

Opinnäytetyö (AMK)

Hammasteknikon koulutus

2019

Mari Oljakka, Riikka Velling

HAMMASLABORATORIOSSA KÄYTETTÄVIEN KRUUNU- MATERIAALIEN VAHVUUS

– kuituvahvistettu komposiitti ja lasikeraami

Mari Oljakka, Riikka Velling

HAMMASLABORATORIOSSA KÄYTETTÄVIEN KRUUNUMATERIAALIEN VAHVUUS

- kuituvahvistettu komposiitti ja lasikeraami

Hammasteknisellä alalla käytettäviä biomateriaaleja kehitetään aktiivisesti. Keraameja, komposiitteja ja kuituvahvikkeita on tutkittu runsaasti. CAD/CAMillä työstettävästä, jyrstävstä kuituvahvistetusta komposiitista on kuitenkin vain vähän tutkittua tietoa hammasteknikoiden tarpeisiin.

Tämä opinnäyte on kvantitatiivinen tutkimus biomateriaalitieteiden alueelta. Opinnäytteessä tutkitaan testikappaleiden avulla kruunumateriaaleina käytettävien materiaalien mekaanisia ominaisuuksia ja arvioidaan jyrstävän kuituvahvistetun komposiitin soveltuvuutta kruunun runkomateriaaliksi. Tutkittavat materiaalit ovat sekä manuaalisesti valmistettu että jyrstävä kuituvahvistettu komposiitti. Kontrollimateriaaleina ovat lasikeraami ja vahvistamaton komposiitti. Tutkimusmenetelminä käytettiin kruunun kuormitustestiä ja ISO 6872:2015-standardin mukaista kolmipistetäivutustestiä. Analysointimenetelminä käytettiin tilastollisia menetelmiä ja murtuma-analyysiä.

Materiaalien murtovoima vaihteli välillä 588-990 N. Suurin murtovoima oli kahdella verkkokuitukerroksella vahvistetulla komposiitilla (990 N) ja se erottui tilastollisesti merkittävästi muista materiaaleista. Pienin murtovoima oli vahvistamattomalla komposiitilla (588 N). Materiaalien taivutuslujuus vaihteli välillä 124-287 MPa. Suurin taivutuslujuus oli jyrstävällä verkkokuituvahvistetulla komposiitilla (287 MPa) ja pienin vahvistamattomalla komposiitilla (124 MPa). Materiaalit jakautuivat taivutuslujuudeltaan kolmeen toisistaan erottuvaan ryhmään, mutta niiden sisällä ei ollut merkittäviä eroja. Varsinaisissa tutkittavissa materiaaleissa yleisin murtumatyyppi oli kohesiivinen murtuma komposiitissa sekä aineiden rajapinnassa (58%), kun tarkastellaan koko aineistoa. Manuaalisen ja jyrstävän kuiturunkorakenteen murtumakäyttäytymisessä oli eroja.

Jyrstävä kuituvahvistettu komposiitti Fibra Composite Bio-C soveltuu tämän tutkimuksen perusteella epäsuorien kruunujen valmistusmateriaaliksi, mikäli otetaan huomioon materiaalien rajapinnan heikkous ja runkorakenteen muovimatriisin yhteensopivuus päälle kerrostettavan komposiitin kanssa. Kuituvahvistetun rungon ja komposiittipinnan sidostusta tulisi vahvistaa.

Saaduilla tutkimustuloksilla ja vertailutiedolla on arvoa ennen kaikkea hammasteknikoille materiaalivalintojen tueksi. Tulokset voivat vaikuttaa myös hammaslaboratorioiden investointipäätöksiin ja edesauttaa hankittujen laitteiden monipuolisempaa hyödyntämistä.

ASIASANAT:

biomateriaali, puristuslujuus, murtovoima, taivutuslujuus, lasikuituvahvike, komposiitti, keraami, kuituvahvistettu komposiitti, kruunu.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Dental Technology

2019 | 54 pages, 7 pages in appendices

Mari Oljakka, Riikka Velling

FRACTURE RESISTANCE OF INDIRECT CROWNS

- a study of fracture and flexural resistance of fiber-reinforced composite and glass-ceramic indirect crowns

Biomaterials used in the dental technology are being actively developed. Ceramics, composites and fiber-reinforcements have been studied extensively. However, there is not so much research of fiber-reinforced composites (FRCs) for CAD/CAM systems to support the needs of dental technicians.

This thesis is a quantitative research in the field of biomaterial sciences. The thesis investigates the mechanical properties of materials for the fabrication of crowns by means of test samples in order to evaluate the suitability of FRC for CAD/CAM system as a crown material. The materials to be studied are milled FRC and conventional, manually made FRC with control materials glass-ceramic and composite. The crown load test and the ISO 6872:2015 three-point bending test were used as research methods. Statistical methods and fracture analysis were used as analytical methods.

The fracture load value (Load at Break) of the material test groups ranged from 588 to 990 N. The highest fracture load value was on FRC with two layers of fiber-reinforcement net (990 N). Statistically this was significant when compared to other material test groups of this study. The lowest fracture load value was on composite (588 N). The flexural strength of the material test groups (Maximum Bending Stress at Maximum Load) ranged from 124 to 287 MPa. The highest flexural strength was with milled FRC (287 MPa) and the lowest was with composite (124 MPa). The material test groups were divided into three distinct groups of flexural strength, but there were no significant statistical differences within them. In the material test groups under investigation, without control groups, the most common type of fracture was cohesive fracture in composite and at the interface of materials (58%) when looking at the entire material of this study. There were differences in the breaking behavior of milled and manually made FRC substructures.

Based on this study, Fibra Composite Bio-C FRC for CAD/CAM systems is suitable as a material for the fabrication of indirect crowns, given in mind the weakness of the material interface and the compatibility of the substructure's matrix with the layered composite polymer. The bonding of the FRC substructure and the composite surface should be strengthened.

The results obtained and the comparative data have a value above all to support the material choices of dental technicians. This can also affect investment decisions and facilitate the more versatile utilization of acquired equipment in dental laboratories.

KEYWORDS:

biomaterials, fracture resistance, flexural strength, glass fiber-reinforcement, composite, ceramics, fiber-reinforced composite, FRC, crown.

SISÄLTÖ

SANASTO	7
1 JOHDANTO	10
1.1 Komposiitti ja yhdistelmämuovi	12
1.2 Keraami ja lasi	12
1.3 Kuituvahvikkeet	13
2 TUTKIMUSKYSYMYKSET	15
3 MATERIAALIT	16
3.1 Materiaalit	16
3.2 Testiryhmät ja testikappaleet	19
3.2.1 Testikappaleiden muoto	20
3.2.2 Testikappaleiden valmistus	21
4 MENETELMÄT	28
4.1 Kruunun kuormitustesti	29
4.2 Kolmipistetaivutustesti	32
4.3 Analysointimenetelmät	33
5 TULOKSET	35
5.1 Murtovoima	35
5.2 Taivutuslujuus	37
5.3 Murtumatyypit	39
6 POHDINTA	42
6.1 Eettisyys, pätevyys ja luotettavuus	45
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	49
7.1 Jatkotutkimusaiheet	50
7.2 Itsearviointi	51
LÄHTEET	53

LIITTEET

- Liite 1. Tutkimuksessa käytetyt materiaalit ja laitteet
Liite 2. Murtuma-analyysi, tyypillisimmät murtumat ryhmittäin

KUVAT

Kuva 1. Kuitujen vahvistava vaikutus riippuen kuituvahvikkeen rakenteesta. Nuolet kuvaavat kuormittavan voiman (F) suuntaa. Lukuarvo viittaa vahvistavan vaikutuksen tehokkuuteen Krenchelin faktorin avulla.	14
Kuva 2. Fibra Composite Bio-C-materiaalinäytteet poltettiin kuitu-komposiittisuhteen selvittämiseksi.	18
Kuva 3. Fibra Composite Bio-C:n kuituverkkoa polttamisen jälkeen.	19
Kuva 4. Kruunu-testikappaleiden mallikruunu ja -pilari.	21
Kuva 5. Tikkujen kuituverkkoja leikattuna ja resiini-kostutuksen alkaessa.	23
Kuva 6. Kruunun kuiturunko ja viimeistelemätön testikappale.	23
Kuva 7. Pilarin skannaus kruunun kuiturungon valmistamiseksi.	24
Kuva 8. Kruunujen jyrskyttä kuiturunkoja Fibra Composite Bio-C-kiekossa. Yksittäinen kuiturunko ennen pinnan viimeistelyä.	25
Kuva 9. Tikkujen kuiturunkojen sahaus.	26
Kuva 10. Kruunun vaha-aiho on jäähtynyt ja muotti aukaistu. Vaha-aihiot kanavoituna valusylinterin muodostajaan.	27
Kuva 11. Keraami-ryhmän testikappaleiden kiiltopoltto.	27
Kuva 12. Kruunun kuormitustesti.	29
Kuva 13. Testausjigi.	30
Kuva 14. Sementoinnin työvaiheita.	31
Kuva 15. Foliotaitos kruunun ja koetuskärjen välissä sekä murtunut kruunu.	31
Kuva 16. Kolmipistetaivutustesti.	32
Kuva 17. Tikkujen testausasetelma ja testauksen aikana taipuva tikku.	32
Kuva 18. Murtumatyyppit.	33

KUVIOT

Kuvio 1. Murtovoima (N) ryhmittäin (keskiarvo ja keskihajonta).	36
Kuvio 2. Testikappaleiden tyypilliset kuormituskäyrät ryhmittäin kruunun kuormitustestin aikana.	37
Kuvio 3. Taivutuslujuus (MPa) ryhmittäin (keskiarvo ja keskihajonta).	38
Kuvio 4. Testikappaleiden tyypilliset kuormituskäyrät ryhmittäin kolmipistetaivutustestin aikana.	39

TAULUKOT

Taulukko 1. Testikappaleissa käytetyt materiaalit.	17
Taulukko 2. Testiryhmät, tutkittavat materiaalit yhdistelmiseen.	19
Taulukko 3. Kruunun kuormitustestin ja kolmipistetaivutustestin tulokset ryhmittäin. Murtovoima (N), taivutuslujuus (MPa) ja keskiarvot.	35
Taulukko 4. Kruunun kuormitustestin tulokset, murtovoima (N).	36
Taulukko 5. Kolmipistetaivutustestin tulokset, taivutuslujuus (MPa).	38
Taulukko 6. Kruunun kuormitustesti, murtumatyyppit ryhmittäin.	40
Taulukko 7. Kolmipistetaivutustesti, murtumatyyppit ryhmittäin.	40

SANASTO

Anisotrooppinen	Materiaalin fyysiset ominaisuudet muuttuvat riippuen kuormitus- tai tarkastelusuunnasta. Ominaisuus on suuntariippuvainen, esim. materiaalin kuormankantokyky riippuu kuormituksen suunnasta (Mustafa & Matinlinna 2014, 257).
Biomateriaali	Aine, pinta tai rakenne, joka on vuorovaikutuksessa biologisen järjestelmän kanssa (Primus C. 2013a, 519). Keinotekoinen tai luonnonperäinen materiaali, jota elimistö ei hylji ja jolla korjataan elimistön vaurioita tai korvataan elimiä (Moritz, N., luentomuistiinpano 20.11.2017).
Delaminoituminen	Rakenteiden irtoaminen toisistaan.
Filleri	Epäorgaaninen täyteaine, täytepartikkeli, esim. komposiitin mikrofilleri.
Kuituvahvistettu komposiitti, FRC	Synteettinen materiaaliyhdistelmä, jossa on polymeerimatriksi ja vahvistavia täyteaineita eli fillereitä. Vahvistavat täyteaineet ovat kuituja. (Vallittu & Matinlinna 2017, 11.) Fiber-reinforced composite (engl.).
Happi-inhibitiokerros	Yhdistelmämuovin päällä oleva polymeroitumaton monomeerikerros, silloin kun yhdistelmämuovi on kovetettu ilmakontaktissa (Bijelic-Donova, Garoushi, Lassila & Vallittu 2015, 53-60). Polymeroitumaton resiniikerros.
Impregnoituminen	Kuitujen kyllästyminen ja kostuminen resiinillä (Vallittu & Matinlinna 2017, 12-16).
Isotrooppinen	Materiaalin fyysiset ominaisuudet eivät muutu riippuen kuormitus- tai tarkastelusuunnasta. Ominaisuus on suunnasta riippumaton, esim. kuormituksen suunnalla ei ole vaikutusta materiaalin kuormankantokykyyn (Mustafa & Matinlinna 2014, 257).
ISO 6872:2015-standardi	Määrittelee hammaslääketieteessä käytettävien kiinteissä kokokeraamisissa ja metallokeraamisissa restauraatioissa ja proteeseissa käytettävien keraamien vaatimukset ja testausmenetelmät (ISO 6872, 1).
Jigi	Työkalu, jonka avulla kappaleen sijainti pidetään vakiona. Jos materiaalia työstetään, jigi pitää myös muodon alkupepäiskappaletta, ohjuria, paikallaan.
Keraami	Epäorgaaninen epämetalli, joka rakentuu metalli- tai puolimetallioksideista, fosfaateista tai sulfaateista, tai muista epäorgaanisista yhdisteistä (Anusavice 2013a, 418).

Kolmipistetaivutustesti	Mekaaninen testi, jossa materiaalin testikappaletta kuormittamalla mitataan mm. taivutuslujuutta ja murtoenergiaa. Testi-kappale on tuettu alapuolelta kummastakin päästä ja voima kohdistetaan ylhäältä kohtisuoraan 90° kulmassa kappaleen keskelle.
Komposiitti	Materiaaliyhdistelmä, jossa on vähintään kahta materiaalia. Materiaalit eivät ole sulautuneet tai lienneet toisiinsa, mutta toimivat yhdessä. Vrt. Yhdistelmämuovi.
Kruunun kuormitustesti	Sovellettu testi, jossa materiaalin testikappaletta kuormitetaan ja mitataan mm. murtoenergiaa.
Kuituvahvike	Vahvike, joka kiinnitetään vahvistamaan rakennetta. Vahvikkeen rakenne ja sijoittelu voivat vaihdella. Hammaslääketieteessä kuituvahvikkeena on käytetty esim. lasikuitua, polyetyleenä ja hiilikuitua.
Lasikeraami	Lasin lämpökäsitelty kiteinen rakenne, jossa on kiteiden välissä amorfinen lasifaasi. Rakenteeltaan tiivis, huokosista vapaa materiaali, jolla on hyvät mekaaniset ominaisuudet. (Nykänen 2005.)
Matriisi, matriisimuovi	Muovi, joka ympäröi täyteaineita tai vahvistavia kuituja. Yhdistelmämuovin lujittava osa.
Murtoenergia	Kappaleen hajoamiseen tarvittava energia eli työmäärä.
Murtolujuus	Kappaleelle tai aineelle ominainen murtokuormitus (Suomisanakirja 2018, s.v. murtolujuus). Suurin kuormitus, jolla testikappaletta voidaan kuormittaa ennen sen hajoamista.
PMMA	Polymetyylimetakrylaatti, akryylimuovi
Puristuslujuus	Lujuus puristusta vastaan (Suomisanakirja 2018, s.v. puristuslujuus).
Sementti	Aine, joka kovettuu viskoosista olomuodosta kiinteäksi muodostaen liitoksen kahden pinnan välillä. Voi toimia myös rakennetta tiivistävänä materiaalina. Hammasteknisissä soveluksissa sementti toimii mm. kiinnittävänä sidosmateriaalina sekä täytteenä proteettisten rakenteiden ja kojeiden sidostamisessa hampaaseen tai toisiinsa. (Primus C. 2013b, 257.)
Silaani	Silaanilla voidaan sidostaa kemiallisin, kovalenttisin sidoksin oleellisesti erilaisia materiaaleja toisiinsa. Silaani edistää materiaaliyhdistelmien sidostumista (keraami-yhdistelmämuovi, metalli-yhdistelmämuovi ja yhdistelmämuovi-yhdistelmämuovi). (Matinlinna 2007, 14.)
Silanointi	Esikäsitely silaanilla; adhesiivinen, tartuntaa lisäävä toimenpide (Matinlinna 2007, 14).

Taivutuslujuus	Rakenteen tai kappaleen kyky kestää murtumatta räsitusta (Suomisanakirja 2018, s.v. taivutuslujuus). Ilmaistaan megapascalleina (MPa) eli N/mm ² .
Valokovetus	Sinisen valon aallonpituudet tietyllä intensiteetillä polymeroivat muovia eli aikaansaavat reaktion, jossa dimetakrylaattimonomeereista muodostuu kolmiulotteisia, ristosilloittuneita rakenteita (Matinlinna 2008, 5). Yhdistelmämuovi kovettuu valokovetuksella.
Vetolujuus	Kappaleen kyky vastustaa vastakkaisiin suuntiin vetävää voimaa. Lujuusominaisuus.
Yhdistelmämuovi	Kovista epäorgaanisista täyteainepartikkeleista ja orgaanisista resiniinimatrikseista koostuva materiaali, jossa täyteainepartikkelit ovat silanoituneina, kemiallisesti sidottuina resiniinimatriksin sisällä (Matinlinna 2008, 4). Vrt. Komposiitti.

1 JOHDANTO

Hammasteknisellä alalla käytettäviä biomateriaaleja kehitetään aktiivisesti. Toimivien ja luotettaviksi havaittujen materiaalien ominaisuuksia parannetaan ja aivan uusia tuodaan markkinoille. Tavoitteena on aikaansaada kestäviä, esteettisiä ja toimivia materiaaleja hammaslääketieteen käyttöön potilaiden hyödyksi.

Erilaiset keraamit ovat esteettisyytensä ja kestävyytensä vuoksi olleet suosittuja kruunujen ja siltojen valmistusmateriaaleja. Yhdistelmämuovi- eli komposiittimateriaalit ovat keraameja joustavampia rakenteita ja ne kuluttavat vastapurijaa vähemmän. Keraamit, erityisesti lasikeraamit ja zirkonia-pohjaiset keraamit, ovat tällä hetkellä tutkituimpia hammasteknisiä materiaaleja. Myös komposiittia ja sitä vahvistavia kuituvahvikkeita on tutkittu runsaasti.

Kruunuja voidaan valmistaa kahdella tavalla. Suoralla tekniikalla kruunu valmistetaan hammaslääkärin vastaanotolla suoraan potilaan suussa. Epäsuoralla tekniikalla hammaslaboratoriossa valmistettu kruunu kiinnitetään hammaslääkärin vastaanotolla potilaan suuhun. Suoralla tekniikalla valmistettavien kruunujen materiaalina käytetään pääsääntöisesti komposiitteja, epäsuoralla tekniikalla valmistettaessa taas keraameja tai kuituvahvisteisia komposiitteja.

Manuaalisesti valmistettujen komposiittikruunujen valmistamiseen tarvittava laitteisto on keraamikruunujen valmistuslaitteistoa edullisempaa. Keraamin ja komposiitin korjattavuusominaisuudet ovat erilaiset kliinisessä tilanteessa, jossa kruunu on vaurioitunut. Komposiittikruunuja voidaan vauriosta riippuen korjata potilaan suussa irrottamatta kruunua. Vaurioitunut keraamikruunu täytyy käytännössä aina poistaa potilaan suusta ja korvata uudella kruunulla.

Yhdistelmämuovi- eli komposiittikruunuilla on joitakin etuja verrattuna keraamisiin kruunuihin. Niitä ovat kudosta säästävämpi hampaan preparointitarve, helpompi korjattavuus, komposiitin keraamia parempi sidostuminen hampaaseen ja vähäisempi vastapurijan kuluminen. Jälkimmäisellä on erityisesti merkitystä pintakiinnitteisissä proteettisissa rakenteissa. Potilaan kannalta komposiitti on joustavuutensa vuoksi myös käyttömukavampi materiaali purtaessa. Erityisesti siltarakenteissa komposiittia täytyy kuitenkin lujittaa lasikuiduilla, jotta ne kestävät purentarasitusta ja joustavat. Kuituvahvikkeiden

käyttöä kliinisesti on tutkittu enemmän 2000-luvun alusta lähtien (Meiers & Freilich 2001, 99-104; Vallittu 2004, 241-246).

Tässä opinnäytteessä tutkitaan testikappaleiden avulla kruunumateriaaleina käytettävien keraamin, komposiitin ja lasikuidulla vahvistetun komposiitin mekaanisia ominaisuuksia. Materiaalien murtovoimaa ja puristuslujuutta tutkitaan sovelletun kruunun kuorimitustestin sekä taivutuslujuutta kolmipistetaivutustestin avulla. Sovellettu kruunun kuorimitustesti mallintaa kolmipistetaivutustestiä paremmin kruunuun kohdistuvaa purentarasitusta suussa. Testikappaleina käytetään anatomista kruunua sekä ISO 6872:2015-standardin mukaista tikkua. Tutkimukseen vallittiin tyypillisiä Suomessa käytettäviä kruunu- ja siltamateriaaleja sekä markkinoille vastikään tullut CAD/CAM-laitteistolla jyrstittävä lasikuituverkolla vahvistettu komposiitti, jonka käyttö maassamme on vähäistä. Kontrollimateriaaleina käytettiin vahvistamatonta komposiittia ja lasikeraamia. Saatuja voima-arvoja ja testikappaleiden murtumakäyttäytymistä analysoimalla arvioidaan jyrstittävän verkkokuituvahvistetun komposiitin soveltuvuutta kruunun runkomateriaaliksi sekä kruunujen korjattavuutta.

Uudesta, jyrstittävästä verkkokuituvahvistetusta komposiitista on vain vähän tutkittua tietoa hammasteknikoiden tarpeisiin. Juuri siksi opinnäyte on ajankohtainen ja mielenkiintoinen. Hammasteknisen alan valmistustapojen digitalisoitumisen vuoksi on CAD/CAM-laitteistoihin vihdoin suomalaisissakin hammaslaboratorioissa investoitu enenevässä määrin. Tieto jyrstittävän verkkokuituvahvistetun komposiitin mekaanisista ominaisuuksista ja soveltuvuudesta kruunun runkomateriaaliksi voi osaltaan edesauttaa materiaalivalinnoissa ja hammaslaboratorioon jo hankitun CAD/CAM-laitteiston monipuolisempaa hyödyntämistä.

Opinnäyte kuuluu biomateriaalitieteiden alaan ja toteutettiin kvantitatiivisena tutkimuksena. Opinnäytteen tutkimustuloksilla ja vertailutiedolla on arvoa erityisesti hammaslaboratorioille materiaalivalintojen tueksi. Opinnäytetyön tutkimusaihetta ehdotti Turun ammattikorkeakoulun hammasteknikkokoulutuksen lehtori Pasi Alander. Opinnäytetyössä kerättyä tutkimusaineistoa, tuloksia ja kehitettyä testikappaleiden valmistusmenetelmää voidaan hyödyntää tulevaisuudessa vastaavissa opinnäytteissä.

Opinnäyte keskittyy tutkittavien materiaalien mekaaniseen testaukseen ja tulosten analysointiin. Materiaalit esitellään vain yleisellä tasolla. Lähteet rajataan pääasiassa hammaslääketieteen biomateriaaleja käsitteleviin perusteoksiin, joihinkin tutkimuksiin ja materiaalivalmistajien käyttöohjeisiin. Opinnäytteessä ei käsitellä kvantitatiivisen

tutkimuksen yleistä teoreettista taustaa, prosessin kulkua tai tiedonhankintatapoja eikä kuvailla yksityiskohtaisesti kehitettyjä testikappaleiden valmistusmenetelmiä.

Opinnäytteen testikappaleiden valmistamisessa, testauksessa ja analysoinnissa käytettiin Turun ammattikorkeakoulun opetuslaboratorion ja Turun Kliinisen Biomateriaalikeskuksen (Turku Clinical Biomaterials Centre (TCBC)) tiloja ja laitteita. Sekä Alanderin että biomateriaalitieteiden tutkijoiden, TCBC:n laboratoriopäällikkö Lippo Lassilan ja Jasmina Bijelic-Donovan asiantuntemusta ja käytännön apua hyödynnettiin.

1.1 Komposiitti ja yhdistelmämuovi

Komposiitti tarkoittaa materiaaliyhdistelmää, jossa on vähintään kahta materiaalia. Materiaalit eivät ole sulautuneet tai lienneet toisiinsa, mutta toimivat yhdessä. Yhdistelmämuovi on kovista epäorgaanisista täyteainepartikkeleista ja orgaanisista resiniinimatrikseista koostuva materiaali, jossa täyteainepartikkelit eli fillerit ovat silanoituneina eli kemiallisesti sidottuina resiniinimatriksin sisällä (Matinlinna 2008, 4). Mustafa ja Matinlinna mukaan hammaslääketieteessä restoratiivisista resiniinipohjaisista komposiittimateriaaleista käytetään tavallisesti yleisnimitystä komposiitti (Mustafa & Matinlinna 2014, 125). Kuituvahvistetuissa komposiiteissa käytetään bis-GMA-, TEGDMA- ja UDMA-pohjaisia yhdistelmämuoveja (Vallittu & Matinlinna 2017, 24-26). Komposiitit polymeroituvat joko kemiallisesti (ns. itsekovettuva) tai valokemiallisesti (valokovettuva).

Komposiitin kerrostamisen, korjaamisen ja kemiallisen sidostamisen muihin materiaaleihin mahdollistaa happi-inhibitiokerros. Kerrosta voidaan aktivoida resiniinikostutuksella. Yleisesti tiedetään, että tuoreet muovikerrokset sidostuvat paremmin kuin vanha muovi. Rawls mainitsee, että tuore polymeroitu komposiitti sidostuu paremmin kuin vanha ja että komposiitista valmistetut restauraatiot kestävät n. 2-7 vuotta (Rawls 2013, 299, 300).

1.2 Keraami ja lasi

Keraamit ovat epämetalleista ja metallioksideista sulattamalla aikaansaatuja kiinteitä epämetalleja. Keraamit ovat kokonaan tai osittain kiteytyneitä rakenteita. Ne voivat olla amorfisia, kuten lasi on. Keraamien raaka-aineita ovat maasälpä (K/Na/Ca sitoutuneena $AlSi_3O_8$:iin), kvartsi (SiO_2) ja kaoliini ($Al_2Si_2O_5OH$). Keraamien kemiallinen koostumus vaikuttaa niiden ominaisuuksiin. Nykyaikaiset hammaslääketieteessä käytetyt

keraamit koostuvat maasälvän amorfisesta faasista ja piioksidin kiteisestä muodosta. Keraamit ovat bioyhteensopivia ja esteettisiä materiaaleja. (Mustafa & Matinlinna 2014, 97, 98.) Tietyntyyppisistä keraameista käytetään myös nimitystä posliini. Lasikeraami on keraami, joka on poltettu lasimaiseksi ja myöhemmin lämpökäsitelty sen kiteyttämiseksi joko kokonaan tai osittain (Anusavice 2013a, 418). Esim. kruunuja valmistetaan präsäämällä (sulatus paineen alaisena) tai jyrsimällä joko kokonaan tai osin kiteytyntä keraamimateriaalia. Keraamien valmistukseen liittyviä lämpökäsittelyitä ovat kristallisointi ja sintraus. Keraamien sidostaminen muihin materiaaleihin on haastavaa ja siinä käytetään apuna mekaanista retentiota ja silanointia.

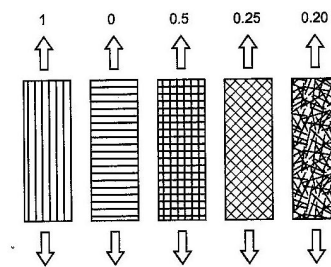
Lasi on amorfinen materiaali, joka on tehty sulattamalla yhteen kvartsia (SiO_2) ja vähintään yhtä metallioksidia (Chiayi 2013, 308). Lasin kemiallinen koostumus vaikuttaa sen kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Lasi voi kiteytyä. Lasite on matalammassa lämpötiloissa sulavaa lasia, jolla on sama lämpölaajenemiskerroin kuin sillä pinnoitettavalla keraamilla. Lasite lisää eri mekanismein pinnoitetun rakenteen lujuutta ja vaikuttaa sen ulkonäköön (Mustafa & Matinlinna 2014, 99).

1.3 Kuituvahvikkeet

Proteeseihin ja oikomiskojeisiin käytettäviä akryylejä sekä kruunu- ja siltarakenteisiin käytettäviä valokovetteisia yhdistelmämuoveja vahvistetaan kuituvahvikkeilla. Vahvistamisella pyritään parantamaan materiaalien mekaanisia ominaisuuksia, kuten puristus- tai vetolujuutta. Kuituvahvikkeena käytetään yleensä lasikuitua. Vallittu ja Matinlinna mainitsee, että hammaslääketieteen sovelluksissa käytetään S- ja E-laseja, joilla on toisistaan hieman poikkeavia ominaisuuksia. Tavallisimmin kuituvahvistetuissa komposiiteissa käytetään alkalivapaata E-lasia. (Vallittu & Matinlinna 2017, 22-23, 32.) S-lasilla on E-lasia hieman parempi vetolujuus (Vallittu 2014, 264).

Kuituvahvikkeen rakenteella, sijoittelulla, sidostamisella jne. on vaikutusta vahvistettavan komposiitin vahvuuteen. Kuituvahvikkeita voidaan jaotella rakenteensa perusteella eri tavoin. Jaottelua voidaan tehdä esimerkiksi seuraavasti: jatkuva yhdensuuntainen (esim. kuitu, kuitunippu, kudottu köysi), jatkuva kahdensuuntainen (kudottu tai verkko-mainen kangas), jatkuva sattumanvaraisesti jakautunut (matto) sekä epäjatkuva satunnainen tai järjestäytynyt (lyhyt tai katkottu) kuitu. (Vallittu & Matinlinna 2017, 11, 13, 32.)

Lasikuituvahvistetut komposiitit ovat kuormituksenkestoltaan enemmän anisotrooppisia kuin isotrooppisia. Tällä ominaisuudella on merkittävä rooli rakenteiden suunnittelussa ja muotoilussa. (Vallittu 2017, 6.) Krenchelin faktorin avulla voidaan arvioida kuitujen vahvistavaa vaikutusta, kun kuormituksen suunta on tiedossa (Kuva 1). Se ilmaisee kuitulujitteen tehokkuuskertoimen vetojännityksen suhteen. Yhdensuuntaisilla kuiduilla on voimakkain vahvistava vaikutus, kun kuormitus kohdistuu niiden suuntaisesti. (Vallittu & Matinlinna 2017, 14-15; Lastumäki 2002, 25.) Vahvikkeet pyritään sijoittamaan vetolujuuden puolelle.



Kuva 1. Kuitujen vahvistava vaikutus riippuen kuituvahvikkeen rakenteesta. Nuolet kuvaavat kuormittavan voiman (F) suuntaa. Lukuarvo viittaa vahvistavan vaikutuksen tehokkuuteen Krenchelin faktorin avulla. (Vallittu & Matinlinna 2017, 15.)

Lasikuitujen sidoksella polymeerimatriksiin on merkittävä vaikutus kuituvahvistettujen komposiittien kestävytyteen (Vallittu 2014, 261-263). Lasikuidut on impregnoitava, jotta niitä voidaan sidostaa komposiitteihin tai proteesiakryyleihin. Aiemmin käytettiin lasikuituja, jotka käyttäjän tuli itse kostuttaa resiinillä tai käsitellä MMA-monomeerineste- ja PMMA-akryylijauheseoksella ennen sidostamista. Polymerisaatiokutistuma saattoi kuitenkin aiheuttaa muutoksia kuituvahvistetun komposiitin mittasuhteisiin (Vallittu & Matinlinna 2017, 27). Lisäksi kostutus on työlästä ja kuituvahvistettuun komposiittirakenteeseen voi jäädä sitä eri mekanismeilla heikentäviä ilmakuplia (Lastumäki 2002, 32-33). Nykyaikaiset komposiitteihin käytettävät lasikuituvahvikkeet (mm. Stick®NET-kuituvahvike) on pre-impregnoitu, eli niihin jo lisätty huokoinen PMMA-pinta, mikä edesauttaa kostumista resiinillä. Resiini-kostutus aktivoi PMMA-pinnan happi-inhibitiokerroksen. Tämän vuoksi kuituverkon käyttöohjeissa annetut kostutuksen vähimmäisajat aikaansaavat riittävän pintojen kostutuksen ja hyvän sidostamistuloksen.

2 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Opinnäytteen tavoitteena on selvittää, soveltuuko vasta markkinoille tullut jyrittävä verkkokuituvahvistettu komposiitti (Fibra Composite Bio-C) kruunun runkomateriaaliksi. Asiaa selvitettiin tutkimalla sen mekaanisia ominaisuuksia komposiittipinnoitteen kanssa. Tarkasteltavat mekaaniset ominaisuudet olivat puristus- ja taivutuslujuus sekä murtovoima.

Tutkimuksen avulla pyritään vastaamaan kolmeen kysymykseen:

1. Soveltuuko uudentyyppinen jyrittävä verkkokuituvahvistettu komposiitti kruunujen runkomateriaaliksi?
2. Millainen on tutkittavien materiaalien murtumakäyttäytyminen?
3. Onko kruunun vahvuudessa eroja, jos se valmistettu manuaalisesti verkkokuituvahvistetusta komposiitista, jyrittävästä verkkokuituvahvistetusta komposiitista tai lasikeraamista?

Jyrittävän verkkokuituvahvistetun komposiitin ominaisuuksia verrattiin komposiittiin (Gradia®PLUS OneBody), jota oli vahvistettu kuituvahvikkeella (Stick®NET). Kontrollimateriaaliksi valittiin yleisesti hammaslaboratorioissa Suomessa epäsuoriin kruunuihin käytetty lasikeraami (IPS e.max Press) ja vahvistamaton komposiitti (Gradia®PLUS OneBody).

Oletuksena oli, että komposiitilla päällystetyn jyrittävän verkkokuituvahvistetun komposiitin mekaaniset ominaisuudet vastaavat tutkimuksessa olevien kontrollimateriaalien ominaisuuksia ja se siten soveltuisi tutkittujen mekaanisten ominaisuuksiensa puolesta epäsuorien kruunujen valmistamiseen. Lisäksi oletettiin, että kuidulla vahvistetun komposiitin murtumakäyttäytyminen olisi lasikeraamia tai pelkkää komposiittia suosiollisempi.

Mekaanisten ominaisuuksien lisäksi tutkittiin materiaalien murtumakäyttäytymistä. Oletuksena oli, että kuituvahvistetun komposiitin murtumakäyttäytyminen on kliinisesti suosiollisempi kuin komposiitilla tai lasikeraamilla.

3 MATERIAALIT

Testattaviksi materiaaleiksi valittiin manuaalisesti valmistettava ja jyrstävä verkkokuituvahvisteinen komposiitti. Kontrollimateriaaleiksi valittiin komposiitti ja lasikeraami.

Testaukseen sovellettavaksi standardiksi valittiin keraamistandardi ISO 6872:2105, joka määrittelee hammaslääketieteessä käytettävien kiinteissä kokokeraamisissa ja metallokeraamisissa restauroitioissa ja proteeseissa käytettävien keraamien vaatimukset ja testausmenetelmät. (ISO 6872, 1). Se soveltuu myös komposiittimateriaalien testaamiseen. Standardin mukaisten testikappaleiden käyttö mahdollistaa testin toistettavuuden ja vertailtavuuden tulevissa opinnäytetyöissä. Standardin mukaiset testikappaleet olivat tikun muotoisia ja niiden avulla mitattiin kolmipistetaivutustestillä taivutuslujuus. Lisäksi käytettiin anatomisen kruunun muotoisia testikappaleita, joiden avulla mitattiin kruunun kuormitustestin avulla murtovoima ja arvioitiin puristuslujuutta.

Testikappaleet testattiin kahden vuorokauden kuivasäilytyksen jälkeen. Näin varmistettiin komposiitin lopullinen kovettuminen.

3.1 Materiaalit

Testikappaleiden valmistamiseen käytetyt materiaalit valmistajineen esitellään taulukossa 1 (Taulukko 1). Komposiitti oli Gradia®PLUS One Body-yhdistelmämuovi. Kuituvahvike oli verkkomaisesta E-lasikuidusta valmistettu kuitukangas Stick®NET, joka on pinnoitettu huokoisella PMMA-kerroksella. Jyrstävä verkkokuituvahvistettu komposiitti (jyrstetty kuitukomposiitti) oli Fibra Composite Bio-C-polymeeri. Lasikeraami oli litium-disilikattivahvistettu lasikeraami (keraami) IPS e.max Press. Kaikki tutkimuksen yhteydessä käytetyt materiaalit ja laitteet erä- ja valmistusnumeroineen esitellään liitteessä 1 (Liite1).

Taulukko 1. Testikappaleissa käytetyt materiaalit.

Tuotenimi	Valmistaja	Eränumero	Materiaali
Gradia®PLUS	GC Dental Products Corp.,	1712041A	komposiitti, valokovetteinen yhdistelmämuovi
OneBody LB-A	Kasugai, Japani		
Stick®NET	Stick Tech Ltd, Turku, Suomi/ GC Corp., Tokio, Japani	SNET 201706121	kuituvahvike, verkko
Fibra Composite	Degos Dental GmbH,	1504302	kuitukomposiitti,
Bio-C	Regenstauf, Saksa		jiyrsittävä
IPS e.max Press	Ivoclar Vivadent AG,	W38634	lasikeraami
LT A2	Schaan, Liechtenstein		
StickRESIN	GC Europe N.V., Leuven, Belgia	51703185	resiini, kuituvahvikkeen kostutus
GC Ceramic Primer II	GC Dental Products Corp., Kasugai, Japani	-	valokovetteinen keraamiprimeri, samalla myös silaani
IPS Ivocolor Glaze	Ivoclar Vivadent AG,	V45568	lasite
Paste	Schaan, Liechtenstein		
IPS Ivocolor Mixing	Ivoclar Vivadent AG,	W30760	sekoitusneste
Liquid allround	Schaan, Liechtenstein		

Tutkittavien materiaalien testikappaleet valmistettiin pinnoittamalla manuaalisesti valmistettu verkkokuiturunko sekä jyrstetty verkkokuituvahvistettu komposiittirunko komposiitilla. Kontrolliryhmien testikappaleet valmistettiin vahvistamattomasta komposiitista ja lasikeraamista.

Koska Stick®NET-kuituverkko vaatii kostuttamisen valokovetteisella resiinillä, se kostutettiin StickRESIN-resiinillä. Komposiitin sidostamiseen käytettävät käsittelyaineet valittiin pintojen koostumuksen mukaan. Esikovetettu Stick®NET-kuituverkkopinta käsiteltiin StickRESIN-resiinillä ennen komposiitin kerrostamista. Sen pinta koostuu peruskostutuksen ja valokovetuksen jälkeen StickRESIN- ja PMMA-kerroksesta. Jyrstetty kuitukomposiitti käsiteltiin GC Ceramic Primer II-primerilla ennen komposiitin kerrostamista. Keraamin lasitteena käytettiin IPS Ivocolor Glaze Paste-lasitetta. Keraamissa ei käytetty sidostamiseen vaikuttavaa väliainetta.

Lasikuidun ja matriisimuovin määrä (kuitu-komposiittisuhde) tai fillereiden ja matriisimuovin määrä (filleri-%) vaikuttaa pintakäsittelyaineiden valintaan, kun jyrstävän kuitukomposiitin, lasikuidun tai komposiitin pinnalle sidostetaan uutta materiaalia. Primeri

valitaan sen mukaan mistä materiaalista sidostuspinta enimmäkseen koostuu. GC:n valmistamista primereista akryyliprimeri sidostuu kemiallisesti käytettyjen materiaalien muovimatriisiin. Keraamiprimeri puolestaan sidostuu kemiallisesti keraamin lasifaasiin, lasikuituun tai komposiitin keraamifillereihin. Tämän vuoksi Fibra Composite Bio-C:n materiaalisuhde selvitettiin polttamalla (600°C) matriisimuovi pois kolmesta materiaalinäytteestä Renfert Magma-esilämmitysuunissa (Renfert GmbH, Hilzingen, Saksa) (Kuva 2). Näytteet punnittiin ennen polttamista ja sen jälkeen Mettler Toledo MX5 Microbalance-tarkkuusvaa'alla (Mettler Toledo, Columbus, Yhdysvallat). Kuitu-komposiittisuhde laskettiin matemaattisesti painovolyyminä. Näytteessä oli keskimäärin 65 painoprosenttia lasikuitua sekä 35 painoprosenttia matriisimuovia. Fibra Composite Bio-C:ssa oleva kuituvahvike on kudottua monikerrosverkkokuitua (Kuva 3) ja verkkokerrokset olivat toistensa kanssa päällekkäin samansuuntaisesti. Muovin koostumusta ei saatu selville. Koska jyrityn kuitukomposiitin lasikuitupitoisuus oli matriisimuovipitoisuutta korkeampi, siitä valmistetut testikappaleet käsiteltiin keraamiprimerialla ennen komposiitin sidostamista. Manuaalisesti sijoitettavat Stick®NET-kuituverkot käsiteltiin valmistajan käyttöohjeiden mukaan StickRESIN-resiinillä ennen komposiitin sidostamista.



Kuva 2. Fibra Composite Bio-C-materiaalinäytteet poltettiin kuitu-komposiittisuhteen selvittämiseksi.



Kuva 3. Fibra Composite Bio-C:n kuituverkkoa polttamisen jälkeen.

3.2 Testiryhmät ja testikappaleet

Testattavia materiaaliyhdistelmäryhmiä oli viisi (Taulukko 2). Jokaista materiaaliyhdistelmäryhmää tutkittiin sekä kruunun ja tikun muotoisen testikappaleen avulla. Kruunut valmistettiin kruunun kuormitustestiä varten, tikut kolmipistetaivutustestiä varten. Testiryhmiä oli yhteensä kymmenen ja kussakin oli kymmenen testikappaletta (otanta 10 kpl, n=100). Otanta noudatti ISO 6872:2015-standardin testikappaleille asetettua vähimmäismäärää (10 kpl) (ISO 6872, 10). Tästä määrästä voidaan havaita jo melko hyvin ilmiön toistuvuutta tai siitä poikkeamista.

Taulukko 2. Testiryhmät, tutkittavat materiaalit yhdistelmineen.

Ryhmä	Runko-materiaali	Pinnoite	Valmistusmenetelmä	Kruunu määrä/kpl	Tikku määrä/kpl	Tarkoitus
Komposiitti	komposiitti	komposiitti	valokovetus	10	10	kontrolli
Komposiitti ja kuiturunko 2	verkkokuitu (2 kerrosta)	komposiitti	valokovetus	10	10	tutkittava
Komposiitti ja kuiturunko 5	verkkokuitu (5 kerrosta)	komposiitti	valokovetus	10	10	tutkittava
Komposiitti ja jyrstetty kuiturunko	verkkokuitu-komposiitti	komposiitti	jyrstetty runko, valokovetus	10	10	tutkittava
Keraami	lasikeraami	lasikeraami	prässäys	10	10	kontrolli

Manuaalisesti sijoitettavan kuituverkon määrän vaikutusta testikappaleiden mekaanisiin ominaisuuksiin ja murtumatyyppeihin haluttiin tutkia perusteellisemmin. Siksi valmistettiin testikappaleryhmät, joissa oli kaksi tai viisi kerrosta Stick®NET-kuitua. Valmistajan käyttöohjeen mukaan 2-3 kuitukerrosta vahvistaa kruunua riittävästi (Stick Tech Ltd 2010, 159). Tikkutestikappaleiden kuituverkkokerrokset aseteltiin samansuuntaisesti päällekkäin, koska jyrstävän kuitukomposiitin verkot oli aseteltu sillä tavoin. Kuitenkin kruunutestikappaleiden kuidut aseteltiin ristiin 45° kulmassa valmistajan käyttöohjeen kuvan mukaan (Stick Tech Ltd 2010, 155). Pelkän lasikuiturungon (manuaalisesti valmistettava verkkokuiturunko tai jyrstetty kuitukomposiittirunko) vahvuutta sellaisenaan ei testattu, koska materiaalit eivät sovellu käytettäväksi ilman komposiittipinnoitetta.

3.2.1 Testikappaleiden muoto

Tikku-testikappaleen muoto määräytyi ISO 6872:2015-standardin mukaan (pituus 15 mm x leveys 4 mm x korkeus 1 mm ($\pm 0,1$ mm)) (ISO 6872, 9). Tikkujen koon valintaan vaikutti myös niiden sahattavuus kuitukomposiittikiekosta (koko 95 mm x 20 mm). Kiekon koko määräytyi käytettävissä olevan CAM-laitteiston perusteella.

Etualueella esteettisten, kestävien ratkaisujen tarve on korostunut ja purentavoimat eivät ole niin suuria kuin taka-alueella. Siksi kruunu-testikappaleeksi valittiin etualueen hammas d11. Kruunu ja pilari valittiin tehdasvalmisteisesta Ivoclar Vivadentin standardiharjoitustyömallista (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) (Kuva 4). Testauskärjen kontaktialuetta kasvatettiin leventämällä 45° kulmassa kruunu-testikappaleen inkisaalikärjen viistettä bukkaali-inkisaalisuunnassa. Näin puristusvoima jakautuisi luonnollisemmin koko kruunu-testikappaleen alueelle kuormituksen aikana. Materiaalikohtaiset erot tulevat selkeämmin esiin, kun kuormitusvoima jakautuu tasaisemmin.



Kuva 4. Kruunu-testikappaleiden mallikruunu ja -pilari.

3.2.2 Testikappaleiden valmistus

Testikappaleet valmistettiin helmi-toukokuun aikana 2018 Turun ammattikorkeakoulun hammasteknikkokoulutuksen opetuslaboratoriossa. Erityistä huomiota kiinnitettiin testikappaleiden tasalaatuisuuteen. Testikappaleet valmistettiin materiaalien käyttöohjeiden mukaisesti. Materiaaleittain käytettiin aina samaa valmistuserää. Tässä opinnäytteessä testikappaleiden valmistuksen selostuksessa on mainittu vain varsinaisten käytettyjen materiaalien eränumerot eli niiden materiaalien, jotka ovat jääneet testikappaleisiin.

Kruunujen ja tikkujen valmistamiseksi tehtiin muotteja. Komposiittikruunujen ulkopinnan muodon valmistamiseen tehtiin muotti. Pieni lasisylinteri täytettiin läpinäkyvällä A-silikonilla, johon painettiin kruunun mallikappale. Silikonin kovetuttua mallikappale nostettiin pois. Pilarina käytettiin metallipilaria (testausjigi), joka oli valmistettu pilarin mallikappaleen avulla CoCr:sta CAD/CAM-tekniikalla. Testausjigin valmistus kuvaillaan toisaalla opinnäytteessä (Luku 4.1 Kruunun kuormitustesti).

Keraamikruunujen ulkopinnan valmistamiseen tehtiin myös muotti. Pieni muovisylinteri täytettiin putty-silikonilla, johon painettiin kruunun mallikappale. Silikonin kovetuttua mallikappale nostettiin pois. Samalla periaatteella valmistettiin pilarimuotti kipsipilarin mallikappaleen avulla. Pilarit valettiin erikoiskovasta kipsistä (Class IV).

Testitikkujen muottia varten valmistettiin komposiitista standardin mukaiset mallitikut. Mallitikut kopioitiin A-silikonilla muoteiksi. Tikkumuotteja vahvistettiin ulkopuolelta putty-silikonilla, jotta ne eivät joustaisi.

Komposiitti-ryhmä

Kruunujen valmistamiseksi metallipilari siveltiin DVA Very Special Separator-eristysaineella (Dental Ventures of America, Corona, Yhdysvallat). Kruunumuotti täytettiin Gradia®PLUS One Body LB-A-komposiitilla (GC Dental Products Corp., LOT 1712041A, Kasugai, Japani) ja painettiin metallisen pilarin (testausjigi) päälle. Kruunut esikovetettiin PremiumPlus CO02 Curing Light-käsivalokovettimella (PremiumPlus UK Ltd, Bournemouth, Yhdistynyt kuningaskunta) 60 sekuntia (20 sek/labiaali-, palatinaali- ja okklusaalipinta). Ne loppukovetettiin GC Labolight DUO-valokovetusuunissa (GC Corporation, Tokio, Japani) 5 minuutin ajan. Kruunujen pinta viimeisteltiin manuaalisesti kiillotuslaikoilla.

Tikut valmistettiin täyttämällä tikkumuotti Gradia®PLUS One Body LB-A-komposiitilla (GC Dental Products Corp., LOT 1712041A, Kasugai, Japani). Muotin päälle painettiin näytelasilevy. Tikut esikovetettiin PremiumPlus CO02 Curing Light-käsivalokovettimella 60 sekuntia (20 sek/3 kohtaa) yläpinnalta. Ne loppukovetettiin GC Labolight DUO-valokovetusuunissa 5 minuutin ajan. Tikut viimeisteltiin lopulliseen standardin mukaiseen mittaansa SIC Paper #1200-vesihiomapaperilla (Struers A/S, Ballerup, Tanska) ja kiilloitettiin manuaalisesti.

Komposiitti ja kuiturunko 2 sekä 5-ryhmät

Stick®NET-kuituverkkoa (Stick Tech Ltd/ GC Corp., SNET 201706121, Turku, Suomi/ Tokio, Japani) kostutettiin StickRESIN-resiinillä (GC Europe N.V., 51703185, Leuven, Belgia) 60 min ajan pimeässä folioon käärittynä (Kuva 5). Pitkä kostutusaika edisti kuitujen käsiteltävyyttä ja muotoutumista erityisesti, kun kuitukerroksia oli viisi.



Kuva 5. Tikkujen kuituverkkoja leikattuna ja resini-kostutuksen alkaessa.

Kruunujen valmistamiseksi metallipilari siveltiin DVA Very Special Separator-eristysaineella (Dental Ventures of America, Corona, Yhdysvallat). Kostutetut verkkokuidut (3 tai 5 kerrosta) asemoitiin metallisen pilarin (testausjigi) päälle. Kuituverkko esikovetettiin PremiumPlus CO2 Curing Light-käsivalokovettimella 60 sekuntia (20 sek/ labiaali-, palatinaali- ja okklusaalipinta) samalla painaen verkkoa läpinäkyvällä silikonityökälulla. Kuiturungon reunat viimeisteltiin timanttiterällä kovetuksen jälkeen ja asetettiin metallijigin päälle uudelleen. Kuiturunko puustattiin puhtaaksi paineilmalla ja siveltiin StickRESIN-resiinillä. Kruunumuotti täytettiin Gradia®PLUS One Body LB-A-komposiitilla (GC Dental Products Corp., LOT 1712041A, Kasugai, Japani) ja painettiin kuiturungon ja metallijigin päälle. Kruunut esikovetettiin PremiumPlus CO2 Curing Light-käsivalokovettimella 60 sekuntia (20 sek/labiaali-, palatinaali- ja okklusaalipinta). Ne loppukovetettiin GC Labo-light DUO-valokovetusuunissa 5 minuutin ajan. Kruunujen pinta viimeisteltiin manuaalisesti kiillotuslaikoilla (Kuva 6).

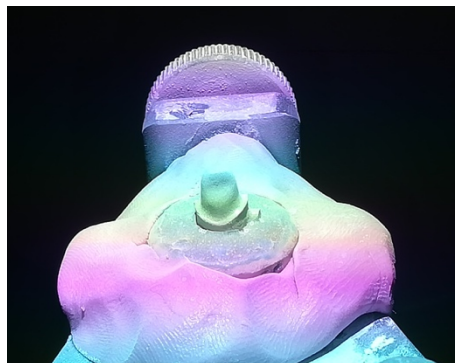


Kuva 6. Kruunun kuiturunko ja viimeistelemätön testikappale.

Tikkujen valmistamiseksi kostutetut verkkokuidut (3 tai 5 kerrosta) asemoitiin tikkumuotin pohjalle. Tikkumuotti täytettiin Gradia®PLUS One Body LB-A-komposiitilla (GC Dental Products Corp., LOT 1712041A, Kasugai, Japani) ja päälle painettiin näytelasilevy. Tikut esikovetettiin PremiumPlus CO02 Curing Light-käsivalokovettimella 60 sekuntia (20 sek/3 kohtaa) yläpinnalta. Ne loppukovetettiin GC Labolight DUO-valokovetusuunissa 5 minuutin ajan. Tikut viimeisteltiin lopulliseen standardin mukaiseen mittaansa SIC Paper #1200-vesihiomapaperilla ja kiillotettiin manuaalisesti.

Komposiitti ja jyrsitty kuiturunko-ryhmä

Jyrsityn kuitukomposiittiryhmän kruunujen kuiturungot valmistettiin Fibra Composite Bio-C:sta (Degos Dental GmbH, 1504302, Regenstauf, Saksa) TCBC:n CAD/CAM-laitteistolla (Zirkonzahn Modellier, Scanner S600 ja CAD/CAM M5) (Zirkonzahn GmbH, Gais, Italia) (Kuva 7). Jyrsityn kuiturunkon tukirakenteet poistettiin timanttiterällä (Kuva 8). Runkojen komposiittiin sidostettava pinta hiekkapuhallettiin ESPE Rocatec™Plus-erikoishiekkapuhallusmateriaalilla (3M Deutschland GmbH, 637968, Seefeld, Saksa). Metallipilari siveltiin DVA Very Special Separator-eristysaineella (Dental Ventures of America, Corona, Yhdysvallat) ja kuiturunko asetettiin jigini päälle. Kuiturunko puustattiin puhtaaksi paineilmalla ja siveltiin GC Ceramic Primer II-primerilla (GC Dental Products Corp., -, Kasugai, Japani). Kruunumuotti täytettiin Gradia®PLUS One Body LB-A-komposiitilla (GC Dental Products Corp., LOT 1712041A, Kasugai, Japani) ja painettiin kuiturungon ja jigini päälle. Kruunut esikovetettiin PremiumPlus CO02 Curing Light-käsivalokovettimella 60 sekuntia (20 sek/labiaali-, palatinaali- ja okklusaalipinta). Ne loppukovetettiin GC Labolight DUO-valokovetusuunissa 5 minuutin ajan. Kruunujen pinta viimeisteltiin manuaalisesti.

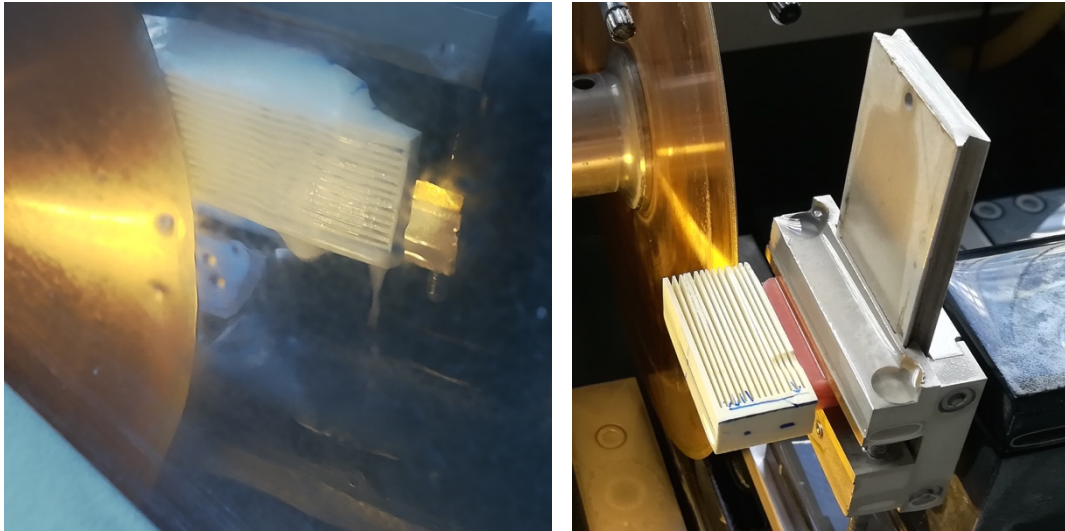


Kuva 7. Pilarin skannaus kruunun kuiturungon valmistamiseksi.



Kuva 8. Kruunujen jyrsettystä kuiturunkoja Fibra Composite Bio-C-kiekkossa. Yksittäinen kuiturunko ennen pinnan viimeistelyä.

Jyrsettyn kuitukomposiittiryhmän tikkujen kuiturungot sahattiin em. Fibra Composite Bio-C:sta (Degos Dental GmbH, 1504302, Regenstauf, Saksa) TCBC:n tutkimuslaboratorion Struers Secotom 50-histologisella sahalla (Stuers ApS, Ballerup, Tanska) (Kuva 9). Rungot viimeisteltiin SIC Paper #1200-vesihiomapaperilla ja timanttiterillä. Rungot hiekkapuhallettiin ESPE Rocatec™Plus-erikoishiekkapuhallusmateriaalilla (3M Deutschland GmbH, 637968, Seefeld, Saksa). Kuiturunko asetettiin tikkusilikonimuottiin, puustattiin paineilmalla puhtaaksi ja siveltiin GC Ceramic Primer II-primerilla (GC Dental Products Corp., -, Kasugai, Japani). Muotti täytettiin Gradia®PLUS One Body LB-A-komposiitilla (GC Dental Products Corp., LOT 1712041A, Kasugai, Japani) ja päälle painettiin näyte-lasilevy. Tikut esikovetettiin PremiumPlus CO2 Curing Light-käsivalokovettimella 60 sekuntia (20 sek/3 pinta) yläpinnalta. Ne loppukovetettiin GC Labolight DUO-valokovetus-uunissa 5 minuutin ajan. Tikut viimeisteltiin lopulliseen standardin mukaiseen mittaansa SIC Paper #1200-vesihiomapaperilla ja kiillotettiin manuaalisesti.



Kuva 9. Tikkujen kuiturunkojen sahaus.

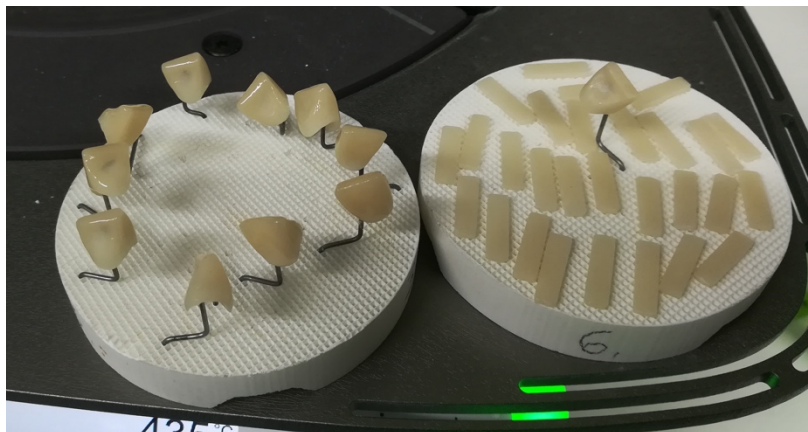
Keraami-ryhmä

Kruunuja varten valmistetut kipsipilarit siveltiin Gipsversiegler-kipsinkovettajalla (Bredent GmbH, Senden, Saksa), SureFit-tilantekolakalla (Harvest Dental, Brea, Yhdysvallat) ja eristettiin DVA Very Special Separator-eristysaineella (Dental Ventures of America, Corona, Yhdysvallat). Kruunujen vaha-aihiot valmistettiin kastamalla pilari sulaan vahaan ja painamalla se sulalla vahalla täytettyyn aukeavaan kruunumuottiin. Ne viimeisteltiin ja kanavoitiin valusylinterin muodostajaan (Kuva 10). Aihiot valumassattiin ja valusylinteri esikuumennettiin (850°C) Renfert Magma-esilämmitysuunissa (Renfert GmbH, Hilzingen, Saksa). IPS e.max Press LT A2-kerami (Ivoclar Vivadent AG, W38634, Schaan, Liechtenstein) prässättiin Programat EP3010-prässäysuunissa (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Reaktiokerros sekä valukanavat poistettiin ja kruunujen istuvuus tarkistettiin. Kruunut kiillotettiin manuaalisesti ja lasitettiin ohuelti IPS Ivocolor Glaze Paste-lasitteella (Ivoclar Vivadent AG, V45568, Schaan, Liechtenstein) ja IPS Ivocolor Mixing Liquid Allround-sekoitusnesteellä (Ivoclar Vivadent AG, W30760, Schaan, Liechtenstein). Ne poltettiin Programat P510-poltouunissa (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) IPS e.max Press-maalaspolttotekniikan Ivocolor-polttoprotokollan mukaisella kiiltopoltolla (P64, 710°C). Ennen sementointia kruunut etsattiin VITA Ceramics Etch-etsausaineella (VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Saksa), huuhdeltiin vesijohtovedellä ja höyrypestiin.



Kuva 10. Kruunun vaha-aiho on jäähtynyt ja muotti aukaistu. Vaha-aihiot kanavoituna valusylinterin muodostajaan.

Tikkujen aihiot valmistettiin sulattamalla vahaa tikkumuottiin. Vaha-aihiot viimeisteltiin ja kanavoitiin valusylinterin muodostajaan. Aihiot valumassattiin ja valusylinteri esikuumentettiin (850°C) Renfert Magma-esilämmitysuunissa. Keraami IPS e.max Press LT A2-keraami (Ivoclar Vivadent AG, W38634, Schaan, Liechtenstein) prässättiin Programat EP3010-prässäysuunissa. Reaktiokerros ja valukanavat poistettiin. Tikkujen mitat viimeisteltiin lopulliseen mittaansa SIC Paper #1200-vesihiomapaperilla ja pinnat kiilloitettiin manuaalisesti. Tikut lasitettiin samoin ohuelti IPS Ivocolor Glaze Paste-lasitteella (Ivoclar Vivadent AG, V45568, Schaan, Liechtenstein) ja IPS Ivocolor Mixing Liquid All-round-sekoitusnesteellä (Ivoclar Vivadent AG, W30760, Schaan, Liechtenstein). Tikut poltettiin Programat P510-polttuunissa IPS e.max Press-maalaukspolttotekniikan Ivocolor-polttoprotokollan mukaisella kiiltopoltolla (P64, 710°C) (Kuva 11).



Kuva 11. Keraami-ryhmän testikappaleiden kiiltopoltto.

4 MENETELMÄT

Testausmenetelminä käytettiin kruunun kuormitustestiä ja ISO 6872:2015-standardin mukaista kolmipistetaivutustestiä. Kruunun kuormitustestillä mitataan testikappaleen hajottamiseen tarvittavaa murtovoimaa. Murtovoima mittaa energiaa (murtoenergia), joka tarvitaan testikappaleen hajottamiseen. Murtovoimakestävyys (murtolujuus) ja puristuslujuus kuvaavat osaltaan materiaalin kokonaiskestävyyttä. Kolmipistetaivutustesti mittaa testikappaleen taivutuslujuutta, joka kertoo materiaalin kyvystä kestää rasitusta murtumatta. Kruunun kuormitustesti mallintaa kruunuun kohdistuvaa rasitusta todellisissa suun purentaolosuhteissa paremmin kuin standardin mukainen kolmipistetaivutustesti. Tarkastelun kohteena olivat murtuma- ja voima-arvot (Load at Break (N) ja Load at Maximum Load (N)) sekä taipuma-arvo (Maximum Bending Stress at Maximum Load (MPa)).

Mekaaninen testauslaitteisto kohdistaa testikappaleeseen voimaa ja rekisteröi voiman määrän rasituksen aikana. Tällä tavalla voidaan mitata kuormitusta, jonka testikappale kestää murtumatta ja tarvittava voima, jolla se kuormituksen kasvaessa hajoaa. Testausohjelmisto laskee saadut mittaustulokset ja muodostaa kuormituskäyrät voiman määrästä sekä rasituksen aikana että materiaalin lopullisen murtumisen hetkellä.

Kerätty aineisto analysoitiin kriittisesti matemaattisin ja tilastollisin menetelmin. Testikappaleet tarkasteltiin myös visuaalisesti ja analysoitiin murtuma-analyysin avulla. Testikappaleista määriteltiin murtumistyyppi. Murtuma-analyysillä selvitettiin materiaaliryhmittäin murtumatyyppien esiintyvyys ja määrä. Tämän perusteella voidaan tehdä päätelmiä yksittäisen materiaalin sekä eri materiaalien välisten sidosten kestävydestä. Näin voidaan arvioida verkkokuituvahvikkeen kerrosten määrän vahvistavaa vaikutusta, sidostuksen vahvuutta ja materiaaliyhdistelmien kestävyttä purentaolosuhteissa.

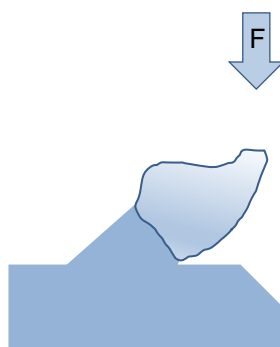
Tutkittavat materiaalit testattiin helmi-toukokuussa 2018 TCBC:n mekaanisessa testauslaboratoriossa kruunun kuormitustestillä (kruunut) ja ISO 6872:2015-standardin mukaisesti kolmipistetaivutustestillä (tikut). Testauksessa käytettiin molemmissa testimenetelmissä mekaanista Lloyd Instruments LR30X-testauslaitteistoa (Lloyd Instruments Ltd, Fareham, Yhdistynyt kuningaskunta) ja Lloyd Instruments LC 2500N-voimakennoa (Lloyd Instruments Ltd, Fareham, Yhdistynyt kuningaskunta; Ametek Inc., Berwyn, Yhdysvallat). Testauksen tuottamat murtuma-, voima- ja taipuma-arvot laskettiin

NEXYGENPlus-ohjelmistolla (Lloyd Instruments Ltd, Bognor Regis, Yhdistynyt kuningaskunta).

Tutkimuksen yhteydessä jyrstyä kuitukomposiittia lisäksi poltettiin ja punnittiin. Näin voitiin määrittää kuituvahvikkeen ja komposiitin suhde materiaalissa.

4.1 Kruunun kuormitustesti

Kruunun kuormitustestillä mitataan murtovoimaa. Kruunun muotoinen testikappale kiinnitetään pilaria jäljittelevään testausjigiin sementoimalla. Testausjigi kruunuineen kiinnitetään testauslaitteen kiinnitysalustaan 45° kulmassa kuormittavaan voimaan (F) nähden. Näin kuormitusvoima kohdistuu 90° kulmassa kruunun inkisaalikärjen viisteeseen nähden (Kuva 12). Testissä kruunun kärkeen kohdistetaan tasaisesti lisääntyvä, kuormittava voima. Kuormitusnopeus on $1 \text{ mm } (\pm 0,5 \text{ mm})/\text{min}$ (ISO 6872, 12). Testin päättyessä testikappale on murtunut.



Kuva 12. Kruunun kuormitustesti.

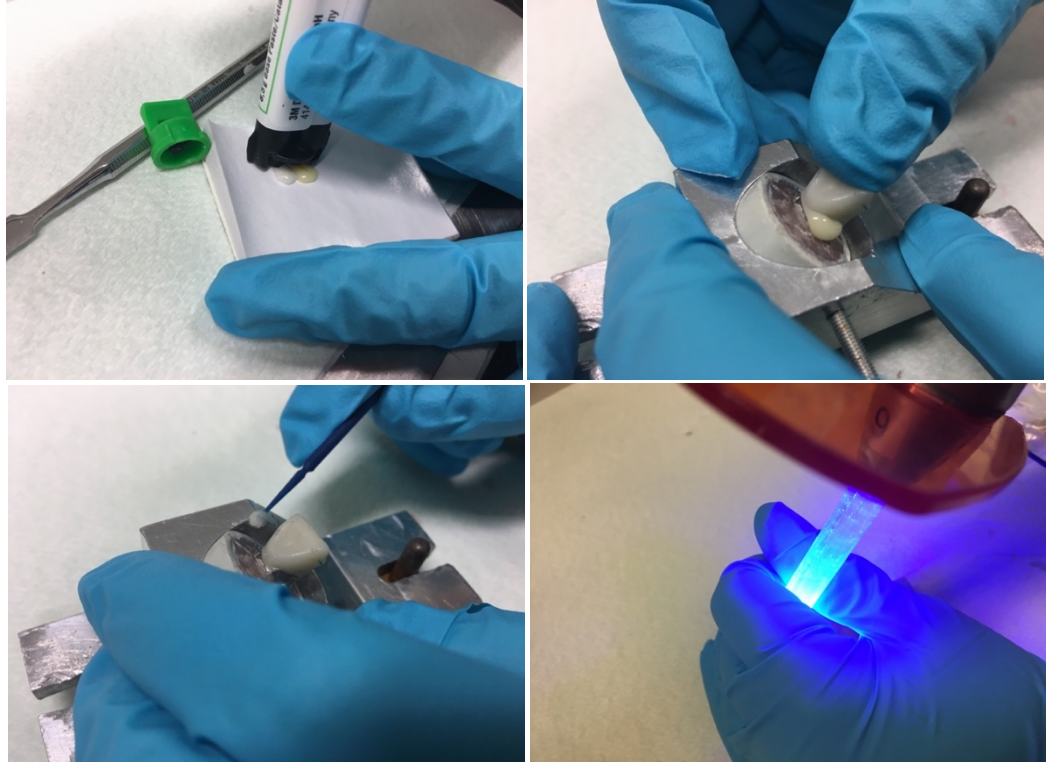
Kruunujen testausta varten valmistettiin testausjigi (Kuva 13). Sitä käytettiin myös pilarina komposiittia sisältävien kruunu-testikappaleiden valmistuksessa. Jigin runko suunniteltiin ja jyrstyttiin kobolttikromista (CoCr) TCBC:n CAD/CAM-laitteistolla (Zirkonzahn Modeller, Scanner S600 ja CAD/CAM M5) (Zirkonzahn GmbH, Gais, Italia). Jigin runko ja testausasennon kiinnitysalustaan vakioivat metallitapit upotettiin sähköputkenpätkän sisään kylmäakryyliin ja kovetettiin painekattilassa (2 bar). Jigin metallipilari kiillotettiin manuaalisesti. Kaikki kuormitustestit tehtiin saman jigin päällä.



Kuva 13. Testausjigi.

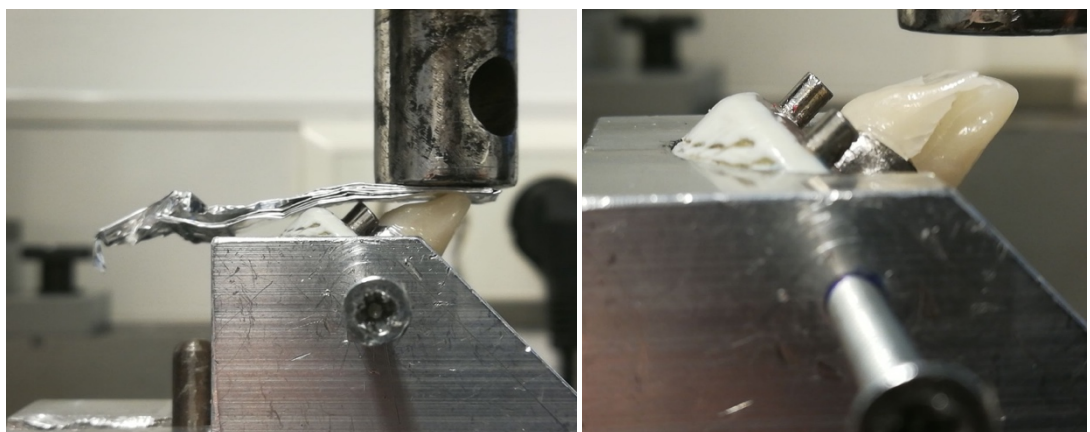
Jigin rungon metallipilarin materiaaliksi valittiin CoCr, sillä luonnonhampaita ei ollut saatavissa. Dentiini on toki CoCr:a joustavampi materiaali. Testikruunu CoCr-jigin päällä mallintaa samalla tilannetta, jossa kruunu on metallisen kruunu- tai siltarungon tai implanttiabutmentin päällä. CoCr-runkoja ja -abutmentteja käytetään edelleen yleisesti. Jigin rakenteen avulla testauskulman asetus saatiin vakioitua.

Kruunun kuormitustestiä varten jokainen kruunu kiinnitettiin jigiin sementoimalla käyttäen 3M ESPE RelyX Ultimate Adhesive Resin Cement-kiinnityssementtiä (3M ESPE, Seefeld, Saksa) valmistajan ohjeen mukaan (Kuva 14). Sementti kovetettiin valokovettamalla kruunua 60 sekuntia (20 sek/labiaali-, palatinaali- ja okklusaalipinta) 3M ESPE Elipar S10-valokovettimella (3M ESPE, Seefeld, Saksa).



Kuva 14. Sementoinnin työvaiheita.

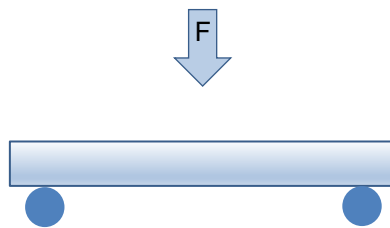
Jigi kruunuineen lukittiin testausalustaan ja testaus käynnistettiin. Keraamikruunun ja koetuskärjen kärkiosan väliin asetettiin alumiinifoliotaitos, jotta yksittäisen epätasaisuuden aiheuttama pistekuormitus ja siitä aiheutuva murtuminen voitaisiin välttää (Kuva 15).



Kuva 15. Foliotaitos kruunun ja koetuskärjen välissä sekä murtunut kruunu.

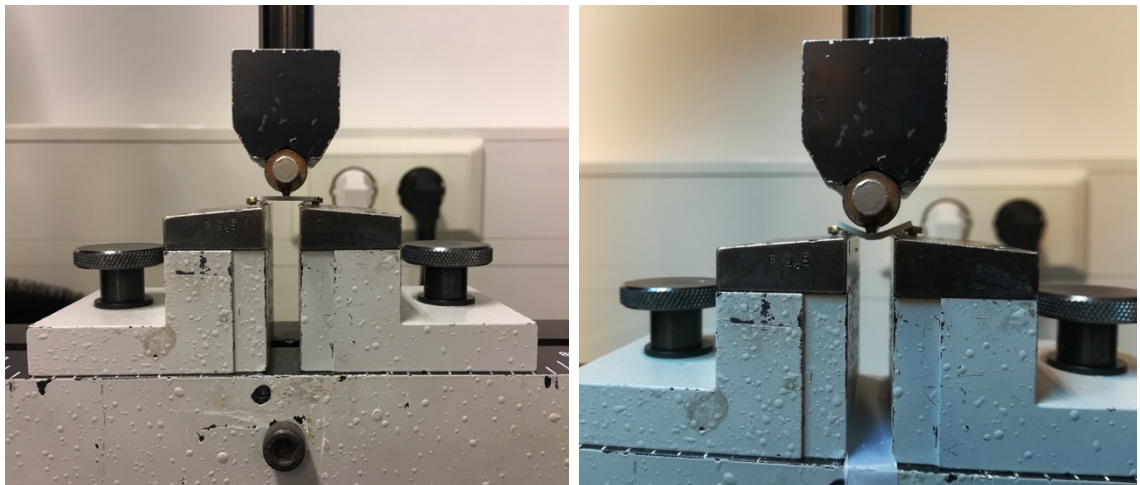
4.2 Kolmipistetaivutustesti

Kolmipistetaivutustestillä mitataan taivutuslujuutta. Tikun muotoinen testikappale asetetaan kahden tukipalkin päälle, jotka ovat 12-40 mm ($\pm 0,5$ mm) etäisyydellä toisistaan (ISO 6872, 9). Testissä tikun keskelle kohdistetaan tasaisesti lisääntyvä, kuormittava voima (F) 90° kulmassa kappaleen pintaan nähden (Kuva 16). Voimakennon ja kärki-osan kuormitusnopeus on 1 mm ($\pm 0,5$ mm) /min (ISO 6872, 12). Testin päätyttyä testikappale on murtunut.



Kuva 16. Kolmipistetaivutustesti.

Kolmipistetaivutustestiä varten jokainen tikku asetettiin testauslaitteiston tukipalkkien väliin ja testaus käynnistettiin (Kuva 17). Tukipalkit olivat 12 mm etäisyydellä toisistaan. Testauskärjen testikappaleeseen kohdistama kuormitusnopeus oli 1 mm/min.



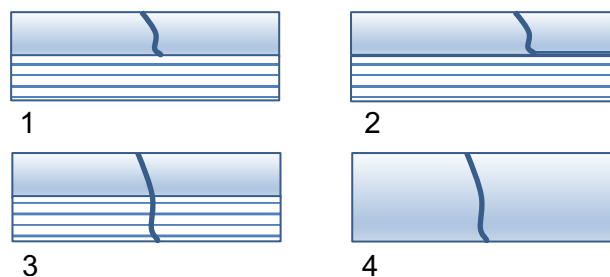
Kuva 17. Tikkujen testausasetelma ja testauksen aikana taipuva tikku.

4.3 Analysointimenetelmät

Testikappaleiden murtuma- ja taipuma-arvoista (Load at Break (N) ja Maximum Bending Stress at Maximum Load (MPa)) laskettiin matemaattisesti ryhmien minimi- ja maksimiarvot, keskiarvo ja keskihajonta (murtovoima ja taivutuslujuus). Ne analysoitiin tilastollisin menetelmin IBM SPSS Statistics 24-ohjelmalla (International Business Machines Corp., New York, Yhdysvallat).

Testikappaleiden murtumatyypit analysoitiin visuaalisesti FINO Stereo-Microscope 86001-mikroskoopilla 20-kertaisella suurennoksella (FINO GmbH, Bad Bockler, Saksa). Samalla esimerkit tyypillisimmistä murtumista ryhmittäin valokuvattiin Futudent Edu-Cam-kameralla (Novocam Medical Innovations Oy, Helsinki, Suomi).

Murtuma-analyysissä testikappaleiden murtumatyypit jaoteltiin neljään ryhmään ja niiden esiintyvyydestä laskettiin matemaattisesti keskiarvo. Murtumatyypit määriteltiin murtuneen materiaaliosan, testikappaleen materiaalikerrosten määrän ja murtuman suunnan mukaan (Kuva 18). Monoliittisissa rakenteissa ei ole materiaalien rajapintaa eikä siten rakenteen kerroksellisuutta



Kuva 18. Murtumatyypit.

Murtumatyypit ovat:

1. Kohesiivinen murtuma komposiitissa, mutta ei kuidussa. Komposiitti on murtunut, mutta murtuminen on pysähtynyt materiaalien rajapintaan ja kuitu on estänyt murtuman etenemisen.

2. Kohesiivinen murtuma komposiitissa sekä aineiden rajapinnassa. Komposiitti on murtunut, mutta murtuminen on pysähtynyt materiaalien rajapintaan ja komposiitti on delaminoitunut irti kuituvahvikkeesta. Kuituvahvike on ehjä.
3. Kohesiivinen murtuma komposiitissa ja kuidussa. Sekä komposiitti että kuituvahvike ovat murtuneet. Kuituvahvike ei ole pysäyttänyt murtuman etenemistä.
4. Kohesiivinen murtuma komposiitissa tai keraamissa. Testikappale, jossa on vain yhtä materiaalia, on kokonaan murtunut.

5 TULOKSET

Kruunun kuormitustestin ja kolmipistetaivutustestin yksityiskohtaiset tulokset esitetään sanallisesti sekä taulukoiden, kuvioiden ja kuvien avulla. Tutkittujen materiaalien murtovoima (N) ja taivutuslujuus (MPa) esitellään kootusti taulukossa 3 (Taulukko 3). Materiaalien kuormituskäyriin valittiin lähinnä keskiarvoa oleva testikappale jokaisesta testikapaleryhmästä.

Taulukko 3. Kruunun kuormitustestin ja kolmipistetaivutustestin tulokset ryhmittäin. Murtovoima (N), taivutuslujuus (MPa) ja keskiarvot.

Ryhmä	Murtovoima keskiarvo (N)	Taivutuslujuus keskiarvo (MPa)
Komposiitti	588 (± 86)	124 (± 22)
Komposiitti ja kuiturunko 2	990 (± 126)	184 (± 32)
Komposiitti ja kuiturunko 5	653 (± 199)	253 (± 53)
Komposiitti ja jyrstetty kuiturunko	590 (± 219)	287 (± 25)
Keraami	611 (± 181)	213 (± 18)

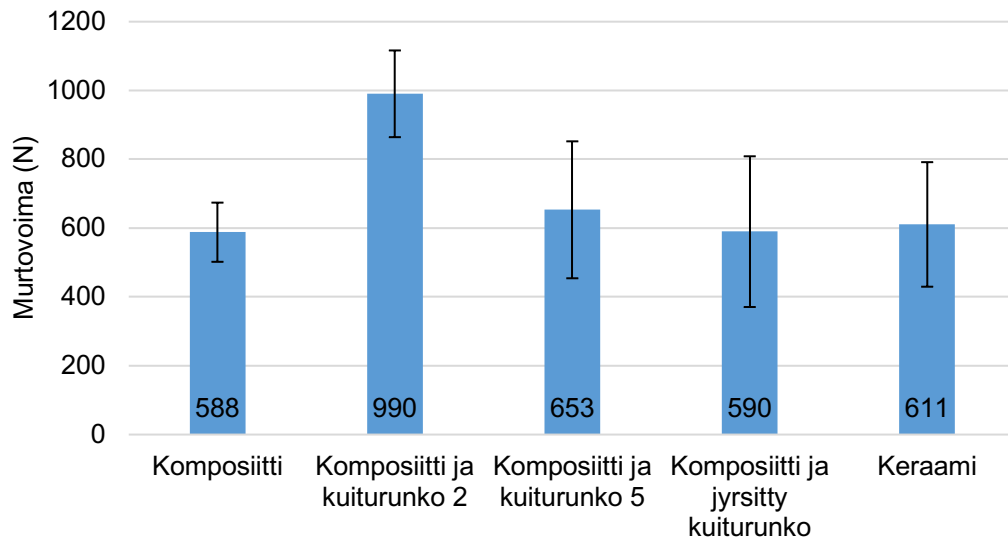
5.1 Murtovoima

Kruunun kuormitustestissä mitattiin kuormitusta testikappaleen murtuessa (Load at Break (N)) eli testikappaleen hajoamiseen tarvittavaa murtovoimaa. Murtovoima mitattiin Newtonina (N).

Kruunujen murtovoima vaihteli välillä 588-990 N, ollen suurin Komposiitti ja kuiturunko 2-ryhmässä (990 N) ja pienin Komposiitti-ryhmässä (588 N) (Taulukko 4, Kuvio 1). Kruunut, joissa komposiitti oli vahvistettu kahdella verkkokuitukerroksella, olivat murtovoimaltaan kestävämpiä kuin ne kruunut, joiden runko oli vahvistettu viidellä verkkokuitukerroksella tai joiden runko oli jyrstettyä kuitukomposiittia. Ne olivat myös keraamikruunuja kestävämpiä. Vahvistamaton komposiittikruunu oli murtovoimaltaan heikoin. Erot neljän heikoin ryhmän sisällä olivat pieniä.

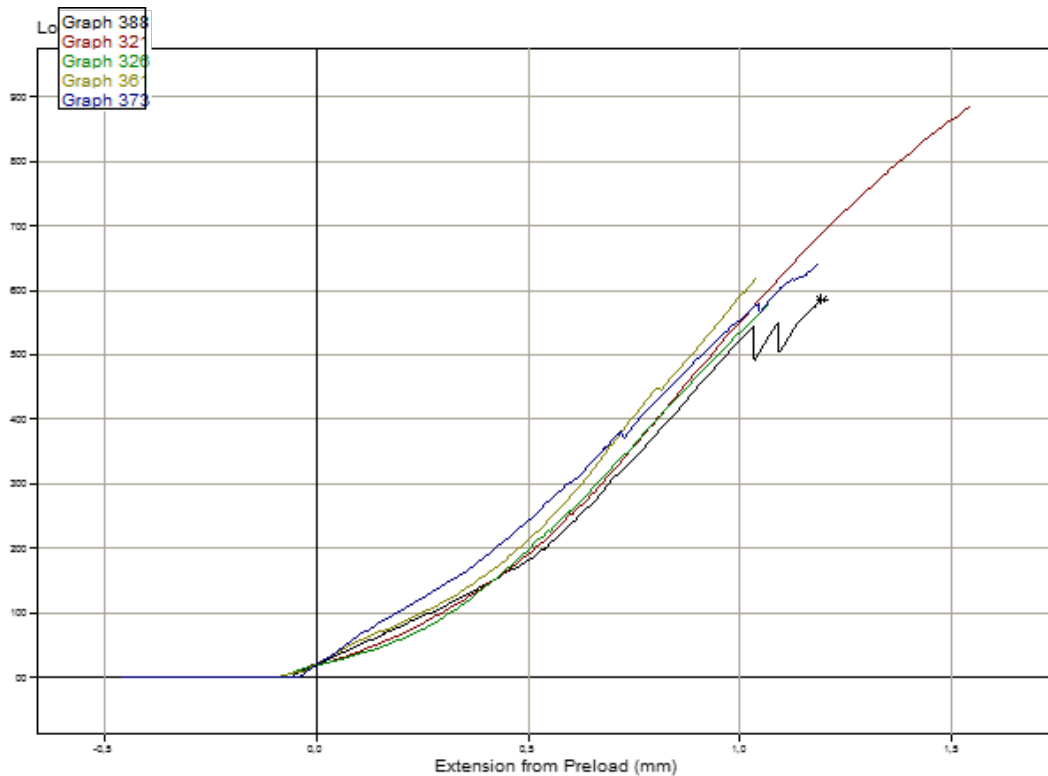
Taulukko 4. Kruunun kuormitustestin tulokset, murtovoima (N).

Ryhmä	Murtovoima keskiarvo (N)
Komposiitti	588 (±86)
Komposiitti ja kuiturunko 2	990 (±126)
Komposiitti ja kuiturunko 5	653 (±199)
Komposiitti ja jysitty kuiturunko	590 (±219)
Keraami	611 (±181)



Kuvio 1. Murtovoima (N) ryhmittäin (keskiarvo ja keskihajonta).

Kruunun kuormitustestin aineistolle tehtiin tilastollinen yksisuuntainen varianssianalyysi IBM SPSS Statistics 24-ohjelmalla. Analyysi ilmaisee eroavatko ryhmät keskenään. Tilastollinen tarkastelu osoitti, että Komposiitti ja kuiturunko 2-ryhmä erottui tilastollisesti merkittävästi murtolujuudeltaan muista ryhmistä ($p < 0.001$). Ero voidaan havaita selvästi myös kruunun kuormitustestin kuormituskäyristä (Kuvio 2). Muut ryhmät eivät erottuneet tilastollisesti toisistaan ($p > 0.001$).



Graph 388	Komposiitti ja jyrstetty kuiturunko
Graph 321	Komposiitti ja kuiturunko 2
Graph 326	Komposiitti
Graph 361	Keraami
Graph 373	Komposiitti ja kuiturunko 5

Kuvio 2. Testikappaleiden tyypilliset kuormituskäyrät ryhmittäin kruunun kuormitustestin aikana.

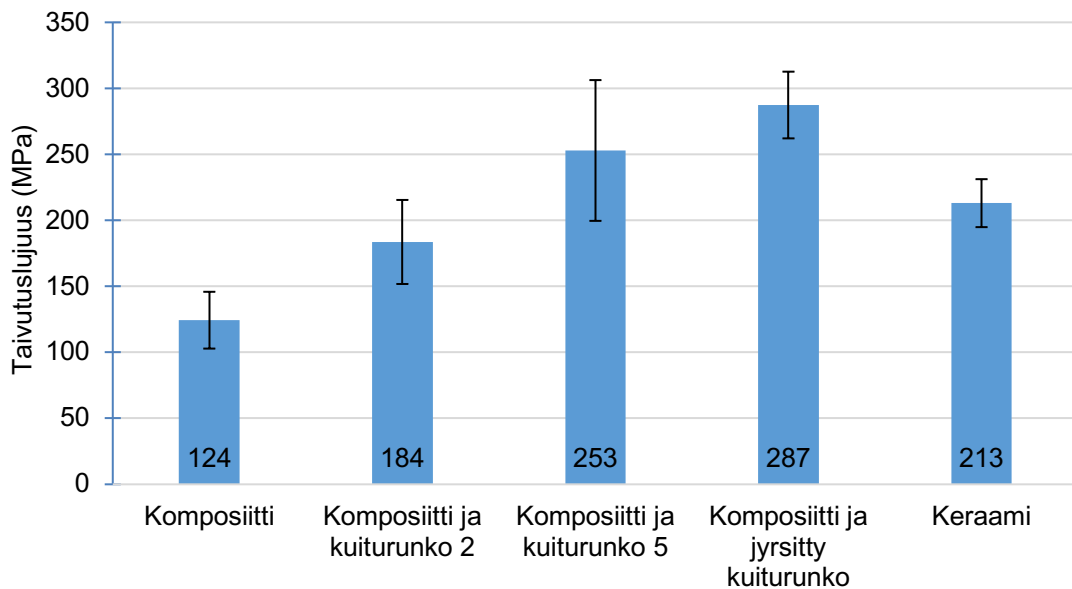
5.2 Taivutuslujuus

Kolmipistetaivutustestissä mitattiin taivutuslujuutta (Maximum Bending Stress at Maximum Load (MPa)). Kuormitusvoima (Load at Maximum Load (N)) mitattiin Newtonina (N) ja taivutuslujuus megapascalina (MPa).

Tikkujen taivutuslujuus vaihteli välillä 124-287 MPa, ollen suurin Komposiitti ja jyrstetty kuiturunko-ryhmässä (287 MPa) ja pienin Komposiitti-ryhmässä (124 MPa) (Taulukko 5, Kuvio 3). Tikut, joissa komposiitti oli vahvistettu viidellä verkkokuitukerroksella tai joiden runko oli jyrstettyä kuitukomposiittia, olivat taivutuslujuudeltaan kestävämpiä kuin ne, joiden runko oli vahvistettu vain kahdella verkkokuitukerroksella tai olivat kokonaan keraamia. Vahvistamaton komposiitti oli taivutuslujuudeltaan heikoin.

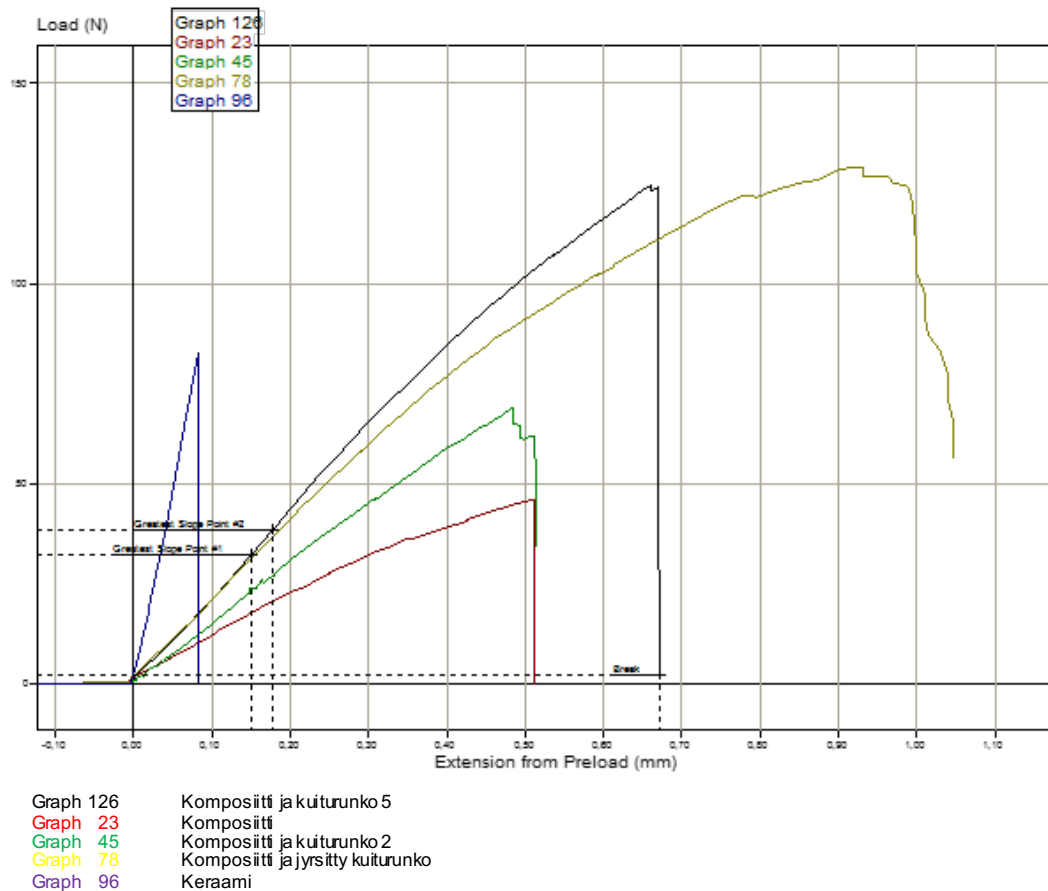
Taulukko 5. Kolmipistetaivutustestin tulokset, taivutuslujuus (MPa).

Ryhmä	Taivutuslujuus keskiarvo (MPa)
Komposiitti	124 (± 22)
Komposiitti ja kuiturunko 2	184 (± 32)
Komposiitti ja kuiturunko 5	253 (± 53)
Komposiitti ja jyrstetty kuiturunko	287 (± 25)
Keraami	213 (± 18)



Kuvio 3. Taivutuslujuus (MPa) ryhmittäin (keskiarvo ja keskihajonta).

Kolmipistetaivutustestin aineistolle tehtiin myös tilastollinen analyysi IBM SPSS Statistics 24-ohjelmalla. Tilastollinen tarkastelu osoitti, että Komposiitti ja jyrstetty kuiturunko-ryhmä ja Komposiitti ja kuiturunko 5-ryhmä erottuivat selvästi omana ryhmänään muista ryhmistä. Komposiitti ja kuiturunko 2-ryhmä ja Keraami-ryhmä erottuivat omana ryhmänään. Komposiitti-ryhmä oli omansa. Näiden kolmen ryhmän sisällä ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja ($p > 0.001$). Tämä havaitaan selvästi myös kolmipistetaivutustestin kuormituskäyristä (Kuvio 4).



Kuvio 4. Testikappaleiden tyypilliset kuormituskäyrät ryhmittäin kolmipistetaivutustestin aikana.

5.3 Murtumatyypit

Murtuma-analyysin tulokset esitellään taulukoissa 6 ja 7 (Taulukot 6 ja 7). Tyypillisimmät murtumat valokuvattiin ja ne esitellään liitteessä 2 (Liite 2).

Kruunun kuormitustestissä yleisin murtumatyyppi oli kohesiivinen murtuma komposiitissa ja aineiden rajapinnassa (Murtumatyyppi 2) (52%, 26 kpl). Toiseksi yleisin murtumatyyppi oli koko materiaalin läpi etenevä kohesiivinen murtuma komposiitissa tai ke-raamissa (Murtumatyyppi 4) (40%, 20 kpl), sillä kaikki kontrolliryhmät (Komposiitti ja Keraami) murtuivat siten. Kolmanneksi yleisin oli kohesiivinen murtuma rajapinnassa mutta ei kuidussa (Murtumatyyppi 1) (6%, 3 kpl). Harvinaisin murtumatyyppi oli murtuma sekä komposiitissa että kuidussa (Murtumatyyppi 3) (2%, 1 kpl). Varsinaisissa tutkittavissa ryhmissä eli kerrosrakenteellisissa ryhmissä 87% testikappaleista oli Murtumatyyppiä 2.

Taulukko 6. Kruunun kuormitustesti, murtumatyypit ryhmittäin.

Ryhmä	Murtumatyyppe 1	Murtumatyyppe 2	Murtumatyyppe 3	Murtumatyyppe 4
Komposiitti				100%
Komposiitti ja kuiturunko 2		100%		
Komposiitti ja kuiturunko 5	20%	80%		
Komposiitti ja jyrstetty kuiturunko	10%	80%	10%	
Keraami				100%
Yhteensä	6%	52%	2%	40%
Yhteensä ilman kontrolliryhmiä	10%	87%	3%	

Kolmipistetaivutustestissä yleisin murtumatyyppi oli koko materiaalin läpi etenevä kohesiivinen murtuma komposiitissa tai keraamissa (Murtumatyyppi 4) (40%, 20 kpl). Toiseksi yleisin murtumatyyppi oli kohesiivinen murtuma komposiitissa mutta ei kuidussa (Murtumatyyppi 1) (30%, 15 kpl). Kolmanneksi yleisin oli kohesiivinen murtuma komposiitissa ja aineiden rajapinnassa (Murtumatyyppi 2) (18%, 9 kpl). Harvinaisin murtumatyyppi oli kohesiivinen murtuma komposiitissa ja kuidussa (Murtumatyyppi 3) (12%, 6 kpl). Varsinaisissa tutkimusryhmissä eli kerrosrakenteellisissa ryhmissä 50% testikappaleista oli Murtumatyyppiä 1.

Taulukko 7. Kolmipistetaivutustesti, murtumatyypit ryhmittäin.

Ryhmä	Murtumatyyppe 1	Murtumatyyppe 2	Murtumatyyppe 3	Murtumatyyppe 4
Komposiitti				100%
Komposiitti ja kuiturunko 2	70%		30%	
Komposiitti ja kuiturunko 5	80%	10%	10%	
Komposiitti ja jyrstetty kuiturunko		80%	20%	
Keraami				100%
Yhteensä	30%	18%	12%	40%
Yhteensä ilman kontrolliryhmiä	50%	30%	20%	

Tutkimuksen yleisin murtumatyyppi oli koko materiaalin murtuminen (Murtumatyyppi 4) (40%, 40 kpl). Sitä esiintyi vain kokonaan yhdestä materiaalista valmistetuissa Komposiitti- sekä Keraami-ryhmissä, jotka olivat kontrolleina.

Varsinaisissa tutkittavissa ryhmissä yleisin murtumatyyppi oli kohesiivinen murtuma komposiitissa sekä aineiden rajapinnassa (Murtumatyyppi 2) (58%, 35 kpl), kun tarkastellaan koko tutkittavaa aineistoa. Komposiitti murtui ja delaminoitui irti sekä 2- ja 5-verkkokuitukerroksen että jyritystä kuiturungosta. Kuiturunko pysyi kuitenkin melko ehjänä tai kokonaan ehjänä.

Manuaalisten ja jyrityksen kuiturunkorakenteiden murtumakäyttäytymisessä oli eroja. Näiden varsinaisten tutkittavien ryhmien sisällä yleisin murtumatyyppi oli kohesiivinen murtuma komposiitissa sekä aineiden rajapinnassa (Murtumatyyppi 2) (43%, 26 kpl). Komposiitti delaminoitui irti kuiturungosta. Komposiitti ja kuiturunko 2-ryhmässä tätä tyyppiä oli 50% (10kpl) ja Komposiitti ja jyrityksen kuiturunko-ryhmässä 80% (16kpl) testikappaleista. Komposiitti ja kuiturunko 5-ryhmän tyypillisin murtuma oli kohesiivinen murtuma komposiitissa mutta ei kuidussa (Murtumatyyppi 1) (50%, 10kpl).

6 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, että soveltuuko verkkokuituvahvistettu komposiitti kruunun runkomateriaaliksi. Lisäksi tutkittiin miten se ja muut materiaalit käyttäytyvät murtuessaan sekä onko lasikeraamin, manuaalisesti valmistetun ja jyrityn verkkokuituvahvistetun komposiitin vahvuudessa eroja.

Tämän tutkimuksen mukaan komposiitilla päällystetty jyrityt kuiturunko on taivutuslujuudeltaan ja 2- ja 5-kerroskuiturunko puristuslujuudeltaan lasikeraamia kestävämpi materiaali. Jyrityt kuiturunko taipui voimakkaasti, osittain katkeamatta. Testikappaleiden hajoaminen tapahtui molemmissa testeissä usein materiaalien rajapinnasta. Rajapinta oli siis kerrosrakenteen heikko kohta. Kuiturungon ja komposiitin sidos vaikuttaa merkittävästi materiaalien delaminoitumiseen ja siksi sen laatuun tulee kiinnittää erityistä huomioita kerrostettaessa komposiittia kuiturungon päälle.

Murtumatyyppityksen avulla havaittiin, että kuidut pysäyttävät usein murtuman etenemisen. Huomionarvoista on, että kuidulla vahvistetuissa ryhmissä esiintyi vähimmin Murtumatyyppi 3:a, jossa sekä komposiitti että kuitu ovat murtuneet. Juuri tämä osoittaa kuitujen vahvistavan komposiittia. Kruunun murtuessa suussa runko pysyisi ehjänä ja komposiittipinnoite voisi olla korjattavissa kruunua irrottamatta. Jyrityt kuiturunko nimittäin säilyi ehjänä. Komposiittipinnan ja jyrityn kuiturungon delaminoituminen tapahtui täsmälleen materiaalien rajapinnassa. Manuaalisesti valmistettu kuiturunkokin pysyi melko ehjänä, mutta kuidut nousivat katketessaan epäsäännöllisesti pystyyn rungon pinnasta komposiitin irrotessa rungosta joko osin tai kokonaan. Tästä voidaan päätellä, että sidos on ollut hieman parempi manuaalisesti valmistetun kuiturungon ja komposiitin välillä kuin jyrityn kuiturungon ja komposiitin välillä. Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että jyrityt kuiturunko on täysin kovettunutta muovia. Yleisesti tiedetään, että uuden ja vanhan muovin välinen sidos ei ole yhtä vahva kuin jos olisi sidostettu tuoreita muovikerroksia. Jyrityyn, täysin kovettuneeseen muoviin ei pinnoitusmuovi siis sidostu niin hyvin. Tämän vuoksi jyrityn kuiturunkoryhmän ja manuaalisesti valmistetun kuiturunkoryhmän murtumakäyttäytyminen erosi selkeästi toisistaan. Jyrityssä kuiturunkoryhmässä delaminoitumista esiintyi selvästi enemmän kuin manuaalisissa kuiturunkoryhmissä. Manuaalisen kuiturungon kuitukerrosten lisääminen kahdesta viiteen ei vaikuttanut pysäyttävän murtuman etenemistä paremmin tai vähentävän delaminoitumista.

Materiaalien rajapinta on korjattavissa helpommin jyrksityssä kuiturungossa kuin manuaalisessa kuiturungossa. Jyrksityn kuiturungon pinta oli komposiitin irtoamisen jälkeen tasaisempi kuin manuaalisen kuiturungon, jossa harotti katkenneita kuituja eri suuntiin. Korjauksen yhteydessä näitä harottavia kuituja tulisi siistiä tasaisemmaksi. Kuitujen väliin voi uuden komposiitin kerrostuksen yhteydessä jäädä helpommin ilmakuplia. Ilmakuplat puolestaan heikentävät rakennetta ja sidosta. Komposiittipinnan lisääminen kruunun runkoon ennen korjauskomposiittia on kuitenkin hallitumpaa, kun kuidut on siistitty. Lasikeraami murtui kokonaan halki läpi materiaalin ja silloin sitä ei voida korjata. Kokonaan haljennut kruunu on aina irrotettava hampaasta ja korvattava uudella kruunulla, riippumatta siitä mitä materiaalia se on.

Erilaisilla testimenetelmillä saatiin samoista varsinaisista tutkittavista ryhmistä esiin eri tavalla painottunutta murtumakäyttäytymistä. Kolmipistetaivutustestissä kaikkien materiaalit murtuminen (Murtumatyyppi 3) oli melko yleinen, mutta kruunun kuormitustestissä sitä vastoin oli hyvin harvinainen. Kolmipistetaivutustestillä ilmeni enemmän komposiitin murtuman pysähtymistä kuiturunkoon (Murtumatyyppi 1), kruunun kuormitustestillä taas pintakomposiitin delaminointumista irti rungosta (Murtumatyyppi 2). Olisi mielenkiintoista selvittää, miksi näin on tapahtunut. Eroavaisuudet osoittavat, että standarditesti ei kerro kaikkea materiaalin murtumisesta tai sen ominaisuuksista. Huomionarvoista on, että kruunu-testikappale ja siihen kohdistuva kuormitus jäljittelee kliinisissä oloissa kuormituksen alle joutuvaa hammasta paremmin kuin tikku-testikappale. Materiaalien ominaisuuksia on siis hyödyllistä tutkia sekä standardi- että sovelletuilla testausmenetelmillä.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että puristuslujuudeltaan (murtovoimakestävyys, murtolujuus) manuaalisesti valmistettu kaksi verkkokerrosta sisältävä kuiturunkoinen komposiitti oli muita tutkittuja ryhmiä kestävämpi. Muutoin kuituvahvistetut komposiitit eivät kestävyydeltään erottuneet kontrollimateriaalina olleesta lasikeraamista. Valmistuksen kannalta työläämmän ja enemmän verkkokuitumateriaalia kuluttavan viiden kuitukerroksen käyttäminen rungossa ei lisännyt rakenteen kestävyyttä. Valmistaja on testannut materiaalit ja ohjeistanut niiden käyttöä. Verkkokerroksia ei ole tämän tutkimuksen tulosten perusteella tarpeen lisätä tavoiteltaessa parempaa puristuslujuutta.

Miksi manuaalisesti valmistettu kuitukomposiittiryhmä, jossa on enemmän vahvistavaa kuitua, hajosi helpommin kuin vähemmän kuitua sisältävä ryhmä? Syynä voi olla pienempi komposiitin määrä kuituun verrattuna. Komposiitti on lasikuitua heikompi materiaali ja ohuina kerroksina tietenkin hauraampi. Mitä enemmän kruunun paksuudesta on kuitua, sitä vähemmän siihen mahtuu komposiittia ja joka ohuempana kerroksena

murtuu helpommin. Lisäksi komposiitin ja rungon valmistuksen yhteydessä komposiittiin, kuitukerroksen ja komposiitin väliin sekä rungon verkkokuitukerrosten väliin voi jäädä ilmakuplia. Anusavicen mukaan lämmönvaihtelun tai mekaanisen kuormituksen kohdistuessa materiaalien rajapintaan, ilmataskuista voi alkaa murtumia, jotka voivat johtaa liitoksen irtoamiseen (Anusavice 2013b, 28). Mitä useampi kuituverkkokerros kruunun rungossa on, sitä todennäköisempää on ilmakuplien jääminen runkorakenteeseen. Viiteen kuituverkkokerrokseen niitä jää todennäköisemmin kuin kahteen kerrokseen. Ilmakuplia tulisi näin ollen välttää huolellisella kruunun valmistustekniikalla. Useampi verkkokerros tekee kuituvahvikkeesta myös jäykemmän, mikä hankaloittaa rungon valmistusta. Valmistajan ohjeistamaa kuitujen resiini-kostutuksen vähimmäisaikaa pidempi kostutus-aika teki kuituverkosta pehmeämmän helpottaen kuitujen käsiteltävyyttä ja muotoutumista tiiviiksi runkorakenteeksi pilarin päälle.

Tulosten perusteella on selvää, että komposiitin vahvistaminen kuiduilla kannattaa, edes jonkinlainen vahvistaminen. Kuituvalmistajan ohjeistusta verkkokuitukerrosten määrästä kannattaa noudattaa. On johdonmukaista, että kolmipistetaivutustestissä, jossa mitataan taivutuslujuutta, suurempi kuitumäärä tekee testikappaleesta vahvemman. Kruunun kuormitustestissä taas kuitumäärän lisääminen ei kasvattanut murtovoimakestävyyttä eli puristuslujuutta. Tähän voi olla syynä komposiitin määrän väheneminen kruunutestikapaleessa, sillä niiden seinämäpaksuus oli aina sama. Ohuempi komposiittipinoitekerros murtui vähemmästä kuormituksesta ja murtuma eteni helpommin materiaalin läpi.

On syytä huomioida, että tässä tutkimuksessa manuaalisen kuiturungon kruunu-testikappaleiden verkkokuitukerrokset oli aseteltu 45° kulmassa ristiin toisiinsa nähden. Ne mukautuivat pehmeämmin pilarin muotoon kruunun rungoksi, koska taipuvat kuitukimput eivät sijoittuneet täsmälleen päällekkäin. Rungon valmistus oli siksi helpompaa. Jos verkot olisi aseteltu yhdensuuntaisesti päällekkäin, taipuvaa kuitukimppua olisi ollut taipuvassa kohdassa enemmän ja rakenne siten jäykempi. Tikku-testikappaleissa manuaalisen kuiturungon verkkokuitukerrokset sijoitettiin yhdensuuntaisesti toistensa päälle. Kerrokset olivat sijoittuneena samalla tavalla kuin jyrstävissä kuitukomposiittiekossa sekä siitä saatuissa tikkutestikappaleissa. Jyrstävissä kuitukomposiittiekossa kruunun rungon kuituverkkorakenne kuitenkin aina katkeaa jyrstävissä, riippumatta rungon asennosta kiekossa. Vahvistava kuitu ei ole enää verkkomainen vaan pikemminkin säännöllisesti sijoittunutta katkokuitua. Tutkimuksen kruunurungot oli sijoitettu jyrstävään kiekkoon sattumanvaraisesti. Kuituverkkojen sijoittelun suunnan varioinnin

vaikutusta puristus- ja taivutuslujuuteen ja kruunurungon asennon merkitystä kiekossa olisi mielenkiintoista tutkia enemmän.

Ajatellen hammasteknisen alan tulevaisuudennäkymiä ja tuotantotapoja, jyrittävä kuituvahvistettu komposiitti on varteenotettava vaihtoehto epäsuorien kruunujen runkomateriaaliksi. Kuiturungot säilyivät tutkimuksessa hyvin ehjänä. Kruunut myös pysyivät sementillä kiinni metallisessa testausjigissä. Runkomateriaalin käsittely on siistiä ja jyrittävä materiaali rakenteeltaan tiivistä. CAD/CAMin käyttö mahdollistaa kruunun rungon tarkan istuvuuden pilariin ja tarvittaessa työn toistettavuuden. Valmistustapana CAD/CAM on tehokas ja tarkkuudeltaan erinomainen.

Manuaalisesti tehtävässä jatkuvassa komposiitin ja StickNET®-verkkokuidun kerrostuksessa ei kerrosten väliin tarvita erikseen primeria tai silaania. Happi-inhibitiokerros sidostaa kuidun ja komposiitin suoraan yhteen. Mikäli primeria käytetään sidoslujouden parantamiseen komposiitin ja rungon välillä, se voi olla tämän tutkimuksen yhteydessä käytettäväksi harkituista primereistä joko akryyli- tai keraamiprimi. GC:n valmistamat em. primerit ovat ensisijaisesti silaaneja. Varsinaista primeriä kostuttavana primerina tarvittaisiin, mikäli rungon pinta olisi porattu manuaalisesti.

6.1 Eettisyys, pätevyys ja luotettavuus

Vilka toteaa tutkimusetiikan tarkoittavan yhteisesti sovittuja pelisääntöjä suhteessa kollegoihin, tutkimuskohteeseen, rahoittajiin, toimeksiantajiin ja yleisöön. Hyvä tieteellinen käytäntö edellyttää, että noudatetaan eettisesti kestäviä tiedonhankinta- ja tutkimusmenetelmiä. Tällöin käytetään tiedeyhteisön hyväksymiä menetelmiä. Tiedonhankinta perustetaan oman alan tieteellisen kirjallisuuden tuntemukseen, riittäviin laboratoriokokeisiin, havaintoihin ja omaan tutkimuksen analysointiin. Tutkimustulosten on täytettävä tieteelliselle tutkimukselle asetetut vaatimukset. Tutkimuksen on tuotettava uutta tietoa, yhdisteltävä tai hyödynnettävä vanhaa uudella tavalla. Hyvä tieteellinen käytäntö edellyttää rehellisyyttä, huolellisuutta ja tarkkuutta työssä sekä tulosten esittämisessä. Se tarkoittaa myös vilpittömyyttä ja kunnioittavaa suhtautumista toisia tutkijoita kohtaan ottamalla huomioon samasta asiasta tehdyt saavutukset. (Vilka 2015, 41, 42.)

Vilka sekä Hirsijärvi, Remes ja Sajavaara kuvailevat tutkimuksen pätevyyttä eli validiteettia ja luotettavuutta eli reliabiliteettia. Tutkimuksen pätevyys eli validius tarkoittaa tutkimusmenetelmän mittarin kykyä mitata sitä, mitä tutkimuksessa on tarkoituskin mitata.

Systemaattista virhettä ei saisi olla. Luotettavuus eli reliaabelius tarkoittaa tulosten tarkkuutta ja mittaustulosten toistettavuutta. (Vilka 2015, 193, 194; Hirsijärvi, Remes & Sajavaara 2014, 231-233.) Nämä varmistetaan käyttämällä oikeaa tutkimusmenetelmää ja muuttujien tarkkaa määrittämistä. Kun tutkimus on validi, se on luotettava ja pätevä. Kun tutkimus on reliaabeli, se on mittatarkka ja toistettavissa.

Tämän opinnäytteen eettisyys varmistettiin käyttämällä soveltuvan ISO-standardin mukaista testausmenetelmää ja CE-merkittyjä materiaaleja. Aiempiin tutkimustuloksiin ja lähteisiin perehdyttiin kykyjen ja mahdollisuuksien puitteissa. Tutkimusta varten tehtiin riittävä määrä tutkittavaa ominaisuutta mittaavia kokeita. Koska mittaustulokset voivat poiketa oletetusta, toimitiin rehellisesti tulosten esittämisessä, vaikka ne eivät kaikilta osin aivan etukäteisolettamuksia tukeneetkaan.

Opinnäytetyö tehtiin hyvää tieteellistä käytäntöä, vakiintunutta testausmenetelmää ja menetelmiä noudattaen siten, että tutkimus on toistettavissa. Testausmenetelmänä käytettiin asiantuntijoiden suosituksesta ISO-standardin mukaista materiaaliyksilöityä testiä sekä soveltavaa testiä, jotta saatiin paremmin esiin materiaalien ominaisuuksia kliinisiä olosuhteita vastaavassa kuormituksessa. Tutkimuksen pätevyyttä ja luotettavuutta varmistettiin tutkimalla testikappaleita ISO 6872-standardin vähimmäisvaatimusten mukainen määrä (10 kpl) kussakin ryhmässä.

Luotettavuutta lisäsi testikappaleiden huolellinen valmistaminen, kalibroidun testauslaitteiston käyttö käyttöohjeiden mukaan sekä tulosten analysointi tilastointiohjelmalla. Systemaattisia virheitä pyrittiin poistamaan arvioittamalla tutkimusasetelmaa ja menetelmiä kokeneilla alan tutkijoilla. TCBC:n laboratoriotilat ja testauslaitteisto sekä saatu asiantuntija-apu olivat korkeinta mahdollista tasoa hammastekniikassa ja hammaslääketieteessä käytettävien biomateriaalien tutkimuksen alueella. Testikappaleiden käsittelyä varten saadut neuvot (inkisaalikärjen levennyys, alumiinifolion kuormituksen tasaamisvaikeus), tutkimusasetelma, analyysin neuvot jne. otettiin huomioon tarkasti. Testauslaitteet olivat kalibroituja ja testausolosuhteet ihanteelliset.

Käytetyt materiaalit ja laitteet pyrittiin dokumentoimaan sekä käyttämään vain tunnettujen valmistajien materiaaleja ja laitteita. Tutkimustulosten luotettavuutta heikentää kuitenkin osittain puutteelliset materiaalien jäljitettävyyssiedot sekä testikappaleiden valmistukseen ja testaukseen liittyvän työpäiväkirjan puute.

Testikappaleet valmistettiin ja testattiin huolellisesti käyttäen hyväksytyjä biomateriaalien tutkimuksen toimintatapoja ja käytänteitä. Kussakin materiaalissa käytettiin aina

samaa valmistuserää, mikä on edellytys luotettavuudelle ja tulosten keskinäiselle vertailtavuudelle. Käyttöohjeita noudatettiin. Materiaalivalinnassa päädyttiin käytettyyn kuituun ensisijaisesti siksi, että sitä oli mahdollisuus saada testattavaksi. Myös saman valmistajan ja markkinoijan resiiniä, komposiittia ja primereitä oli saatavissa. Oli johdonmukaista valita käytettäväksi yksi toimittaja ja tuoteperhekokonaisuus. Keraamiksi valittiin vakiintunut, yleisesti käytössä oleva lasikeraami. Testikappaleiden tasalaatuisuus voitiin hallita, kun yksi henkilö teki ne. Kunkin ryhmän testikappaleet pyrittiin myös valmistamaan samalla kertaa. Erityistä huomiota kiinnitettiin valmistuksen toimintatapojen vakiointiin, testikappaleiden ilmakuplattomuuteen, pinnan viimeistelyyn, mittatarkkuuteen sekä pinnan hiontavaurioiden vaikutuksen ja jännitysmurtumien ehkäisyyn (mm. tikun kulmien muoto (ISO 6872, 10)). Valmistustapojen kehittäminen ja vakiointi lisäsi tutkimusten luotettavuutta ja toistettavuutta. Muottien rakenteella voitiin varmistaa tasalaatuinen ja toistettava testikappaleiden muoto, mikä minimoi systemaattisen virheen valmistuksen osalta. Käyttämällä standardimallin kruunua ja pilaria oli mahdollista hankkia vastaava malli uudelleen, mikäli kruunumalli, pilarit tai jigi kulusivat tai vaurioituisivat. Standardimalli on yleisesti hankittavissa. Standardimallia ja valmistettua jigii voidaan hyödyntää tulevaisuudessa opinnäytetöissä, jolloin tulokset ovat vertailtavissa luotettavasti. Jigin rakenteen avulla testauskulman asetus vakioitiin. Vakiointi mahdollisti kruunun kuormitustestin testausasennon tarkan toistettavuuden ja samalla nopeutti testaamista.

Kokoneiden tutkijoiden ohjeet huomioitiin kaikissa tutkimuksen vaiheissa. Kolmipiste-taivutus-testissä käytettiin ISO 6872:2015-standardia testikappaleen mittojen määrittämisessä ja testauksessa. Samoja periaatteita ja tarkkuuksia noudatettiin kruunun kuormitustestissä. Mittaustulokset ovat toistettavia, tarkkoja ja mittasivat sitä mitä oli tarkoituskin mitata. Mitatuille arvoille saatiin analysoimalla johdonmukaiset ja ryhmittäin eroavat tulokset. Kruunut ja tikut numeroitiin juoksevasti ryhmittäin valitsemalla numerointijärjestys satunnaisesti. Tikut mitattiin digitaalisella K-Proof-työntömitalla ja mittaustulokset kirjattiin NEXYGENPlus-ohjelmistoon ennen jokaisen testikappaleen testausta. Näin ohjelmisto laski testauksen tuottamat lukuarvot korjatusti oikein. Tällä tavalla eliminoitiin standardin salliman testikappaleiden kokovaihtelun vaikutus tuloksiin.

Tutkimuksen tulokset eivät kaikilta osin olleet ennakkokäsitysten mukaisia. Tulokset esitetään opinnäytteessä sellaisena kuin ne olivat. Tulosten suuruusluokka on johdonmukainen ja selitettävissä. Lähteiden laatua pyrittiin pitämään luotettavana ja taustan tiedonhankinnassa suosimaan alkuperäisiä julkaisuja. Lähteisiin viitataan asianmukaisesti. Materiaalien ominaisuuksista kertovaa valmistajien markkinointimateriaalia tarkasteltiin

kriittisesti ja sitä käytettiin pääasiassa perehdyttäessä materiaalien ominaisuuksiin. Lähdemateriaalia voitiin hyödyntää alkuperäiskielellä, mikä lisää luotettavuutta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Jyrsitty verkkokuituvahvistettu komposiitti Fibra Composite Bio-C soveltuu tämän tutkimuksen perusteella epäsuorien kruunujen valmistusmateriaaliksi, mikäli otetaan huomioon materiaalien rajapinnan heikkous ja runkorakenteen muovimatriisin yhteensopivuus päälle kerrostettavan komposiitin kanssa. Kuituvahvistetun rungon ja komposiittipinnan sidostusta tulisi vahvistaa.

Murtumakäyttäytymiseltään kuituvahvistetut kruunu-testikappaleet murtuivat kohesiivisesti komposiitin ja kuidun rajapinnalta, tikku-testikappaleet taas kohesiivisesti myös kuituun. Molemmat testikappaletyypit pysyivät pääosin koossa, mikä tarkoittaa suotuisaa murtumatyyppiä. Tämä osoittaa, että kuidut kykenevät estämään murtuman etenemisen testikappaleessa. Lasikeraamia olevat testikappaleet murtuivat kokonaan osiin, mikä on epäsuotuisa murtumatyyppi. Lasikeraami ei pystynyt estämään murtuman etenemistä, mikä osoittaa sen haurautta materiaalina.

Tutkittujen materiaalityyppien vahvuuksissa ei ollut tilastollista eroa, paitsi että puristuslujuudeltaan muita vahvempana erottui kaksi lasikuituverkkokerrosta sisältävä komposiittiryhmä (Taulukko 4, Kuvio 1). Kaikkien lasikuituverkolla vahvistettujen komposiittiryhmien testikappaleet murtuivat suotuisalla tavalla, kun taas lasikeraamiryhmässä kaikki hajosivat epäsuotuisasti (Taulukot 6 ja 7). Jyrsitty kuitukomposiitti ei puristuslujuudeltaan ollut lasikeraamia kestävämpi, mutta taivutuslujuudeltaan se erottui muita kestävämpänä.

Oletusten mukaisesti tutkittavan komposiitilla päällystetyn jyrsityn kuitukomposiitin mekaaniset ominaisuudet vastasivat tutkimuksessa olevien kontrollimateriaalien ominaisuuksia siten, että sen voidaan odottaa soveltuvan epäsuorien kruunujen valmistamiseen. Kuidulla vahvistetun komposiitin murtumakäyttäytyminen oli lasikeraamia tai pelkkää komposiittia suosiollisempi, mikä vahvisti ennakko-oletusta. Kuitenkin odotusten vastaisesti viidellä verkkokuitukerroksella vahvistettu komposiittikruunu oli puristuslujuudeltaan heikompi kuin kahdella kuitukerroksella vahvistettu komposiittikruunu.

Tutkimuksen tulokset tarkoittavat käytännössä sitä, että vaurioitunut kuituvahvistettu kruunu olisi kliinisesti korjattavissa joko suoralla tekniikalla potilaan suussa tai sitten epäsuoralla tekniikalla. Epäsuorassa tekniikassa kruunu irrotetaan, korjataan hammaslaboratoriossa ja kiinnitetään uudelleen potilaan suuhun. Se kumpi korjaustekniikka valitaan,

riippuu vauriosta, kruunun murtumapinnan laajuudesta ja sen sijoittumisesta. Lasikeraaminen kruunu olisi vaurioituessaan korvattava uudella kruunulla, sillä se hajoaa osiin. Uuden kruunun valmistaminen ei ole kustannustehokasta eikä kudosta säästävää hoitoa.

7.1 Jatkotutkimusaiheet

Opinnäytetyön edetessä nousi esiin useita jatkotutkimusaiheita, jotka liittyvät materiaaleihin, sidostamiseen ja kuituverkon suunnan variointiin. Niitä voisivat olla mm. seuraavat aiheet:

- Tämän tutkimuksen vastaavien tutkimuskappaleiden testaaminen neljän viikon märkäsäilytyksen jälkeen.
- Jyrsittävän katkokuituvahvistetun komposiitin (Trinia®) vahvuus kruunun runkomateriaalina vastaavilla menetelmillä ja testikappaleilla.
- Jyrsittävän lasikeraamin vahvuus vastaavilla menetelmillä ja testikappaleilla.
- Hybridikeraamien vahvuus kruunumateriaalina, korjattavuus ja vastapurijan kuluminen verrattuna kuituvahvistettuun komposiittiin.
- Verkkokuidun määrän ja tikku-testikappaleeseen sijoittamisen muutosten vaikutus komposiitin vahvuuteen.
- Verkkokuitukerrosten keskinäisen asemoinnin (esim. 45° kulmaan, kuten tämän tutkimuksen kruunu-testikappaleissa) varioinnin vaikutus materiaalivahvuuteen tikku-testikappaleissa.
- GC Acrylic Primer-primerin, GC Ceramic Primer II-primerin (primeri, silaani) ja Espe™Sil-silaanin käytön vaikutus kuituvahvistettujen komposiittien sidostumiseen päällekerrostettavaan komposiittiin.
- Em. tutkimusaihe varioituna siten, että rungon pinnan pintakäsittelyssä käytetään ESPE Rocatec™Plus-erikoishiekkapuhallusmateriaalia tai Al₂O₃-hiekkapuhallushiekkaa, ja tämän varioinnin vaikutusta sidostumiseen arvioitaisiin.
- Murtumatyyppien analysointi valomikroskoopilla (esim. Wild M3Z Combistere, Heerbrugg, Sveitsi).

Tämän opinnäytteen yhteydessä tutkittiin muitakin materiaaliyhdistelmiä sidostuksineen sekä kehitettiin materiaalinäytteiden valmistustapoja. Tätä tietoa voidaan hyödyntää tulevissa opinnäytteissä.

7.2 Itsearviointi

Opinnäytteiden tekijöiden kokemattomuus tutkijoina sekä aihealueen laajuus tekivät opinnäytteen tekemisestä ja sen prosessin hallinnasta hyvin haasteellista. Hammasteknikkokoulutuksen sisältö ei ollut valmentanut etukäteen biomateriaalitieteiden alueen tutkimuksen tekemiseen halutussa ja toteutuneessa laajuudessa. Tarvittavaa tietämystä materiaaleista ei aloittelevilla hammasteknikolla ollut. Opinnäytteen aiheen rajaus ja käsittelytapa oli alusta saakka haasteellista. Prosessin aikana työn sisältö venyi moneen suuntaan. Työn ohjaajat innostuivat aiheesta, mikä laajensi aiheenkäsittelyä ja tutkimusasetelmaa alussa suunniteltua monisyisemmäksi. Tämä aiheutti opiskelijoille epävarmuutta.

Työmäärä kahden opiskelijan tekemään opinnäytteeseen oli valtava. Tämä olisi voitu välttää työn paremmalla suunnittelulla, käsiteltävän aiheen tiukalla rajauksella ja jämemmällä otteella uskaltaa pysyä alun suunnitellussa laajuudessa. Uudet, työn edetessä kehittyneet ideat ja kiinnostuksenkohteet voitaisiin tutkia toisissa opinnäytteissä. Kokonaisuuden hahmottaminen oli opiskelijalle joka tapauksessa riittävän haasteellista.

Aiheeseen liittyvää materiaali- ja teoritietoa olisi pitänyt ottaa enemmän haltuun ennen varsinaisen suorittavan työn ja opinnäytteen kirjoittamisen aloittamista. Siihen perehtyminen prosessin alkuvaiheessa olisi edesauttanut aiheen haltuunottoa ja materiaalien ominaisuuksien ymmärtämistä. Osaa alan perusteoksista ei ollut saatavissa kuin vasta työn myöhemmässä vaiheessa. Toisaalta biomateriaalitieteiden alueen julkaisutoiminta on aktiivista ja uutta, yksityiskohtaista tietoa on saatavilla koko ajan enemmän. Lopulta opinnäytteen painopiste rajattiin varsinaiseen tehtyyn tutkimukseen. Aiheen teoreettisen taustan ja materiaalien esittely jätettiin vähäiseksi. Lähteet, joihin lopulta viitattiin, olisivat voineet olla tuoreempia tai yksityiskohtaisempia. Edellä mainittu on kokonaisuuden kannalta puute, sillä taustoitus auttaisi opinnäytteen lukijaa hyötymään aiheenkäsittelystä paremmin. Nyt lukijalta edellytetään pikemminkin jo asiantuntijatason tietoa käsiteltävästä aiheesta, mikä rajaa opinnäytteen sisällön suoran hyödynnettävyyden pienemmälle kohderyhmälle. Kaikkea kiinnostavaa ei saa mahdutettua yhteen opinnäytteeseen. Ja mitä enemmän alkaa ymmärtää, sitä enemmän käsittelyä voisi laajentaa ja jäntevöittää. Koska ohjaajat ovat alan kokeneita tutkijoita ja olleet osin kehittämässä käytettyjä materiaaleja, ei opiskelijan tietopuutteita tutkimusmenetelmistä, tutkimuksen kulun etenemisestä tai materiaalien ominaisuuksista aina havaittu heti. Tietoa annettiin auliisti,

kun ymmärtämättömyys kävi ilmi. Asiantuntijoiden ohjaus, antamat lähteet ja apu oli korvaamatonta, ja edellytys tällaisen opinnäytteen tekemiseen.

Opinnäytteen toteuttamisen onnistumisen kannalta olisi ollut hyödyllistä päästä seuraamaan ensin käytännössä jonkin biomateriaalitieteiden alan tutkimuksen kulkua. Näin ymmärtäisi etukäteen mikä on tärkeää ja oleellista. Tutkittavat materiaalit tulisi hankkia hyvissä ajoin, jotta aikataulu ei venyisi toimitusongelmien vuoksi. Mikäli lopullisia materiaaleja ei ole heti saatavissa, harjoituskappaleiden valmistus saatavilla olevista vastaaventyyppisistä materiaaleista auttaisi ratkaisemaan testikappaleiden valmistukseen liittyviä ongelmia etukäteen. Testikappaleiden laatu oli korkea. Ne olivat keskenään tasalaatuisia, hyvin mittatarkkoja ja ilmakuplattomia. Niiden valmistus olisi pitänyt dokumentoida järjestelmällisemmin alusta saakka, jotta kirjoittamisvaiheessa välttämättömiä tietoja ei olisi tarvinnut koota ja pohtia useaan kertaan.

Turun ammattikorkeakoulun biomateriaalitieteiden alueen opinnäytteiden sisällön rakenne ei ollut vielä vakiintunut. Koska ohjaajia oli useita, saatu ohjaus ei ollut aina samansuuntaista. Selkeyttävää tukea, apua ja rohkaisua kuitenkin saatiin matkan varrella. Aihe oli mielenkiintoinen ja kokonaisuuden hahmottuessa jopa imaisi mukaansa. Tutkimuksen tarkoitus ja suunta on pidettävä selkeänä mielessä. Opiskelijan haasteena oli liian suuren painoarvon antaminen ja ajan käyttäminen joihinkin yksittäisiin tutkimuksen vaiheisiin. Näkemyksen muodostuminen kokonaisuudesta, ja siitä mitä oikeasti ollaan tekemässä, vei hyvin pitkään.

Opiskelijoiden keskinäinen yhteistyö ja kommunikointi oli haasteellista. Sovituista vastualueista kiinnipitäminen ei onnistunut. Suunniteltu aikataulukkaan ei toteutunut lainkaan. Työniloa kuitenkin jopa koettiin. Opinnäyte saatiin valmiiksi sekä tutkimuskysymyksiin vastauksia. Jatkotutkimusaiheitakin on. Opinnäytteen yhteydessä kehitettiin testikappaleiden valmistuksen menetelmiä ja testausjigi. Opinnäytteen tekeminen kerrytti opiskelijalle tietopankin biomateriaaleista ja kokemusta tiedonhausta, tiedon omaksumisesta sekä tieteellisen tutkimuksen tekemisestä.

LÄHTEET

Anusavice, K. 2013a. Dental Ceramics. Teoksessa Anusavice, K. J.; Shen, C. & Rawls, H. R. (toim.). Phillips' science of dental materials – 12th edition. St. Louis: Saunders Elsevier Inc.

Anusavice, K. 2013b. Structure of Matter and Principles of Adhesion. Teoksessa Anusavice, K. J.; Shen, C. & Rawls, H. R. (toim.). Phillips' science of dental materials – 12th edition. St. Louis: Saunders Elsevier Inc.

Bijelic-Donova, J.; Garoushi, S.; Lassila, L. V. & Vallittu, P. K. 2015. Oxygen inhibition layer of composite resins: Effects of layer thickness and surface layer treatment on the interlayer bond strength. *European Journal of Oral Sciences*. Vol. 123, 53–60. Viitattu 6.9.2018 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25556290>

Chiayi, S. 2013. Dental Cements. Teoksessa Anusavice, K. J.; Shen, C. & Rawls, H. R. (toim.). Phillips' science of dental materials – 12th edition. St. Louis: Saunders Elsevier Inc.

EN ISO 6872:2015 Dentistry - Ceramic materials. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

Hirsijärvi, S.; Remes, P. & Sajavaara, P. 2014. Tutki ja kirjoita. 19. painos. Helsinki: Tammi.

Lastumäki, T. 2002. CAD/CAM-kuitukomposiitin kehittäminen hammasteknologian sovellutuksiin. Projektityö. Sosiaali- ja terveysala, Hammastekniikka. Helsinki: Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia.

Matinlinna, J. 2007. Silaanit, zirkonia ja adheesio hammastekniikassa. *Hammasteknikko-lehti* 4/2007. Helsinki: Suomen Hammasteknikkoseura ry. Viitattu 15.9.2018 <http://www.hammasteknikko.fi/tiedostot/Silanointi.pdf>.

Matinlinna, J. 2008. Hammashoidon ja hammastekniikan komposiitit. *Hammasteknikko-lehti* 2/2008, 4-7. Helsinki: Suomen Hammasteknikkoseura ry. Viitattu 15.9.2018 <http://www.hammasteknikko.fi/tiedostot/Komposiitit.pdf>.

Meiers, J. C. & Freilich, M. A. 2001. Chairside prefabricated fiber-reinforced composite fixed partial dentures. *Quintessence International* 2001. Vol 32, No 2, 99-104. Viitattu 6.9.2018 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12066682>

Murtolujuus. *Suomisanakirja* 2018. Viitattu 15.9.2018 <https://www.suomisanakirja.fi/murtolujuus>

Mustafa, A. A. & Matinlinna, J. 2014. Materials in Dentistry. Teoksessa Matinlinna, J. (toim.). *Handbook of Oral Biomaterials*. Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.

Nykänen, J. 2005. Materiaaliopin virtuaalikurssi. TTKK, Materiaaliopin laitos. Viitattu 17.9.2018 http://www.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_3_2b.php

Primus, C. 2013a. Emerging Technologies. Teoksessa Anusavice, K. J.; Shen, C. & Rawls, H. R. (toim.). Phillips' science of dental materials – 12th edition. St. Louis: Saunders Elsevier Inc.

Primus, C. 2013b. Dental Cements. Teoksessa Anusavice, K. J.; Shen, C. & Rawls, H. R. (toim.). Phillips' science of dental materials – 12th edition. St. Louis: Saunders Elsevier Inc.

Puristuslujuus. *Suomisanakirja* 2018. Viitattu 15.9.2018 <https://www.suomisanakirja.fi/puristuslujuus>

Rawls, H. 2013. Resin-Based Composites. Teoksessa Anusavice, K. J.; Shen, C. & Rawls, H. R. (toim.). Phillips' science of dental materials – 12th edition. St. Louis: Saunders Elsevier Inc.

StickTech Ltd. 2010. Stick® ja Stick®NET-kuitulujitteet. Tarkastettu 4/2018. Turku. Stick Tech Ltd. https://cdn.gceurope.com/v1/PID/stick/ifu/IFU_Stick_-_StickNet_W.pdf

Taivutuslujuus. Suomisanakirja 2018. Viitattu 15.9.2018 <https://www.suomisanakirja.fi/taivutuslujuus>

Vallittu, P. K. 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*. Vol 91, No 3, 241-246. Viitattu 6.9.2018 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15060493>

Vallittu, P. 2014. Overview of Fiber-Reinforced Composites. Teoksessa Matinlinna, J. (toim.). *Handbook of Oral Biomaterials*. Singapore: Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.

Vallittu, P. 2017. Key requirements for dental FRCs. Teoksessa Vallittu, P. & Özcan, M. (toim.). *Clinical Guide to Principles of Fiber-Reinforced Composites in Dentistry*. Duxford: Woodhead Publishing.

Vallittu, P. & Matinlinna, J. 2017. Types of FRCs used in dentistry. Teoksessa Vallittu, P. & Özcan, M. (toim.). *Clinical Guide to Principles of Fiber-Reinforced Composites in Dentistry*. Duxford: Woodhead Publishing.

Vilka, H. 2015. Tutki ja kehitä. 4., uudistettu painos. Jyväskylä: PS-kustannus.

Tutkimuksessa käytetyt materiaalit ja laitteet

Materiaalit

Kauppanimi	Valmistaja	Eränumero	Käyttötarkoitus
Fibra Composite Bio-C, 95x20 mm	Degos Dental GmbH, Regenstauf, Saksa	1504302	Jyrsittävä kuitukomposiitti, verkkokutu, CAD/CAM
Gradia®PLUS OneBody LB-A	GC Dental Products Corp., Kasugai, Japani	1712041A	komposiitti
IPS e.max Press LT A2	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	W38634	litium-disilikaattivahvistettu keraami
Stick®NET	Stick Tech Ltd, Turku, Suomi/ GC Corp, Tokio, Japani	SNET201706121	lasikuituvahvike, silanoitu lasikuituverkko, kostutettu PMMA, kudottu
StickRESIN	GC Europe N.V., Leuven, Belgia	51703185	valokovetteinen resiini
GC Ceramic Primer II	GC Dental Products Corp., Kasugai, Japani		valokovetteinen primer sidostukseen, samalla myös silaani
IPS Press Vest Premium	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	WL1767	valumateriaali keraamille
IPS Press Vest Premium	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	WL1776	valumateriaalinneste keraamille
IPS Ivocolor Glaze Paste	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	V45568	lasite
IPS Ivocolor Mixing Liquid allround	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	W30760	sekoitusneste
AFFINIS Precious	Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Sveitsi		jäljennösaine, A-silikoni
Orb bite transpa Shore A70 transparent 216639	Orbis Dental Handlungsgesellschaft GmbH, Saksa	33006-1	silikoni kuituverkon kovetusmuottiin
Temp Silic Crystal Silicon	Micerium S.p.A., Italia	1401152	silikoni kuituverkon kovetusmuottiin
S-U-Esthetic Wax-O	Schuler-Dental, Saksa	211317	vaha
KBI-Wachs 510 00910 blau	Bredent GmbH, Senden, Saksa		vaha
ProBase Cold	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	W08074	kylmäakryyli, monomerneste
ProBase Cold pink	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	WT0142	kylmäakryyli, polymerijauhe

Lab Putty	Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Sveitsi		puttysilikoni
Lab Putty Activator	Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Sveitsi		aktivaattori, puttysilikoni
Renfert Cobra 110 µm Al₂O₃	Renfert GmbH, Hilzingen, Germany		hiekkapuhallushiekka
Renfert Cobra 50 µm Al₂O₃	Renfert GmbH, Hilzingen, Saksa		hiekkapuhallushiekka
ESPE Rocatec™ Plus	3M Deutschland GmbH, Neuss, Saksa	637968	erikoishiekkapuhallusma- teriaali
VITA Ceramics Etch	VITA Zahnfabrik H. Rau- ter GmbH & Co.KG, Bad Säckingen, Saksa	2019-07	etsausaine (fluorivety- happo, rikkihappo)
3M ESPE RelyX Ulti- mate 56892	3M Deutschland GmbH, Seefeld, Saksa	593628	Kiinnityssementti, kaksois- kovetteinen, polymeeripoh- jainen
DVA Very Special Sepa- rator	Dental Ventures of Amer- ica Inc., Corona, Yhdys- vallat	9719	pilarin eristysaine, kompo- siitti ja keraami
SureFit	HarvestDenta, Brea, Yh- dysvallat	A1302	tilantekolakka
Gipsversiegler 52000129	Bredent GmbH, Senden, Saksa		kipsinkovettaja tislattu vesi erotusaine, valusylinteri erikoiskova kipsi, Class IV

Laitteet

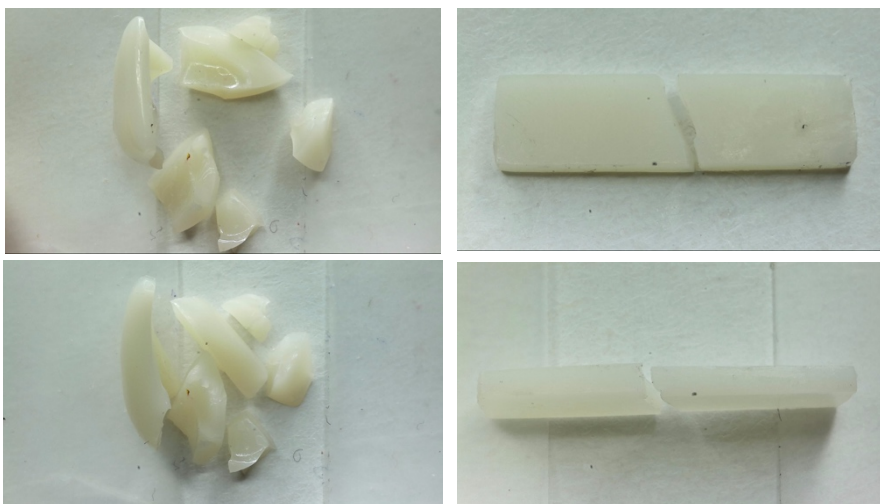
Kauppanimi	Valmistaja	Sarja/valmistus- numero	Käyttötarkoitus
GC Labologht DUO	GC Corporation, Tokio, Japani	00 238	valokovetusuuni
PremiumPlus CO02 Curing Light	PremiumPlus UK Ltd, Bournemouth, Yhdistynyt kuningaskunta	C02C030998V3	polymerisointilaitte, käsivalokovetin komposii- tille
3M ESPE Elipar S10	3M ESPE GmbH, See- feld, Saksa	123003329	polymerisointilaitte, käsivalokovetin sementille
Lloyd Instruments LR30K plus	Lloyd Instruments Ltd, Fareham, Yhdistynyt ku- ningaskunta	Type TG 18, SN 003	aineenkoetuskone

LC 2500N	Lloyd Instruments Ltd, Fareham, Yhdistynyt kuningaskunta; Ametek Inc., Berwyn, Yhdysvallat	2500N0057	voimakkeno
NEXYGENPlus	Lloyd Instruments Ltd, Bognor Regis, Yhdistynyt kuningaskunta		materiaalien testausohjel- misto
Struers Secotom-50	Struers ApS, Ballerup, Tanska		histologinen saha
Renfert Magma	Renfert GmbH, Hilzingen, Saksa	B1160412	lämmitysuni, polttouuni
Programat EP3010	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	4500002637	prässäysuuni, keraami
Programat P510	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	4010001905	polttouuni, keraami
Mettler Toledo MX5 Mi- crobalance	Mettler Toledo, Columbus. Yhdysvallat	1121241704	tarkkuusvaaka
VWR 103/35 DIN			upokas
Stillo Mocom MH943	Megahome Corp., Taiwan	476857	vedentislauslaite
SIC Paper #1200 Cat. 40400023	Struers A/S, Ballerup, Tanska	Is3	vesihiomapaperi
Zirkonzahn Scanner S600	Zirkonzahn GmbH, Gais, Italia	6576	CAD-skanneri
Zirkonzahn CAD/CAM M5	Zirkonzahn GmbH, Gais, Italia		CAM-laitteisto
Zirkonzahn Modellier	Zirkonzahn GmbH, Gais, Italia		CAD/CAM-ohjelmisto
K-Proof			digitaalinen työntömitta
FINO Stereo-Micros- cope 86001	FINO GmbH, Bad Bockler, Saksa	86001-2624	mikroskooppi 10x/20x
Futudent EduCam	Novocam Medical Inno- vations Oy, Helsinki, Suomi		digitaalinen kamera
Renfert Basic eco 29492025	Renfert GmbH, Hilzingen, Saksa	A1198702	hiekkapuhalluslaite
IBM SPSS Statistics 24	International Business Machines Corp., New York, Yhdysvallat		tilastointiohjelmisto
Renfert Twister Venturi	Renfert GmbH, Hilzingen, Saksa	C1151865	vakuumisekottaja

IPS silikonisylinteri	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein		valysylinteri
IPS e.max	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein		sylinterinmuodostaja
Renfert Vibrax	Renfert GmbH, Hilzingen, Saksa	B1166317	vibraattori
			painekattila
			höyrypesuri
			silikonityökalu

Murtuma-analyysi, tyypillisimmät murtumat ryhmittäin

Komposiitti-ryhmä



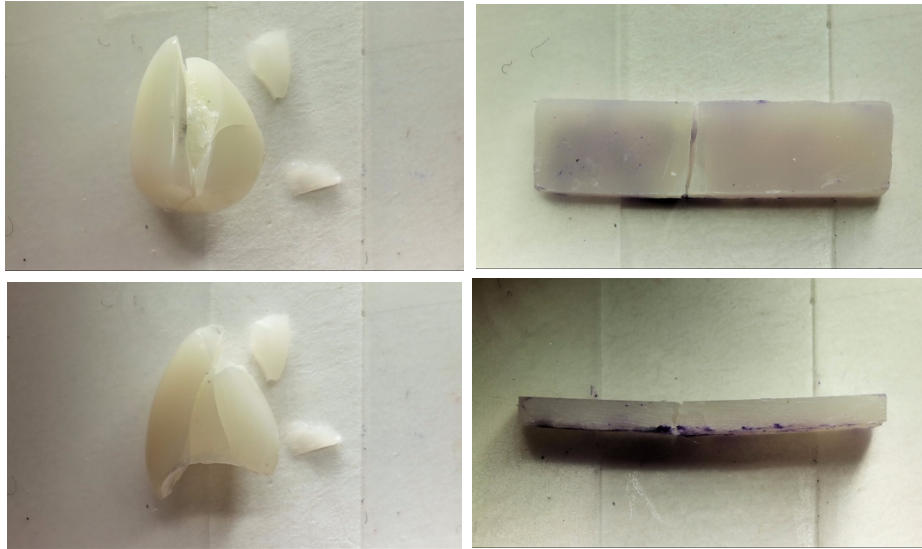
Kruunu (Murtumatyyppi 4) ja tikku (Murtumatyyppi 4) päältä ja sivulta.

Komposiitti ja kuiturunko 2-ryhmä



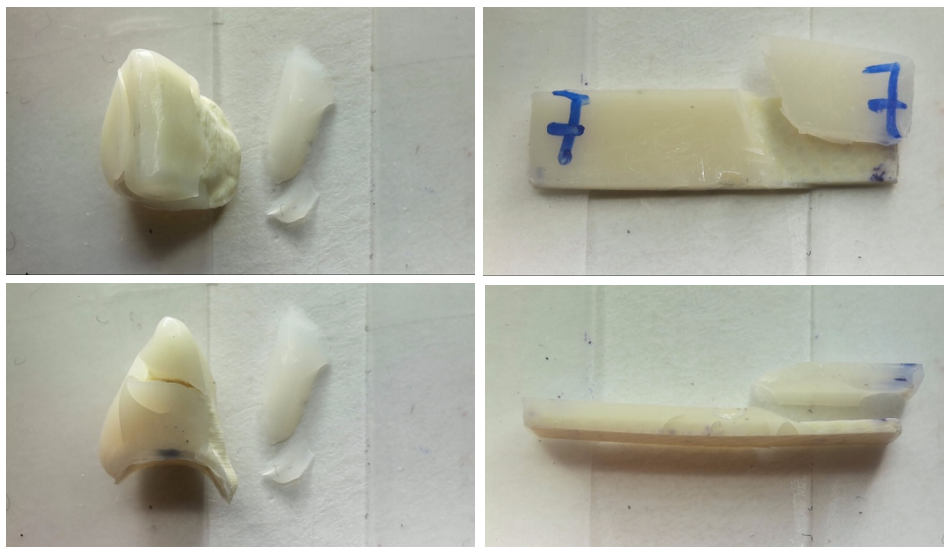
Kruunu (Murtumatyyppi 2) ja tikku (Murtumatyyppi 1) päältä ja sivulta.

Komposiitti ja kuiturunko 5-ryhmä



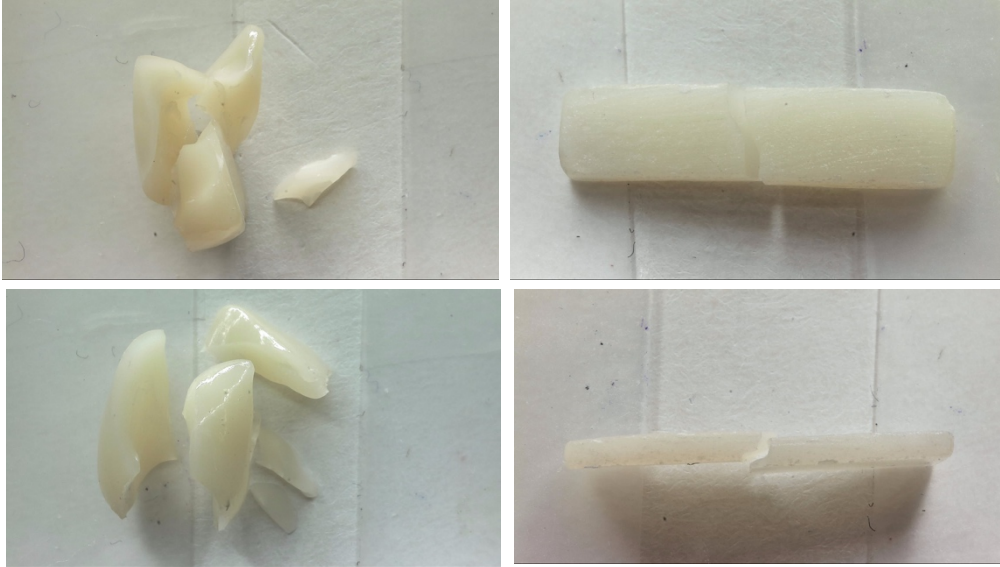
Kruunu (Murtumatyyppi 2) ja tikku (Murtumatyyppi 1) päältä ja sivulta.

Komposiitti ja jyrskitty kuiturunko-ryhmä



Kruunu (Murtumatyyppi 2) ja tikku (Murtumatyyppi 2) päältä ja sivulta.

Keraami-ryhmä



Kruunu (Murtumatyyppi 4) ja tikku (Murtumatyyppi 4) päältä ja sivulta.