikaansaatu sidos on suoralla tekniikalla luotettavampi, koska liimasaumoja on vähemmän (hammas-yhdistelmämuovi). Tämä tekniikka säästää lasikuitusillan valmistamiseen menevää aikaa, sillä se vaatii vain yhden vastaanottokäynnin. Tekniikka on kuitenkin hammaslääkärille työläs, ja siksi vastaanottokäynti on usein ajallisesti pitkä.

2.6.2 Epäsuora (hammaslaboratoriossa)

Epäsuoralla menetelmällä valmistettu lasikuitusilta valmistetaan jäljennösten perusteella kokonaan laboratoriossa hammasteknikon toimesta. Lasikuitusilta tällöin viimeistellään ja kiillotetaan käyttövalmiiksi laboratoriossa. Hammaslääkärin vastaanotolla epäsuorasti valmistettu silta kiinnitetään aiemmin preparoiduille tukihampaille kaksoiskovetteisen yhdistelmämuovisementin avulla. Etuna epäsuorassa menetelmässä on se, että välihampaan pohjan muotoilu ja viimeistely onnistuu paremmin, kun se ei ole vielä kiinnitettynä tukihampaille. Suoraan tekniikkaan verrattuna epäsuoran tekniikan etuja ovat myös helpompi työskentely, lasikuiturungon ja yhdistelmämuovin täydellisempi

kovettuminen sekä parempi lujuus ja pinnan kiilto (van Heumen ym. 2009). Lisäksi, purennan ja sillan muotoilun hallinta on helpompaa kipsimallilla.

Epäsuorasti valmistetut lasikuitusillat voidaan valmistaa kruunu, inlay- ja onlay-kiinnitteisinä tai myös pintakiinnitteisiä siivekkeitä hyödyntämällä. Yhdessä sillassa voidaan käyttää useampia kiinnitysmenetelmiä. Epäsuorasti valmistetut lasikuitusillat kiinnitetään tukihampaille kaksoiskovetteisella yhdistelmämuovisementillä, jolloin muodostuu kaksi sidostuspintaa. Toinen sidostuspinta syntyy sementin ja restauration välille ja toinen sementin ja tukihampaan kiilteen välille. Kumbuloglu ja Özcanin tutkimuksessa käytettiin neljää eri yhdistelmämuovisementtiä (RelyX ARC, Bifix DC, Variolink 2 ja Multilink). Tässä ei havaittu merkittävää eroa eri sementeillä sementoitujen siltojen selviytymisprosentteissa. (Kumbuloglu ja Özcan 2015).

Lasikuitusiltojen rungon sijainnin ja välihampaan suunnittelussa sekä valmistuksessa voidaan hyödyntää myös digitaalista hoitopolkua (Özcan ym. 2017, Bijelic-Donova ym. 2021).

2.6.3 Semi-direct (suun ulkopuolella valmistettu lasikuiturunko)

Semi-direct - tekniikassa omiin hampaisiin tehdään kuitusiltaa varten preparoinnit, jonka jälkeen hampaistosta otetaan alginaattijäljennös. Jäljennöksestä tehdään malli, johon tehdään lasikuiturunko. Tämän jälkeen lasikuitusilta irrotetaan mallista, viimeistellään huolella esimerkiksi vahvistamalla tiettyjä kohtia lisäkuidulla tai katkokuitukomposiitilla ja valokovetetaan se. Lasikuiturungon kiinnittämistä varten hampaat eristetään Kofferdam-suojalla. Tämän jälkeen tukihampaat etsataan ja sidostetaan mielellään erillisillä primer ja adhesive aineilla. Suun ulkopuolella valmistettu lasikuitusilta kiinnitetään juoksevalla yhdistelmämuovilla tukihampaisiin painamalla ja valokovettamalla. Tämän jälkeen rakennetaan välihammas yhdistelmämuovista. Lopuksi rakenne viimeistellään suussa. Välihampaan muotoilussa voi käyttää myös katkokuitukomposiittia. Tavoiteltavaa on, että lasikuitua ei paljastu rakenteesta niin, että kuitu olisi suorassa kosketuksissa suuhun (Wolff ym. 2011).

Lasikuiturunko voidaan tehdä vastaanotolla A-silikonista tehdyn mallin päällä tai tilata myös hammaslaboratoriosta. Vastaanotolla tehty malli kutsutaan silikonimalliksi ja tehdään A-silikonista. Tätä tekniikkaa on hyödynnetty laajojen täytteiden valmistuksessa (Alharbi ym.

2014, Torres ym. 2017). Vastaanotolla, mutta suun ulkopuolella valmistettu lasikuitusiltarunko ei ole valokovetettu loppuun. Siksi se sidostuu kiilteeseen paremmin sekä myös kerrostettavaan yhdistelmämuoviin happi-inhibiitokerroksen ja IPN-mekanismien avulla. Hammaslaboratoriossa tehtävää lasikuiturunkoa varten hammaslääkäri tekee tarvittavat preparoinnit tukihampaisiin, ottaa tarvittavat jäljennökset ja toimittaa ne hammasteknikolle. Hammasteknikko valmistaa lasikuiturungon, joka sovitetaan ja sidostetaan vastaanotolla tukihampaisiin. Lasikuitusilta rakennetaan loppuun vastaanotolla. Tässä tekniikassa lasikuiturunkoon voidaan vielä tarvittaessa lisätä kuituja kiinnitysvaiheessa, mutta tärkeä on uudelleenaktivoida loppukovetettua lasikuiturunkoa. Kiinnityksessä muodostuu sekundaarinen IPN-sidos (Lastumäki 2002).

2.7 Lasikuitusiltojen toimintaennuste

Semi-IPN lasikuitusillat ovat minimaalisesti invasiivinen hoitomuoto, jonka etuna ovat mm. kudossäästäväisyys ja suotuisa murtuminen. Suotuisalla murtumisella tarkoitetaan sellaista puruvoiman aiheuttama (silta)rakenteen murtuma, joka ei johda hampaan murtumaan, juuren murtumaan tai jopa hampaan menetykseen. Muut hyvät puolet ovat korjattavuus ja mahdollisuus aikaansaada luotettava uudelleensementointi (re-sementointi) (Kumbuloglu ja Ozcan 2015, van Heumen ym. 2009). Lisäksi sidostuspinta-alaa voidaan lisätä esimerkiksi siivekkeillä (Vallittu ja Sevelius 2000). Näillä toimenpiteillä parannetaan lasikuitusiltojen käyttöikä (engl. survival) ja mahdollistetaan dynaaminen hoitomenetelmä sekä ehkäistään restaurointikierrettä. Lasikuitusiltojen käyttöön liittyviä ongelmia ovat kuitusillan toisen puolen (Vallittu ja Sevelius 2000, Kumbuloglu ja Ozcan 2015, Malmstrom ym. 2015) tai koko sillan (Vallittu ja Sevelius 2000; Vallittu 2004, van Heumen ym. 2009, Frese ym. 2014; Malmstrom ym. 2015) irtoaminen (ts. osittainen tai kokonainen irtoaminen), yhdistelmämuovin ja kuiturungon irtoaminen toisistaan (delaminaatio) sekä yhdistelmämuovin lohkeamat (Göhring ym. 2005, van Heumen ym. 2009, Wolff ym. 2011, Frese ym. 2014, Ahmed ym. 2017, Perrin ym. 2020). Vakavampia ongelmia, jotka usein johtavat lasikuitusillan menetykseen ovat kuiturungon murtumat (Vallittu ym. 2004) ja konektorin murtumat (van Heumen ym. 2009, Kumbuloglu ja Ozcan 2015). Syynä näille ovat liian vähäinen retentiopinta-ala, ohuet kiinnityskohdat ja lateraalisesti suuntautuneen purentakuormituksen huomiomatta jättäminen (van Heumen ym. 2009). Muita syitä ovat huono lasikuiturungon suunnittelu (Kumbuloglu ja Ozcan 2015), väärin sijoitettu lasikuitu ja väärä kuitujen suuntaus (Vallittu 2004) sekä kuitujen paljastuminen purentaan hionnan

jälkeen (Vallittu ja Sevelius 2000). Irtoaminen on tyypillinen ongelma pintakiinnitteisille lasikuitusilloille (van Heumen ym. 2009).

Lohkeamat voidaan usein helposti korjata lisäämällä välihampaaseen yhdistelmämuovia tai tarvittaessa lisätä lasikuituja. Sen sijaan, sillan murtumia ja tietynlaisia delaminaatioita ei pystytä helposti korjaamaan vastaanotolla. Näissä tapauksissa rakenteen pitää uusia. Lasikuitusiltaa on vaikea korjata myös silloin, kun se irtoaa vain toisesta päästä. Näissä tapauksissa rakennetta ei välttämättä jouduta uusimaan, mutta koko silta on irrotettava käsittelyä ja uudelleen sementointia varten.

Laboratoriotutkimukset ovat linjassa kliinisten löydösten kanssa. *In vitro* tutkimuksissa on huomattu samat ongelmat eli yhdistelmämuovin delaminaatiota lasikuiturungosta (Waki ym. 2006, Kumbuloglu ym. 2008, Keulemans ym. 2009), välihampaan murtumia (Kumbuloglu ym. 2008, Keulemans ym. 2009) sekä lohkeamia ja säröjä (Ozcan ym. 2005, Xie ym. 2007, Keulemans ym. 2009). Ongelmia voidaan välttää sijoittamalla ja suuntaamalla lasikuiturunkoa oikein sekä varmistamalla riittävä tila yhdistelmämuoville (Ozcan ym. 2005, Waki ym. 2006). Tämä on etenkin tärkeä konnektorialueella. Kirjallisuudessa mainittu termi ”*tukevat lasikuiturungot*” (eng. *supportive framework*) tarkoittaa lasikuitujen määrän lisäämistä kriittisiin kohtiin esimerkiksi konnektori- ja välihammasalueille. Behr ja työtovereiden tutkimuksessa ehdotetaan lasikuiturungon anatomista muotoilua (Behr ym. 2005) ja Xie ja työtovereiden tutkimustulosten mukaan buco-linguaalinen/palatinaalinen poikittainen kuitu estää murtuminen etenemistä (Xie ym. 2007). Keulemans ja työtovereiden tutkimuksessa saatiin aikaan välihampaan anatominen muoto katkokuitukomposiitilla (Keulemans ym. 2009). Verkkokuitu taas lisää rakenteen murtumasitkeyttä, ja sitä sopii käyttää vaippakruunukiinnitteisten lasikuitusiltojen valmistuksessa, jolloin sillä päällystetään pilaria (Turkaslan ym. 2009).

Seurantatutkimuksia lasikuitusiltojen kliinisestä toimivuudesta on edelleen rajallisesti ja ongelmana ovat lyhyet seuranta-ajat. Perrin ja työtovereiden tutkimuksessa on toistaiseksi pisin näyttö suoralla tekniikalla valmistettujen semi-IPN lasikuitusiltojen toiminnasta. Yhdeksän vuoden seuranta-ajan jälkeen oli 93% silloista edelleen toiminnassa. (Perrin ym. 2020.) Onnistuminen riippuu kuitujen ja siltatyypistä sekä sillan sijainnista hammaskaarella. Esimerkiksi kertamuovilla kyllästettyjen lasikuitusiltojen (Targis/ Vectis) ongelmat ilmenivät Behr ym. tutkimuksessa alle kolmessa vuodessa. Näitä ongelmia olivat delaminaatio, purupinnan kuluminen, värjäytymät ja sillan murtumat. Selviytymisprosentti oli 72%

kaviteettiinnitteiselle ja 82% vaippakruunukiinnitteiselle siltatyypille. (Behr ym. 2003.) Samantyyppisiä ongelmia oli havaittu myös toisessa tutkimuksessa, jossa kaviteettiinnitteisiä kuitusilloja oli valmistettu Targis/Vectris yhdistelmästä ja viiden vuoden jälkeen selviytymisprosentti oli 71% (Göhring ym. 2005). Freilich ja työtoverien tutkimuksessa seurattiin myös kertamuovilla kyllästettyjen lasikuitusiltojen (FibreKor/Sculpture) selviytymistä ja huomattiin, että selviytymisprosentti paranee, kun lasikuiturunkoa vahvistetaan lisäkuiduilla (72%:sta selviytyminen nousi 86%:iin) (Freilich ym. 2002). Parannettu kuiturungon muoto vähensi sillan murtumia, mutta edelleen ongelmana olivat delaminaatiot ja lohkeamat. Semi-IPN matriisia sisältävät lasikuitusillat onnistuivat lyhyessä seuranta-tutkimuksessa (42kk) hyvin. Tässä tutkimuksessa selviytyminen oli 100% (Vallittu 2004). Van Heumen ja työtovereiden tekemässä tutkimuksessa seurattiin kolmen yksikön semi-IPN lasikuitujasiltoja sekä etu-, että sivualueella. Lasikuitusillat tehtiin Stick-lasikuidusta impregnoituna Stick-resiinillä, jolloin muodostuu semi-IPN-verkosto. Viiden vuoden seurannassa etualueen lasikuitusiltojen selviytymisprosentti oli 64% ja sivualueen 77.5%. Yleisimmät epäonnistumisen syyt olivat sillan rungon murtumat, delaminaatio ja sillan irtoamiset. Lisäksi havaittiin, että fasadimuovin kiilto käytössä himmenee ja värjäytyy sitä enemmän mitä heikompaa omahoito on. (van Heumen ym. 2009, van Heumen ym. 2010.) Esi-impregnoituminen vaikuttaa käyttömukavuuteen ja lasikuitusiltojen säilymiseen toimintakykyisenä. Frese ym. tutkimuksessa seurattiin semi-suoralla tai suoralla tekniikalla valmistettujen etualueen semi-IPN lasikuitusiltojen (everStick) pitkäaikaisennustetta. 4.5 vuoden seurannassa niiden selviytymisprosentti oli 85.6% (Frese ym. 2014). Epäsuoralla tekniikalla vaikuttaa olevan suotuisa vaikutus lasikuitusiltojen pitkäaikaisennusteeseen. Kumbuloglu ja Ozcanin tutkimuksessa 7.5 vuoden kuluttua 97.7% epäsuoralla tekniikalla valmistettujen etualueen semi-IPN lasikuitusilloista oli vielä toiminnassa (Kumbuloglu ja Ozcan 2015). Selviytyminen laskee viiden vuoden jälkeen (Ahmed ym. 2017) ja edellä mainittujen materiaaliriippuvaisten tekijöiden lisäksi siihen vaikuttavat myös mm. kliinikon perehtyneisyys kuitujen käsittelyyn sekä kokemus, potilaan suuhygienia ja sitoutuneisuus omahoitoon. Kliinikkojen tulisi osata arvioida vaikeusastetta huomioimalla puutosaukon pituutta (yksi vai useampi puuttuva hammas) ja sijaintia hammaskaarella (molaarit ovat haastavampia, mutta etualueella on korkeampia esteettisiä vaatimuksia) sekä tukihampaan vaurioastetta (puuttuvien seinämien määrä). Kontraindikaatioina lasikuitusilloille ovatkin vaativat parentaolosuhteet, korkea kariesaktiivisuus, koronaalisen kudoksen riittämätön määrä, matala vertikaalinen tila, pitkä

puutosaukko (>2 hammasta sivualueella ja > 3 puuttuva hammasta etualueella) ja suhteellisena kontraindikaationa on tukihampaiden lisääntynyt liikkuvuus.

Yhteenvetona voidaan todeta, että sivualueen lyhyet sillat toimivat paremmin kuin etualueen sillat, tosin etualueen sillan rungon konektorin palato-labiaaliseen paksuuden merkityksen huomioon ottaminen on lisännyt etualueen siltojen kestävyyttä. Paras ennuste on yläleuan sivualueen kolmen yksikön kaviteettikiinnitteisillä silloilla. Etualueella tarvitaan laaja kiinnityspinta-ala ja riittävä tila kuiduille. Toisin sanoen tarvitaan preparointia, sillä rungon murtumia esiintyy enemmän pintakiinnitteisissä lasikuitusilloissa yleensä ohuen kuiturungon takia (van Heumen ym. 2009). Sivualueella tarvitaan aina aksiaalinen tuki purentavoimia vastaan ja pelkkä siivekekiinnitys ei ole riittävä. Sivualueella puhtaasti pintakiinnitteisissä lasikuitusilloissa oli eniten irtoamisia ja paras toimintaennuste korjaukset mukaan laskettuina oli sivualueen lyhyillä kaviteettikiinnitteisillä lasikuitusilloilla (90.5 %) (van Heumen ym. 2010).

3 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Epäsuora lasikuitusillan valmistustekniikka on klinikolle tutumpi, sillä proteettiset rakenteet perinteisesti tehdään suun ulkopuolella ja ne kiinnitetään tukihampaisiin. Muihin edellä käsitelyihin teknikkoihin liittyy subjektiivisia käyttöongelmia. Suorassa ja semi-suorassa tekniikassa hankalaksi koetaan välihampaan muotoilu. Etenkin välihampaan hyvän pohjan ja anatomisen morfologian saavuttaminen on haastavaa. Yhtenä ratkaisuna tähän voisi olla injektiotekniikka, joka käytetään kuluneen hampaiston kuntoutuksessa tai estetiikan parantamiseksi (Gestakovski 2019, Ypei Gia ym. 2021). Lasikuitusillan välihampaan muotoiluun sitä ei ole tietääksemme aiemmin käytetty.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, voidaanko injektiotekniikalla valmistaa lasikuitusilloja suoraan potilaan suussa. Idea syntyi tarpeesta kehittää nopeampi ja helpompi tekniikka välihampaan muotoiluun. Toisin sanoen tekniikkaa voidaan hyödyntää lasikuitusilloissa välihampaan rakentamiseen, mutta kuiturungon edelleen pitää olla edeltävästi valmistettuna joko suoralla tai semi-suoralla tekniikalla.

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1 Lasikuituvahvisteisen sillan valmistus injektiotekniikalla

Juoksevat muovit sekä läpinäkyvät silikonijäljennösaineet ovat mahdollistaneet injektiotekniikan kehityksen. Injektiotekniikalla saadaan paikattavien hampaiden muodoista morfologialtaan anatomisempia, esteettisempiä sekä toiminnallisesti parempia. Se soveltuu sekä etu- että sivualueella hampaistossa. Injektiotekniikka on vähemmän tekniikkasensitiivinen sekä nopeampi ja tarkempi valmistustapa lasikuitusillalle. Sitä käytetään paljon esimerkiksi purennan korottamisessa, kun potilaalla on voimakkaasti kulunut hampaisto ja madaltunut purentataso (Geštakovski 2019, Ypei Gia ym. 2021). Viime vuosina injektiotekniikka on hyödynnetty myös lyhyiden siltojen valmistuksessa (Hosaka ym. 2021). Hosakan ja työtovereiden tutkimuksessa injektiotekniikalla tehtiin alaetualueelle lyhyt vahvistamaton yhdistelmämuovisilta, eli ilman lasikuidulla tai muulla tavoin vahvistettua runkoa. Injektiotekniikka vaatii hyvää yhteistyötä ja kommunikaatiota hammasteknikon kanssa. Alginaattijäljennöksen perusteella hammasteknikko valaa kipsimallin ja tekee purentaindeksin mukaisen vahauksen restauroitaviin hampaisiin. Vahauksessa siis hampaiden alkuperäinen anatominen muoto palautetaan ja sovitetaan purentaan. Vaihtoehtoisesti tämä vaihe voidaan tehdä myös digitaalisesti (Hosaka ym. 2021). Hammaslääkäri ottaa vahamallista läpinäkyvällä silikonijäljennösaineella muotin. Muottiin tehdään hampaiden kohdille kanavat, josta injektoitava yhdistelmämuovi saadaan ruiskutettua läpi. Tavoite on se, että hampaat saadaan restauroitua oikean muotoisiksi sekä purentaan sopiviksi, eikä viimeistelyä juuri tarvittaisi, mikä säästää klinikon aikaa laajoissa töissä. Injektoitavan paikkamuovin täytyy olla sellaista, että se kestää kulumista ja purentavoimia.

Tässä työssä tutkittiin injektiotekniikan käyttöä lasikuitusillan valmistuksessa hammaslääkärin vastaanotolla. Kuten edellä mainittiin, suorassa ja semi-suorassa tekniikassa lasikuitusillan valmistuksen osalta haasteellinen osuus on välihampaan muotoilu. Injektiotekniikka lasikuitusillan valmistuksessa nopeuttaa ja helpottaa välihampaan rakentamista. Seuraavaksi esitellään kuvin lasikuitusillan valmistus injektiotekniikalla.



Kuva 7. Puuttuva d. 35.



Kuva 8. Väliahampaan kiinnitys.

Väliahhammas voi olla esimerkiksi hammasteknikon vahaama kipsimalleille. Voidaan myös käyttää proteesihammasta, joka on kiinnitetty juoksevilla yhdistelmämuovilla naapurihampaisiin. Tässä käytettiin väliahampaana frasco-hammasta, joka kiinnitettiin viereisiin hampaisiin juoksevilla yhdistelmämuovilla (Kuva 8).



Kuva 9. Silikonimuotin valmistus.

Seuraavaksi, perforoimattomalla lusikalla otetaan hampaistosta muotti läpinäkyvällä A-silikonijäljennösaineella monofaasijäljennöstekniikalla. Jäljennösainetta tulee siis ensin ruiskuttaa hammasväleihin, jotta ne jäljentyvät kunnolla. Jäljennösaineen tulee pursuta hammasvälistä läpi.



Kuva 10. Silikonimuotin valmistus. Silikonin ruiskuttaminen.



Kuva 11. Valmis silikonimuotti irrotettuna lusikasta.



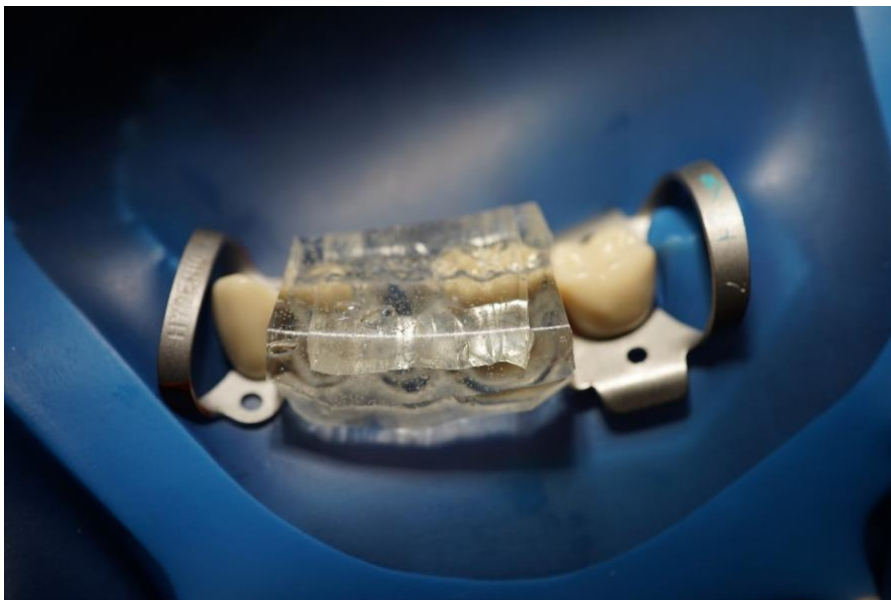
Kuva 12. Leikattu silikonimuotti.

Muotti leikataan työskentelyalueen kokoiseksi ja reunoja lyhennetään niin, että muotin asettaminen paikalleen helpottuu. Muottiin leikataan okklusaalipuolelta "ikkuna", joka kattaa leveydeltään preparoitavat alueet (Kuvat 12 ja 13).



Kuva 13. Leikatun silikonimuotin pohjan sovitus.

Kofferdam asetetaan paikoilleen ja muotti sovitetään hampaille (Kuva 13). Kofferdamin avulla saadaan välihampaan pohja muotoiltua alveoliharjanteelle sopivaksi. Muottia kevennetään tarvittaessa niistä kohdista, joista se ottaa kiinni kofferdamiin tai klammereihin. Muotin tulee istua hampaille passiivisesti ja tiiviisti.



Kuva 14. Leikatun silikonimuotin ikkunan sovitus.

Ikkuna sovitetaan muottiin (Kuva 14). Ikkunan täytyy myös istua tiiviisti ja huomioida, että muotin alaosan ja ikkunan välille ei tule porrasta. Tämän jälkeen tulee muotin ikkunaosaan tehdä kanavia muovin injektointia varten (Kuva 18).



Kuva 15. Kaviteettien preparointi. Tässä voi hyödyntää vanhoja täytteitä tai tukihampaisiin preparoidaan kaviteetit.

Hampaiden preparoinnin voi tehdä niin, että muotti on suussa. Jos muottia ei pidä suussa preparoitaessa, tulee tarkistaa, ettei muotin reunat ulotu kaviteettien alareunojen yläpuolelle. Muottia voi tarvittaessa leikata näistä kohdista.



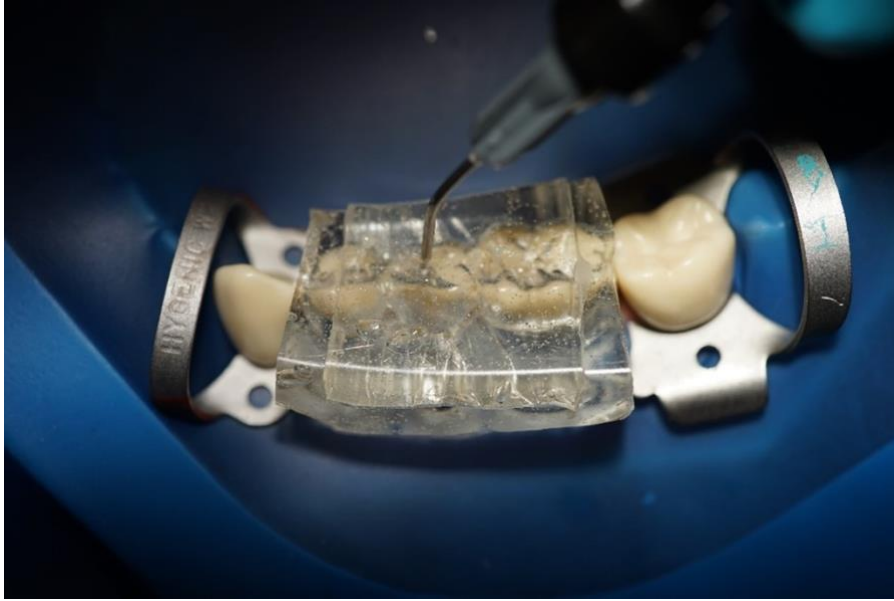
Kuva 16. Lasikuiturungon valmistus. Rungon valmistuksen aikana muotti saa olla paikoillaan suussa.

Tukihampaiden etsauksen ja sidostamisen jälkeen alue huuhdellaan ja kuivataan. Seuraavaksi valmistetaan lasikuiturunko kappaleen 2.4.1 periaatteiden mukaisesti. Rungon valmistuksen aikana muotti voi olla suussa, mutta lasikuiturungon voi tehdä myös ilman muottia. Seuraavaksi laitetaan muotti paikalleen, varmistetaan sen istuvuus ja applikoidaan juokseva yhdistelmämuovi pohjalle. Yhdistelmämuovia ei saa laittaa liikaa niin, että se ulottuu muotin reunan yli (Kuva 17). Tällöin ikkuna ei enää välttämättä istu tiiviisti.



Kuva 17. Välihampaan pohjan valmistus.

Seuraavaa vaihetta varten tarvitaan injektiokanavat. Tässä vaiheessa viimeistään tehdään kanavat muotin ikkunaosaan esimerkiksi muoviruiskun kärjellä. Kanavat tehdään tukihampaiden sekä välihampaan kohdalle. Pääkanavien lisäksi voi tehdä myös *ns.* ilmanpoistokanavat ei-kriittiselle alueelle esimerkiksi palatinaali- tai bukkaalipuolelle (Kuva 19). Nämä auttavat saamaan homogeenisen rakenteen, sillä ilmakuplien poistuvat niiden kautta. Seuraavaksi sovitetaan ikkuna muotin päälle ja injektoidaan muovi hammas kerrallaan ikkunan läpi (Kuva 18).



Kuva 18. Yhdistelmämuovin injektointi ikkunaosaan tehtyjen kanavien läpi.



Kuva 19. Injektiokanava (pääkanava) bukkaalipuolella ja ilmanpoistokanava palatinaalipuolella. Kuva: EHL, HLT Jasmina Bijelic-Donova.

Yhdistelmämuovin injektointi kannattaa aloittaa tukihampaista. Jotta vältetään ilmakuplilta ja alimääriltä, ruiskun kärki täytyy pitää muovin sisässä injektoidessa sekä injektoida muovia samalla, kun ruiskua vedetään ulospäin. Ikkunaa on myös syytä pitää paikoillaan injektoinnin ajan.

Muotin poistamisen jälkeen hiotaan ensin ylimäärät, viimeistellään silta ja tarkistetaan purenta. Lopuksi varmistetaan hyvät puhdistusvälit.



Kuva 20. Viimeistelemätön lasikuitusilta.

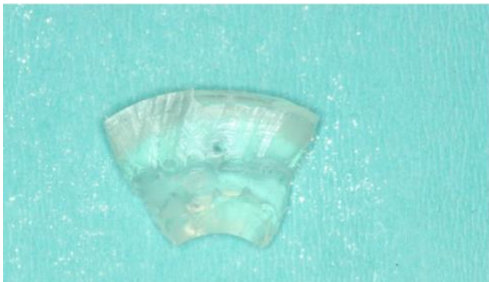


Kuva 21. Viimeistely lasikuitusilta.

4.2 Potilastapaus

Seuraavassa esitellään potilastapaus. Potilaalle korvattiin d.31 lasikuitusillalla, joka valmistettiin injektiotekniikalla. Kyseessä on 60-vuotias yleistervemies, jolla on kulunut

purenta, lyhentynyt hammaskaari yläleuassa (dd.15-23) ja aukkoinen hammaskaari alaleuassa, josta puuttuu d.31, sekä toiset molaarit ja viisaudenhampaat. Hoitosuunnitelmana oli purennan korotus ennen puuttuvien ylähampaiden korvausta yhdistelmäprotetiikalla. Alaleuassa päätettiin korvata vain d.31 ja tämä tehtiin väliaikaisella lasikuitusillalla purennan korotuksen yhteydessä. Tarkoituksena oli stabiloida purenta etualueella ennen sivustojen korotusta. Suunnittelumallilla tehtiin ensin diagnostinen vahaus, josta otettiin putty-jäljennös, joka valettiin erikoiskovakipsillä. Tämän kipsimallin päällä muotoiltiin d.31 vahalla ja otettiin silikonimuotti (Kuva 22). Korotus aloitettiin alaetualueelta ja jatkettiin yläetualueelle. Tämän jälkeen korotettiin alapremolaarit ja molaarit yhdistelmämuovilla, kruunutettiin dd.14 ja 15 metallokeraamisilla skarvauskruunuilla ja kuntoutettiin puuttuvia ylähampaita metalliosaproteesilla. Tässä yhteydessä ei selosteta koko tapausta, koska tarkoituksena on esitellä injektiotekniikkaa lasikuitusillan valmistuksessa hammaslääkäriin vastaanotolla. Potilastapaus ja kuvat EHL, HLT Jasmina Bijelic-Donova.



Kuva 22. Leikattu silikonimuotti. Yläkuvassa on muotin ”ikkunaosa”. Välihammas tehty vahaamalla.



Kuva 23. Vanhojen täytteiden purku ja hiekkapuhallus (Cojet).



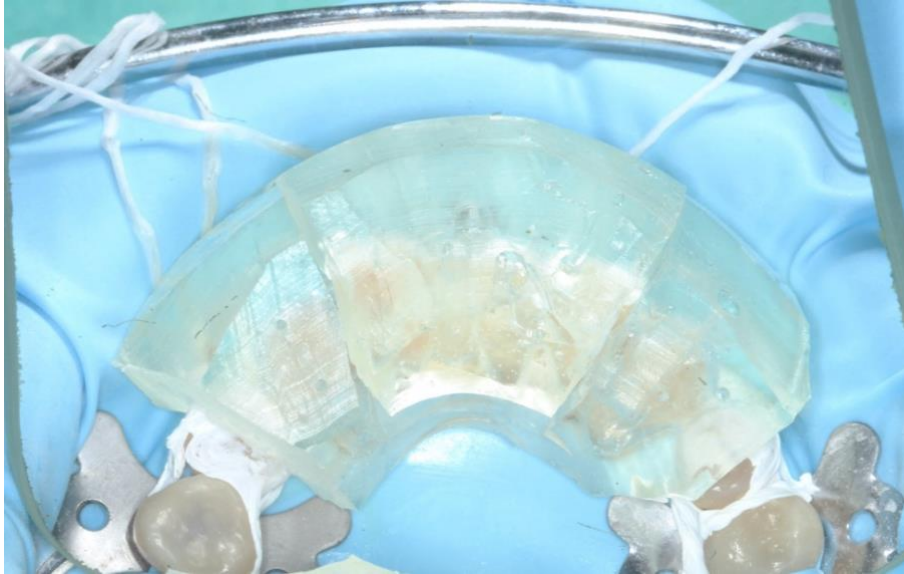
Kuva 24. Lasikuiturunko (everStick C&B) kiinnitettyä hampaisiin etsauksen ja sidostamisen (Clearfil SE, Primer ja Bond) jälkeen.



Kuva 25. Silikonimuotin istuvuuden sovitus.



Kuva 26. Välihampaan muotoilu katkokuitumuovilla poikittaisen yhdensuuntaisen tukikuidun ympärillä.



Kuva 27. Silikonimuotin ikkunaosan sovitus.
Yhdistelmämuovin injektointi tapahtui kuvan 18 mukaisesti.



Kuva 28. Näkymä heti injektoinnin jälkeen.



Kuva 29. Näkymä hoidon päätteeksi, linguaalinen näkymä.



Kuva 30. Näkymä hoidon päätteeksi, kiillotuksen jälkeen.
Linguaalinen näkymä.

Puolen vuoden kontrollissa tilanne oli purennallisesti stabiili, mutta lasikuitusillan alueella oli värjäytymiä, jotka poistettiin kiillottamalla.

4.3 Omat mielipiteet injektio tekniikasta

Injektio tekniikka voi helpottaa merkittävästi kuitusillan muotoilua, mutta vaatii se harjoittelua. Välihampaan saa tehtyä kerralla muotin avulla potilaan omiin hampaisiin sopivaksi sekä

hammas saadaan rakennettua suoraan oikeaan parentakorkeuteen, mikä puolestaan vähentää viimeistelyyn käytettävää aikaa. Tekniikassa on kuitenkin muutamia tiettyjä haasteita, jotka huomasimme tutkiessa sen mahdollisuuksia lasikuitusillan rakentamisessa. Hammassilloissa tärkeää on saada approksimaaliset puhdistusvälit hyvin tehtyä. Silikonaineella jäljentäessä ainetta tulee siksi ruiskuttaa kunnolla hammasväleihin ennen kuin otetaan kokonaisjäljennös alueesta. Silikonijäljennöksessä ei saa olla ilmakuplia tai venymiä työskentelyalueella. Muotin leikkaaminen voi olla haasteellista ja se vaatii harjoittelua. Muotin tulee leikata niin, että sen saa istumaan hampaistoon tiiviisti.

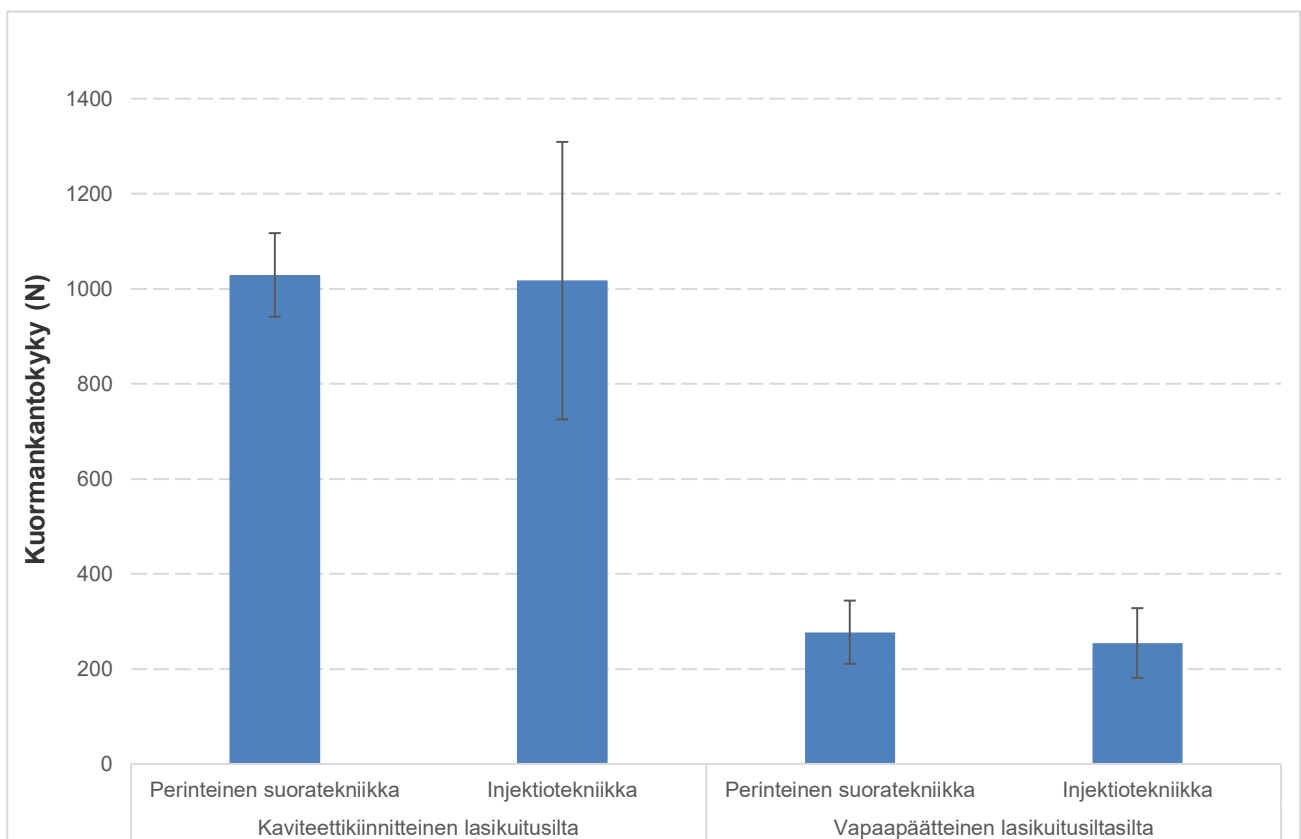
Perinteisellä suoralla tekniikalla tehdyssä kuitusillassa yhtenä haasteena on välihampaan pohjan muotoilu. Injektiotekniikalla saadaan pohjan muotoiltua helpommin, koska silikonimuotti antaa jo muodon. Lasikuitusiltaa tehdessä käytetään usein kofferdamia, mutta pohjan tekemiseen voi käyttää myös esimerkiksi teflonteippiä. Kofferdamilla pohjan saa tasaiseksi, mutta muotin istuminen passiivisesti kofferdamin kanssa voi olla hankalaa ja muotti tulee siksi leikata huolellisesti. Injektiotekniikassa lasikuiturunko on hyvä valmistaa niin, että muotti on hampailla. Käytännössä muotti on kuitenkin usein tiellä työskentelyssä, joten kuiturunko voidaan tehdä ilman muottia, jolloin muottia pitää sovittaa välillä suussa. Mahdollisuuksien mukaan lasikuiturungon valmistamista muotti suussa voi olla hyvä harjoitella etukäteen, jotta työskentelystä saa sujuvaa. Juoksevaan yhdistelmämuoviin tulee helposti rakennetta heikentäviä ilmakuplia, mikä aiheuttaa haasteen myös injektiotekniikassa. Ilmapoistokanavien kautta ilmakuplat poistuvat helposti ja ne auttavat saamaan homogeenista rakennetta. Ilmapoistokanavien teko on siksi kovin suositeltavaa. Ulkopinnoille jäävät ilmakuplat pystytään taas viimeistelemään pois. Purennassa kestäviä juoksevia muoveja on markkinoilla tällä hetkellä vain GC:n valmistama G-aenial Universal Injectable. Koska muita tämän kaltaisia muoveja ei toistaiseksi ole saatavilla, on sävyskaala melko suppea eikä välttämättä sovi kaikille potilaille esteettisille alueille. Vaikka injektiotekniikassa on omat haasteensa, harjoiteltuna se helpottaa ja nopeuttaa paljon välihampaan rakentamista, mikä on suoralla tekniikalla tehdyssä kuitusillassa hankala ja aikaa vievä vaihe.

4.4 Kuormankantokyky

Tässä opinnäytetyössä tehtiin myös suppea laboratoriotestaus, jossa injektiotekniikalla valmistettuja kaviteettiinnitteisiä ja vapaapäätteisiä (cantilever unit) siltoja verrattiin

perinteisellä suoralla tekniikalla valmistettuihin kaviteettikiinnitteisiin ja riippuviin siltoihin. Testausalustan päällä testattiin viisi siltaa per ryhmä (n=5) ja sillat kuormitettiin staattisesti siten, että kuormituspiste sijoitettiin välihampaan okklusaalipinnan keskikohtaan. Valmistettuja siltoja säilytettiin 24 tuntia huoneenlämpötilassa kuivissa olosuhteissa ennen testausta. Tulokset analysoitiin tilastollisesti SPSS ohjelmalla (versio 23, SPSS, IBM, Armonk, NY, USA), varianssianalyysiä (ANOVA) käyttäen, merkitsevyyden raja-arvona olleen 0.05 ($p < 0.05$).

Perinteisellä ja injektio tekniikalla valmistettujen kaviteettikiinnitteisten ja vapaapäätteisten lasikuitusiltojen testitulokset esitetään kuvassa 31. Tulosten mukaan valmistusteknikkojen välillä - perinteinen suora tekniikka tai suora injektio tekniikka - ei ole tilastollista eroa ($p > 0.05$), mutta siltatyypin välillä - kaviteettikiinnitteinen tai vapaapäätteinen on merkittävää tilastollista eroa ($p < 0.05$).



Kuva 31. Kuormankantokyky (N).

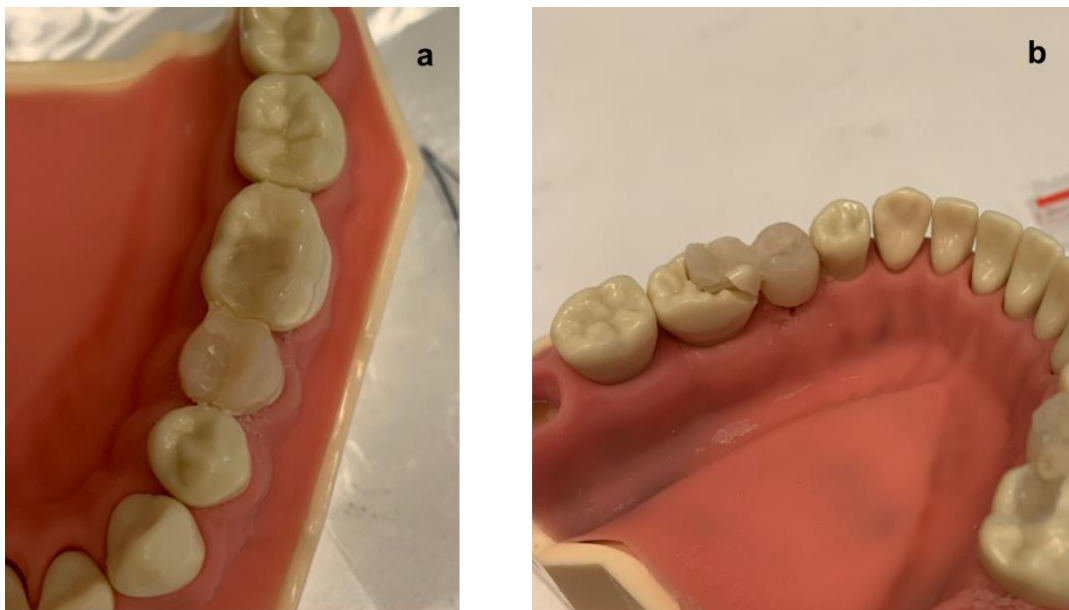
Murtumatyypit olivat yhteneväisiä kaviteettikiinnitteisissä silloissa riippumatta siitä, millä tekniikalla ne olivat valmistettu. Näissä 3-yksikön kaviteettikiinnitteisissä silloissa murtuma

syntyi kappaleen keskiosaan, josta yhdistelmämuovi alkoi lohjeta tai delaminoitua kuidun ympäriltä.



Kuva 32. Kaviteetti kiinnitteinen 3-yksikön lasikuitusilta kuormitustestin jälkeen. **a.** injektio tekniikalla valmistettu lasikuitusilta ja **b.** perinteisellä tekniikalla valmistettu lasikuitusilta. Murtumatyypit: **a.** välihampaan yhdistelmämuovin lohkeaminen ja **b.** välihampaan ja tukihampaan yhdistelmämuovin lohkeaminen ja delaminaatio, sekä tukihampaan kuspין lohkeaminen.

Vapaapäätteisissä perinteisellä tekniikalla valmistetuissa silloissa havaittiin adhesiivisia ja kohesiivisiä murtumatyyppejä. Vapaapäätteisissä injektio tekniikalla valmistetuissa silloissa murtuma alkoi konektorin alueella, mutta se pysähtyi lasikuiturunkoon eli silta ei mennyt poikki, eikä lasikuiturunko vaurioitunut.



Kuva 33. Vapaapäätteinen lasikuitusilta kuormitustestin jälkeen. **a.** injektio tekniikalla valmistettu lasikuitusilta ja **b.** perinteisellä tekniikalla valmistettu lasikuitusilta. Murtumatyypit: **a.** konektorin murtuma ja **b.** sillan irtoaminen ja tukihampaan kuspין murtuminen.

4.5 Opintomateriaalin toteutus

Opintomateriaalin tavoitteena oli tuottaa selkeät ohjeet, jotka antaisivat tietoa ja valmiuksia lasikuitusillan valmistuksesta injektiotekniikalla. Opetusmateriaali on suunnattu sekä hammaslääketieteen opiskelijoille että valmistuneille hammaslääkäreille. Opetusmateriaalina toimii yksi opetusvideo, jonka pituus on noin viisi minuuttia. Video käsittelee d. 35 korvaamista injektiotekniikalla valmistetulla lasikuitusillalla. Lasikuitusilta valmistettiin frasco-leukoihin.

Videot ja valokuvat kuvattiin Turun yliopiston Hammaslääketieteen laitoksen tiloissa vuonna 2024 EHL Jasmina Bijelic-Donovan ohjeistuksella. Videossa käytetyt välineet ja tarveaineet saatiin Turun yliopistolta sekä Turun Biomateriaalikeskuksesta. Opetusvideo editoitiin iMovie-ohjelmalla.

Videon kulku analogisesti:

- Alkutilanne ja tarvittavat välineet
- Silikonimuotin valmistus ja ”ikkunan” leikkaus sekä sovitus
- Valmiiden preparoitujen kaviteettien ja lasikuiturungon esittely
- Injektointikanavien teko ikkunaan
- Välihampaan pohjan injektointi
- Okklusaalipintojen injektointi ikkunan läpi
- Ylimäärien poisto ja viimeistely

5 POHDINTA

Lasikuitusilloja käytetään tilanteissa, joissa lopullisen sillan valmistus on syytä siirtää myöhäisempään ajankohtaan esimerkiksi lähtökohtaisesti huonoennusteisessa hampaistossa, kun halutaan seurata annetun hoidon vastetta. Lasikuitusilloja käytetään vaativissa kokonaihoidoissa, kun halutaan seurata potilaan sitoutuneisuutta tai sopeutumista hoitoon ja halutaan varmistaa pysyvä siltarakenteelle hyvä ennuste. Lasikuitusillat soveltuvat myös iäkkäille potilaille, jotka eivät sopeudu irrotettavaan proteesiin, mutta haluavat alentaa kiinteän proteettisen hoidon kustannuksia. Lasikuitusilta sopii myös nuorille potilaille, joille implanttahoito ei ole nuoresta iästä johtuen vielä mahdollinen sekä implanttihoidon aikana väliaikaisena ratkaisuna ja myös immediaattiratkaisuna tilanteissa, joissa menetetään hammas esteettiseltä alueelta. Lasikuitusilta antaa myös mahdollisuuden muuttaa hoitolinjaa myöhemmin. Potilaan näkökulmasta merkittävä etu on yhdellä hoitokäynnillä saatu kiinteä ratkaisu sekä mahdollisuus välttää irrotettava proteesia. Sillä on myös edullisempi hinta verrattuna muihin kiinteän protetiikan ratkaisuihin.

Tässä työssä tutkittiin mahdollisuutta käyttää injektiotekniikkaa lasikuitusillan valmistuksessa hammaslääkärin vastaanotolla. Tekniikka dokumentoitiin valokuvasarjalla ja videomateriaalilla. Tämän työn perusteella todettiin, että injektiotekniikka lasikuitusillan valmistuksessa nopeuttaa ja helpottaa välihampaan rakentamista, mutta vaatii harjoittelua. Erityisesti muotin leikkaaminen vaatii tarkkuutta ja lasikuiturunko pitää silti valmistaa joko suoralla tai semi-suoralla tekniikalla. Välihammas saadaan rakennettua suoraan oikeaan purentakorkeuteen, mikä puolestaan vähentää viimeistelyyn käytettyä aikaa. Huonoja puolia ovat tarkkuutta vaativat valmistelutoimenpiteet eli muotin valmistus ja leikkaaminen. Muotin sovittaminen suussa hionnan ja lasikuiturungon valmistuksen aikana saattaa olla hankalaa, mikäli toimenpide tehdään kofferdamin suojassa, joka on toisaalta tarpeen kosteudenhallinnan ja välihampaan pohjan muotoilun kannalta.

Tässä oppinäytetyössä tehtiin myös suppea laboratoriotutkimus. Tutkimustulosten mukaan, injektiotekniikalla valmistetut sivualueen lyhyet kaviteettikiinnitteiset lasikuitusillat suoriutuivat testauksessa yhtä hyvin kuin perinteisellä suoralla tekniikalla valmistetut lasikuitusillat. Tästä ei kuitenkaan voida tehdä johtopäätöksiä, koska näytteiden määrä per ryhmä oli pieni (n=5) ja tulokset ovat alustavia ja suuntaa antavia.

Jatkossa injektiotekniikkaa voidaan kehittää suunnittelemalla esimerkiksi sillan muotoa digitaalisesti ja hyödyntämällä hammasteknikon osaamista sekä digitaalisessa suunnittelussa että muottien valmistuksessa. Seuraava askel voisi olla sillan digitaalinen suunnittelu skannauksen perusteella jo ennen hiontaa ja muotin valmistus hammasteknikon laboratoriossa. Tämä nostaisi kustannuksia, mutta potilas saisi tälläkin tavalla sillan yhdellä käynnillä. Toinen mahdollinen hoitopolku voisi olla sillan digitaalinen suunnittelu hionnan jälkeen, kuiturungon valmistus ja muotin valmistus hammasteknikon laboratoriossa. Silloin tekniikasta tulisi semi-direct, joka nostaisi kustannuksia. Lisäksi hoito vaatisi kaksi käyntiä, mikä vastaa perinteisen laboratoriovalmistetun lasikuitusillan valmistusta.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että lasikuitusillan valmistus injektiotekniikalla on hyvä vaihtoehto perinteiselle suoralle tekniikalle, vaikka se vaatiikin toimenpiteen suunnittelua ja harjoittelua. Jatkossa tekniikka voidaan soveltaa kliinisesti.

LÄHTEET

Ahmed KE, Li KY, Murray CA 2017: Longevity of fiber-reinforced composite fixed partial dentures (FRC FPD) - Systematic review. *Journal of Dentistry* 61:1-11.

Alharbi A, Rocca GT, Dietschi D, Krejci I 2014: Semidirect composite onlay with cavity sealing: a review of clinical procedures. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 26(2):97-106.

Behr M, Rosentritt M, Handel G 2003: Fiber-reinforced composite crowns and FPDs: a clinical report. *International Journal of Prosthodontics* 16(3):239-243.

Behr M, Rosentritt M, Taubenhansl P, Kolbeck C, Handel G 2005: Fracture resistance of fiber-reinforced composite restorations with different framework design. *Acta Odontologica Scandinavica* 63:153-157.

Bijelic-Donova J, Garoushi S, Lassila LV, Vallittu PK 2015: Oxygen inhibition layer of composite resins: effects of layer thickness and surface layer treatment on the interlayer bond strength. *European Journal of Oral Science* 123(1):53-60.

Bijelic-Donova J, Flett A, Lassila LVJ, Vallittu PK 2018a: Immediate repair bond strength of fiber-reinforced composite after saliva or water contamination. *Journal of Adhesive Dentistry* 20(3):205-212.

Bijelic-Donova J, Uctasli S, Vallittu PK, Lassila L 2018b: Original and repair bulk fracture resistance of particle filler and short fiber-reinforced composites. *Operative Dentistry* 43(5):E232-E242.

Bijelic-Donova J, Anton Y Otero C, Vallittu P, Krejci I 2021: A surface-retained glass fiber-reinforced bridge with pontic fabricated from CAD/CAM resin composite block. *GC Connected* 1.10.

Callister WD, Rethwisch DG 2018: Fiber-reinforced composites. The fiber phase. Teoksessa Callister WD, Rethwisch DG (toim.). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. s.581. John Wiley Sonc Inc, United States of America.

da Silva TSP, de Castro RF, Magno MB, Maia LC, Silva E Souza MHD Júnior 2018: Do HEMA-free adhesive systems have better clinical performance than HEMA-containing systems in noncarious cervical lesions? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry* 74:1-14.

Dyer SR, Lassila LV, Jokinen M, Vallittu PK 2004. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dental Materials* 20(10):947-955.

Freilich MA, Meiers JC, Duncan JP, Eckrote KA, Goldberg AJ 2002: Clinical evaluation of fiber-reinforced fixed bridges. *The Journal of American Dental Association* 133(11):1524-1534.

Frese C, Schiller P, Staehle HJ, Wolff D 2014: Fiber-reinforced composite fixed dental prostheses in the anterior area: a 4.5-year follow-up. *Journal of Prosthetic Dentistry* 112(2):143-149.

Geštakovski D 2019: The injectable composite resin technique: minimally invasive reconstruction of esthetics and function. Clinical case report with 2-year follow-up. *Quintessence International* 50(9):712-719.

Göhring TN, Roos M 2005: Inlay-fixed partial dentures adhesively retained and reinforced by glass fibers: clinical and scanning electron microscopy analysis after five years. *European Journal of Oral Science* 113(1):60-69.

Hosaka K, Tichy A, Hasegawa Y, Motoyama Y, Kanazawa M, Tagami J, Nakajima M 2021. Replacing mandibular central incisors with a direct resin-bonded fixed dental prosthesis by using a bilayering composite resin injection technique with a digital workflow: A dental technique. *Journal of Prosthetic Dentistry* 126(2):150-154.

Kallio T, Vallittu P 1998: Kuitulujitteinen muovi tuo protetiikkaan uusia mahdollisuuksia. Pitkäaikaisväliaikainen silta. *Suomen Hammaslääkärilehti* 17:954-957.

Keulemans F, Lassila LVJ, Garoushi S, Vallittu PK, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ 2009. The influence of framework design on the load-bearing capacity of laboratory-made inlay-retained fibre-reinforced composite fixed dental prosthesis. *Journal of Biomechanics* 42:844-849.

Khan AA, Al-Kheraif AA, Mohamed BA, Perea-Lowery L, Säilynoja E, Vallittu PK 2018: Influence of primers on the properties of the adhesive interface between resin composite luting cement and fiber-reinforced composite. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 88:281-287.

Khan AA, Mohamed BA, Al-Shamrani SS, Ramakrishnaiah R, Perea-Lowery L, Säilynoja E, Vallittu PK 2019: Influence of monomer systems on the bond strength between resin composites and polymerized fiber-reinforced composite upon aging. *Journal of Adhesive Dentistry* 21(6):509-516.

Kumbuloglu O, Ozcan M, User A 2008: Fracture strength of direct surface-retained fixed partial dentures: effect of fiber reinforcement versus the use of particulate filler composites only. *Dental Materials Journal* 27(2):195-202.

Kumbuloglu O, Özcan M 2015: Clinical survival of indirect, anterior 3-unit surface-retained fibre-reinforced composite fixed dental prosthesis: Up to 7.5-years follow-up. *Journal of Dentistry* 43(6):656-663.

Lassila LV, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK 2004: Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dental Materials* 20(1):29-36.

Lastumäki T 2002: Lasikuitulujitetun sillan ja kruunun sidosominaisuudet uuteen muoviin. *Hammasteknikko* 2:5-8.

Malmstrom H, Dellanzo-Savu A, Xiao J, Feng C, Jabeen A, Romero M, Huang J, Ren Y, Yunker MA 2015. Success, clinical performance and patient satisfaction of direct fibre-reinforced composite fixed partial dentures - a two-year clinical study. *Journal of Oral Rehabilitation* 42(12):906-913.

Ozcan M, Breuklander MH, Vallittu PK 2005. The effect of box preparation on the strength of glass fiber-reinforced composite inlay-retained fixed partial dentures. *Journal of Prosthetic Dentistry* 93: 337-345.

Perea L, Matinlinna JP, Tolvanen M, Vallittu PK 2015: Fracture behavior of pontics of fiber-reinforced composite fixed dental prostheses. *Dental Materials Journal* 34(6):746-53.

Perea-Lowery L, Vallittu PK 2018: Framework design and pontics of fiber-reinforced composite fixed dental prostheses - An overview. *Journal of Prosthodontic Research* 62(3):281-286.

Perrin P, Meyer-Lueckel H, Wierichs RJ 2020. Longevity of immediate rehabilitation with direct fiber reinforced composite fixed partial dentures after up to 9 years. *Journal of Dentistry* 100:103438.

Torres CRG, Zanatta RF, Huhtala MFRL, Borges AB 2017: Semidirect posterior composite restorations with a flexible die technique: A case series. *The Journal of American Dental Association* 148(9):671-676.

Turkaslan S, Tezvergil-Mutluay A, Bagis B, Vallittu PK, Lassila LVJ 2009: Effect of fiber-reinforced composites on the failure load and failure mode of composite veneers. *Dental Materials Journal* 28:530-536.

Vallittu PK 1997a: Ultra-high-modulus polyethylene ribbon as reinforcement for denture polymethyl methacrylate: A short communication. *Dental Materials* 13(5-6):381-382.

Vallittu PK 1997b: Kuitulujitteiset muovit hammaslääketieteessä. Osa I: Lujitetun muovin ominaisuudet. *Suomen Hammaslääkärilehti* (15):844-848.

Vallittu PK, Nohrström T 1997: Kuitulujitteiset muovit hammaslääketieteessä. Osa II: Kliininen käyttö. *Suomen Hammaslääkärilehti* (21):2012-2018.

Vallittu PK 1999. Muovit hammasprotetiikassa. *Hammasteknikko* 3:4-10.

Vallittu PK, Sevelius C 2000: Resin-bonded, glass fiber-reinforced composite fixed partial dentures: a clinical study. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 84(4):413-418.

Vallittu PK 2002: Lasikuiturunkoinen silta kultasillan sijasta. Tapausselostus. *Hammasteknikko* 1:4-7.

Vallittu PK 2004: Survival rates of resin-bonded, glass fiber-reinforced composite fixed partial dentures with a mean follow-up of 42 months: A pilot study. *Journal of Prosthetic Dentistry* 91:241-246.

Vallittu PK 2008: Fiber-reinforced composite for dental applications. Teoksessa R.V. Curtis, T.F. Watson (toim.). *Dental Biomaterials: Imaging, Testing and Modeling*. s.242. Woodhead Publishing, England.

- Vallittu PK, Matinlinna J 2017: Types of FRCs used in dentistry. Teoksessa P.K. Vallittu, M. Özcan (toim.). *Clinical guide to principles of fiber-reinforced composites in dentistry*. s.15. Woodhead Publishing. United Kingdom.
- Vallittu PK, Shinya A 2017: Structural properties of dental FRC structures. Teoksessa P.K. Vallittu, M. Özcan (toim.). *Clinical guide to principles of fiber-reinforced composites in dentistry*.s.35–53. Woodhead Publishing. United Kingdom.
- van Heumen CC, Tanner J, van Dijken JW, Pikaar R, Lassila LV, Creugers NH, Vallittu PK, Kreulen CM 2010: Five-year survival of 3-unit fiber-reinforced composite fixed partial dentures in the posterior area. *Dental Materials* 26(10):954-960.
- van Heumen CC, van Dijken JW, Tanner J, Pikaar R, Lassila LV, Creugers NH, Vallittu PK, Kreulen CM 2009: Five-year survival of 3-unit fiber-reinforced composite fixed partial dentures in the anterior area. *Dental Materials* 25(6):820-827.
- Waki T, Nakamura T, Nakamura T, Kinuta S, Wakabayashi K, Yatani H 2006. Fracture resistance of inlay-retained fixed partial dentures reinforced with fiber-reinforced composite. *Dental Materials Journal* 25: 1-6.
- Wolff D, Schach C, Kraus T, Ding P, Pritsch M, Mente J, Joerss D, Staehle HJ 2011: Fiber-reinforced composite fixed dental prostheses: a retrospective clinical examination. *Journal of Adhesive Dentistry* 13(2):187-194.
- Xie Q, Lassila LV, Vallittu PK 2007: Comparison of load-bearing capacity of direct resin-bonded fiber-reinforced composite FPDs with four framework designs. *Journal of Dentistry* 35(7):578-582.
- Ypei Gia NR, Sampaio CS, Higashi C, Sakamoto A Jr, Hirata R 2021: The injectable resin composite restorative technique: A case report. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 33(3):404-414.
- Özcan M, Perea L, Vallittu PK 2017: Fabrication of indirect fiber reinforced resin composite (FRC) dental devices. Teoksessa P.K. Vallittu, M. Özcan (toim.). *Clinical guide to principles of fiber-reinforced composites in dentistry*. s.65-78. Woodhead Publishing. United Kingdom.