

Ada Andersson

Purentakiskojen korjaaminen ja siihen sopivat menetelmät

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Kevätlukukausi 2025

Ada Andersson

Purentakiskojen korjaaminen ja siihen sopivat menetelmät

Turun yliopisto
Lääketieteellinen tiedekunta
Hammaslääketieteen laitos
Kevätlukukausi 2025

Purentafysiologian ja biomateriaalitieteiden oppiaine
Vastuhenkilö: HLT, EHL, Yliopistonlehtori Jasmina Bijelic-Donova
Asiantuntijatarkastaja: Professori Timo Närhi
Laajuus: 20 opintopistettä

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

ANDERSSON, ADA: Purentakiskojen korjaaminen ja siihen sopivat menetelmät

Syventävien opintojen kirjallinen työ
Purentafysiologian oppiaine
Biomateriaalitieteiden oppiaine
Kevätlukukausi 2025

Purentakiskon korjaaminen on yleinen toimenpide, jota on tutkittu melko vähän. Perinteinen purentakiskojen korjaamiseen tarkoitettu korjausaine (Triad geeli) poistui markkinoilta vuonna 2023 valmistajan päätöksestä eikä tilalle ole tullut toista korjausmateriaalia. Tämän syventävän työn tavoitteena on testata vaihtoehdoisen valokovetteisen korjausmateriaalin (Luka Clear) soveltuvuutta purentakiskojen korjausmateriaaliksi. Jotta korjausmateriaalin soveltuvuudesta saataisiin monipuolinen käsitys, sitä testataan kolmella eri korjausmenetelmällä ja kolmen erityyppisen kiskon kanssa: perinteinen (kylmäakryyli), jyrstetty ja 3D-tulostettu.

Tutkielma sisältää suppean kirjallisuuskatsauksen, jossa käsitellään eri purentakiskomateriaalit, korjausmateriaali ja sidostus. Tutkimukseen valittiin yksi korjausaine ja kolme purentakiskomateriaalia ja valmistettiin 12 näytettä kaikista materiaaliyhdistelmistä. Substraatit eli kiskomateriaalit käsiteltiin ensin hiomalla hiekkapaperilla (#180) ja huuhtelun sekä kuivauksen jälkeen sidostettiin valituilla sidostusmenetelmillä. Sidostusmenetelmiä oli kolme: 1. valmistajan ohje, 2. yhden pullon sidosaine (Scotchbond Universal) ja 3. metylmetakrylaati-neste ja sidosaine yhdistelmä (MMA-neste ja Luka Fix). Sen jälkeen käsiteltyyn kiskomateriaalipintaan kiinnitettiin testausmateriaaliksi valikoitu aine (Luka Clear). Kolmen kuukauden vesisäilytyksen jälkeen näytteet tutkittiin leikkauslujuusmittauksella.

Tutkimustulokset osoittivat, että tutkimusmateriaali (valokovetteinen korjausmateriaali Luca Clear) sidostui parhaiten 3D-tulostettuun kiskomateriaaliin, jonka pinta oli käsiteltyinä Scotchbond Universal sidosaineella. Se oli myös ainoa kiskomateriaali, jossa esiintyi kohesiivisiä murtumia, jossa murtumalinja oli kiskomateriaalissa eikä sidoksessa. Korjausmenetelmä Scotchbond Universal sidosaineella oli kaikissa testiryhmissä kestävämpi verrattuna muihin. Luka Cleariä voisi harkita potentiaalisena korjausmateriaalina purentakiskoille, jos sidostusmenetelmä valitaan sopivaksi.

Asiasanat: purentakisko, korjausmateriaali, purentakiskon korjaus, Luka Clear, sidosljuuustesti.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO

2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

3 PARENTAKISKOMATERIAALIT

3.1 Perinteisesti valmistettu parentakisko

3.2 Jyrsitty parentakisko

3.3 3D-tulostettu parentakisko

4 KISKON KORJAAMINEN

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

5.1 Näytteiden valmistus

5.2 Näytteiden testaus

5.3 Tilastolliset menetelmät

6 TULOKSET

7 POHDINTA

7.1 Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet

7.1.1 Laboratorio-olosuhteissa tehtävän tutkimuksen virhelähteet

7.1.2 Tutkimuksen heikkoudet kliinisen käytön kannalta

7.1.3 Tutkimuksen vahvuudet

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

LÄHTEET

1 JOHDANTO

Purentakisko on yleinen hoitomenetelmä purentaelimistön toimintahäiriöiden (TMD) oireisiin. Lisäksi purentakiskoja voidaan käyttää hampaiden tai proteettisten rakenteiden suojaamiseen kulumiselta ja murtumilta, sekä myös pehmytkudosten suojaamiseksi. Purentakiskoja voidaan käyttää, vaikka diagnoosi olisi epävarma. Oikein käytettynä niiden ei ole havaittu aiheuttavan haittoja. (Therapia Odontologica 2023.)

Purentakiskoja ja purentakiskomateriaaleja on monia erilaisia. Purentakiskot kuluvat käytössä ja vaativat korjausta. Hampaistossa tapahtuvat muutokset aiheuttavat myös usein korjaustarpeen potilaan käyttämään kiskoon. Aikaisemmin purentakiskojen korjaamiseen käytetty valokovetteinen materiaali Triad Gel (Dentsply) poistui markkinoilta valmistajan päätöksestä, eikä tällä hetkellä markkinoilla ole toista, purentakiskoihin tarkoitettua valokovetteista korjausmateriaalia. Tämän seurauksena hammaslääkärien mahdollisuudet korjata purentakiskoja vastaanotolla ovat vähäiset.

Sopivan materiaalin puuttumisen vuoksi vastaanotolla tapahtuva purentakiskon korjaus ei ole mahdollista, vaan tilanteen mukaan yleensä tehdään joko kokonaan uusi kisko tai vanha kisko lähetetään laboratorioon muokattavaksi.

Hammaslääkäriin ja potilaan kannalta olisi edullista saada kisko korjattua vastaanottokäynnillä ilman, että sitä tarvitsisi lähettää laboratorioon korjattavaksi. Potilaan kannalta vanhan kiskon korjaaminen olisi taloudellisestikin mieluisampi vaihtoehto. Ympäristönkin kannalta olisi kestävämpää saada vanha kisko korjattua laadukkaasti ja näin välttyä uuden kiskon teolta.

Tässä opinnäytetyössä testataan laboratorio-olosuhteissa valokovetteisen korjausmateriaalin (Luka Clear (Lukadent, Saksa) soveltuvuutta purentakiskojen korjausmateriaaliksi. Jotta korjausmateriaalin soveltuvuudesta saataisiin monipuolinen käsitys, korjausmateriaalia testataan kolmen eri kiskomateriaalin kanssa: perinteinen (kylmäakryyli), jyrsky ja 3D-tulostettu.

2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää valokovetteisen korjausmateriaalin (Luka Clear) käyttömahdollisuuksia purentakiskojen korjaamisessa. Tavoitteena oli lisäksi evaluoida kolmen eri korjausmenetelmän toimivuutta eri kiskomateriaalien kanssa ja selvittää millä tavalla korjausmateriaali saadaan sidostettua purentakiskon pintaan mahdollisimman kestäväällä menetelmällä. Korjausmateriaalin sidostuvuus testattiin laboratorio-olosuhteissa sidoslujuuksitestillä.

Testattavaksi materiaaliksi valittiin Luka Clear, koska se on läpinäkyvä, valokovetteinen ja muokattava. Korjausmateriaalin ominaisuuksia käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.

Nollahypoteesi on, että korjausmateriaali toimii yhtä hyvin kaikissa materiaaliryhmissä riippumatta siitä, miten kisko on valmistettu (perinteisesti, jyrsimällä tai 3D-tulostamalla). Toinen nollahypoteesi on, että kolmen eri sidostusmenetelmän välillä ei ole eroa.

3 PARENTAKISKOMATERIAALIT

3.1 Perinteisesti valmistettu parentakisko

Perinteiset kiskot valmistetaan kyvetointitekniikalla kylmä- tai keittoakryylista ja niitä usein kutsutaan akryylikiskoiksi. Perinteisesti valmistetut kiskot (kylmäakryylikiskot ja keittoakryylikiskot) ovat olleet pitkään käytössä, mutta nyt rinnalle on tullut myös muunlaisia valmistusmenetelmiä (Raszewski ym. 2021). Digitaalisten menetelmien kehityksen myötä jyrситy ja 3D-tulostetut kiskot ovat yleistymässä.

Perinteisellä kyvetointitekniikalla valmistetut kiskot eroavat toisistaan siinä, että keittoakryylikiskot keitetään vedessä, jonka lämpötila nostetaan asteittain ja kylmäakryylikiskot puolestaan keitetään kiehuvässä vedessä. Keittoakryylin kyvetointiprosessi aloitetaan siten, että huoneenlämpöistä vettä esilämmitetään 70 asteeseen, jossa kyvetti pidetään noin 5–7 tunnin ajan. Tämän jälkeen lämpötila nostetaan 100 asteeseen (ns. loppulämpötilaan), jossa varsinainen keittoaika kestää 2–3 tuntia. Tällä tavalla akryyli kovettuu kokonaisuudessaan ja homogeenisesti, eikä akryylin sisälle muodostu huokoisuuksia. (Lung ja Darvell 2005). Kylmäakryylista valmistettavia kiskoja keitetään tavallisesti kiehuvässä vedessä. Kylmäakryyliä voidaan muotoilla myös suoraan erikoiskovakipsistä valetun kipsimallin päälle ja kovettaa painekattilassa. Akryyliproteesien korjaukseen ja pohjaukseen käytetään myös kylmäakryyliä, jonka polymerointi tapahtuu painekattilassa noin 40–60 asteisessä vedessä (Lammi ja Lehtinen 2023). Painekattilamenetelmä vähentää myös huokoisuutta ja jäännösmonomerien määrää. (Konttinen 1992, Vallittu 1996).

Tähän työhön valittiin perinteisen kiskon materiaaliksi kylmäakryyli Palapress (Kulzer, Hanau, Saksa), koska kylmäakryylimenetelmä on yleinen parentakiskojen valmistuksessa. Sen etu on myös nopea valmistaminen verrattuna keittoakryyliin. Kuten edellä mainittiin, kylmäakryylin kovettumista

yleensä tehostetaan painekattilassa, jonka olosuhteet ovat 55 °C ja 2 bar, ja näin tehtiin myös tässä työssä.

Käytännössä perinteinen purentakisko valmistetaan alginaattijäljennösten perustella erikoiskovakipsistä valettujen kipsimallien päällä. Hammasteknikko valmistaa ensin vaha- tai silikoniaihion, joka vaihdetaan akryyliin. Tämä on monivaiheinen prosessi, joka sisältää seuraavat vaiheet: kyvetointi, akrylointi, keittäminen ja viimeistely (Harberg ja Lyly 2019, QAdental, Vodcast-sarja, 2021). Menetelmä poikkeaa merkittävästi digitaalisesti valmistettavien kiskojen teosta.

Perinteiset kiskomateriaalit pärjäävät tutkimuksissa usein hyvin ja niiden käytöstä on myös pisin kliininen näyttö. Perinteisillä purentakiskojen valmistusmenetmilläkin on kuitenkin omat heikkoutensa, minkä vuoksi tutkitaan uusia menetelmiä. Perinteiset, jyrityt ja 3D-tulostetut kiskomateriaalit eroavat toisistaan mekaanisilta ominaisuuksiltaan (Perea-Lowery ym. 2021).

3.2 Jyritytty purentakisko

Jyrityttyjä ja 3D-tulostettuja purentakiskoja valmistetaan vain digitaalisesti. Hoitopolku voi olla kokonaan digitaalinen, jolloin hammaslääkäri ottaa optisen jäljennöksen skannaamalla hampaiston intraoraalisuuskannerilla, tai osittain digitaalinen, jolloin hampaisto jäljennetään perinteisesti jäljennösaineella. Optinen jäljentäminen on vaivattomampi ja eduksi esimerkiksi potilaille, joilla on herkkä yökkäysrefleksi, jonka perinteisten jäljennösten ottaminen voi aiheuttaa. Kokonaan digitaalinen hoitopolku jatkuu hammaslaboratoriossa siten, että hammasteknikko ensin siirtää skannatun tiedoston (kolmeulotteinen tiedosto nimeltään STL) suunnitteluohjelmaan, jossa sitten myös suunnittelee purentakiskon. Mikäli hammasteknikko on saanut vastaanotolta laboratorioon perinteiset jäljennöslusikalla otetut jäljennökset, hänen täytyy ensin valaa kipsimallit erikoiskovakipsistä ja sitten skannata ne luodakseen ns. digitaalisen tiedoston. Tämän jälkeen suunnittelu jatkuu suunnitteluohjelmassa.

Digitaalista valmistusmenetelmää sanotaan CAD/CAM-tekniikaksi. CAD/CAM tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua (CAD) ja tietokoneavusteista valmistamista (CAM). Tekniikkaa alettiin tutkimaan ja kehittämään 1980-luvulla (Miyazaki ym. 2009). CAD/CAM-menetelmien kehitys on tullut tarpeesta muuttaa työläitä perinteisiä työskentelytapoja, vähentää tarvittavaa työvoimaa, lisätä kustannustehokkuutta ja vähentää laboratoriokuluja (Miyazaki ym. 2009).

Digitaaliset (CAD/CAM) valmistusmenetelmät voidaan jakaa ainetta poistaviin ja ainetta lisääviin menetelmiin. Jyritys on materiaalia poistavaa, kun taas 3D-tulostus on materiaalia lisäävää

menetelmä. Jyrsimällä valmistetuissa kiskoissa periaate on se, että kone jyrsii materiaaliblokista ylimääräisen materiaalin pois, jolloin saadaan suunnitelman mukainen lopputulos. Koska jyrsiminen on materiaalia poistavaa, materiaalihukka on merkittävä. Materiaalihukka onkin yksi jyrsimällä valmistettavien proteettisten rakenteiden heikkous. Jyrsimisen etuina ovat kustannustehokkuus ja työn korkea laatu. Jyrsimiseen tarvittavat blokit ovat massatuotannon vuoksi edullisia. Lisäksi jälki on tasaista. Niissä on vain harvoin epämuodostumia tai materiaalivirheitä, kun taas perinteisin menetelmin valmistetuissa on usein sisäistä huokoisuutta (Miyazaki ym. 2009). Perinteisiä ja jyrsittyjä akryyleja voidaan pitää materiaaliominaisuuksiltaan vastaavina (Berli ym. 2020). Tähän työhön valittiin jyrsityksi materiaaliksi kirkas polymetyylimetakrylaatti eli PMMA-blokki (Polident, Voleja Draga, Slovenia).

3.3 3D-tulostettu purentakisko

3D-tulostettujen kiskojen valmistamiseen tarvitaan myös CAD/CAM tekniikkaa niin kuin jyrsittyjenkin kiskojen valmistukseen. Merkittävänä erona on materiaalihukka, joka 3D-tulostetuissa kiskoissa on huomattavasti pienempi kuin jyrsityissä. Päinvastoin kuin jyrsiminen, 3D-tulostaminen on materiaalia lisäävä menetelmä. Hammastekniikassa eniten käytetty tulostustekniikka on allasvalopolymerisaatiotekniikka. Ero perinteisiin kiskoihin on, että 3D-tulostetut ovat nopeampia ja vaivattomampia valmistaa. Niin kuin jyrsittyjenkin kiskojen valmistuksessa, hammasteknikoilta vapautuu aikaa muihin tehtäviin, kun tietokone tekee suuren osan työstä, mikä vaikuttaa osaltaan menetelmän kustannustehokkuuteen.

3D-tulostetut kiskot eivät kuitenkaan vielä ole kehittyneet perinteisten kiskojen tasolle. 3D-tulostettavilla materiaaleilla ei ole yhtä hyviä mekaanisia ominaisuuksia kuin jyrsityillä ja perinteisillä kiskomateriaaleilla (Prpic ym. 2023). 3D-tulostettavilla materiaaleilla on matalammat taiputuslujuus- ja kovuusarvot ja suurempi vedenimemistäipumus verrattuna perinteisesti valmistettuihin ja jyrsittyihin kiskoihin (Berli ym. 2020).

3D-tulostettavia materiaaleja on markkinoilla useita. Purentakiskojen kuluminen ja pintakovuusarvot riippuvat enemmän materiaalin koostumuksesta kuin valmistustekniikasta (Gibreel ym. 2022). Tähän työhön valittiin tutkittavaksi materiaaliksi Keyprintin KeySplint Hard Clear (Edinburgh, Skotlanti).

4 KISKON KORJAAMINEN

Purentakiskojen korjaamista on toistaiseksi tutkittu melko vähän. Purentakiskojen ja proteesien valmistukseen käytetään samanlaista kestonuovia, usein polymetyylimetakrylaattia (PMMA) (Cilingir ym. 2013), joten korjaamisen periaatteet ovat samat. Proteesien korjaamisesta saatua tietoa voidaan siis soveltaa myös purentakiskojen korjaamisessa.

Purentakiskojen käyttöiästä ei ole yksiselitteistä tietoa. Tiedetään, että käyttöikä riippuu yksilöllisistä tekijöistä (Wörner ym. 2024). Potilaan pitkäkestoinen stressi tai ahdistuneisuus, yöbruksismi ja kovat purentavoimat voivat lisätä kiskon kulumista ja sitä kautta lyhentää kiskon käyttöikää. Purentakiskoja käytetään paljon juuri potilailla, joilla esiintyy bruksismia, mikä lisää kiskon kulumista. Kulunut kisko ohenee ja menee rikki helpommin. Maksimaaliset purentavoimat narskuttelevilla potilailla voivat olla jopa 450–650 N (Rosar ym. 2017). Sen vuoksi purentakiskomateriaalin kulumiskestävyydellä ja pintakovuudella on kliinistä merkitystä (Gibreel ym. 2022).

Purentakisko voi vaurioitua samoista syistä kuin irrotettavat akryyliproteesit eli materiaalin väsymisestä, suun olosuhteista ja veden imeytymisestä aiheutuvasta materiaalin heikkenemisestä (Cilingir ym. 2013). Kun purentakisko (tai hammasproteesi) rikkoutuu, se pitää korjata laadukkaasti. Hyvä korjaus on kustannustehokas, yksinkertainen ja nopeasti tehtävissä. Lisäksi sen tulisi olla myös esteettisesti miellyttävä eli vastata alkuperäistä väriä eikä se saa aiheuttaa vääristymiä kiskorakenteeseen (Seó ym. 2007).

Hammasproteesien korjaamiseen käytettyjä materiaaleja ovat kemiallisesti kovettuva PMMA, lämpökovettuva PMMA ja nykyään myös valokovetteinen materiaali (Ajmal ym. 2023). Valokovetteisilla materiaaleilla pohjatuilla irrotettavilla akryyliproteeseilla on raportoitu huonompia ominaisuuksia verrattuna autopolymeroitavilla materiaaleilla pohjattuihin akryyliproteeseihin (Andreopoulos ym. 1991, Dar-Odeh ym. 1997, Jagger ym. 2003). Valokovetteisen materiaalin heikomman lujuuden on arveltu johtuvan materiaalin sisäisestä huokoisuudesta, joka on syynä käytön aikana muodostuviin mikrohalkeamiin (Machado ym. 2007). Lisäksi huokokset, eli ilman täyttämät tyhjät tilat, saavat polymeroitumisen aikana aikaan happi-inhibitiokerroksen, jossa polymeroitumisen on raportoitu olevan epätäydellistä, minkä ajatellaan myös heikentävän materiaalin taivutuslujuutta (O'Brien 2002).

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

Korjausmateriaaliksi tähän tutkimukseen valittiin valokovetteinen kirkas geeli Luka Clear. Valintaperusteena oli Luka Clearin ominaisuudet, kuten läpinäkyvyys, helppokäyttöisyys, valokovetteisuus ja edullisuus. Luka Clear on myös heti käyttövalmis ja sitä voi annostella suoraan geelituubista.



Kuva 1. Valokovetteinen kirkas korjausmateriaali Luka Clear.
(<https://indenco.com/products/lukaclear?variant=39675003338846>).

Läpinäkyvyys on etu, koska purentakiskot ovat myös läpinäkyviä, joten korjaamisen tulos on huomaamaton ja esteettinen. Valokovetteinen materiaali taas on hammaslääkärien suosima, koska se lisää työskentelymukavuutta, nopeuttaa työskentelyä ja parantaa toimenpiteen onnistumismahdollisuutta. Luka Clear voidaan kovettaa kaikilla yleisesti käytettävillä valokovettimilla (320–500 nm) (MedicalExpo, Lukadent). Lisäksi, Luka Clear vastaa ominaisuuksiltaan aikaisemmin markkinoilla ollutta korjausmateriaalia (Triad gel, Dentsply), mikä madaltaa kynnystä ottaa se käyttöön.

5.1 Näytteiden valmistus

Leikkauslujuuden määrittämiseksi valmistettiin jokaisesta tutkittavasta ryhmästä kaksitoista näytettä (taulukko 2). Ensimmäisenä valmistettiin substraatit eli kiskomateriaalipohjat. Perinteinen kiskomateriaali (kylmäakryyli) tehtiin sekoittamalla Palapress nestettä ja jauhetta. Sekoitussuhde oli 10 g jauhetta, 7 ml nestettä ja sekoitusaika oli 15 sekuntia, kunnes seos oli homogeeninen. Sen jälkeen sekoitettu materiaali kaadettiin muotteihin, joiden halkaisija oli 2 cm ja syvyys 1,5 cm. Palapress blokit (n=24) laitettiin vielä painekattilaan 20 minuutiksi (55°C, 2 bar.). Jyrsittynä kiskomateriaalina oli Polidentin kirkas PMMA-blokki. Jyrsitystä kiskomateriaalista leikattiin histologisella sahalla kaksikymmentäneljä noin 20 x 8 x 4 mm kokoisia levyjä. 3D-tulostettuna kiskomateriaalina oli

Keyprintin KeySplint Hard Clear, josta leikattiin myös kaksikymmentäneljä noin 20 x 8 x 4 mm kokoisia levyjä. Seuraavaksi substraatit (leikatut kiskolevyt) kiinnitettiin kiinnitysalustoihin eli ympyrämuottien pohjalle, joiden halkaisija oli 2,5 cm ja syvyys 1,5 cm. Kiinnityksineen toimi kylmäakryyli. Sen kovettumisen jälkeen aloitettiin testattavien näytteiden valmistus. Kiskomateriaalien ominaisuudet vaikuttavat sidostukseen (taulukko 2).

Ensimmäisessä ryhmässä testikappaleet käsiteltiin valmistajan ohjeiden mukaan: karhennettu (# 180 paperi) kiskomateriaali pintakäsiteltiin Luka Fix sidosaineella, joka valokovetettiin (60 s). Sen jälkeen korjausmateriaali Luka Clear laitettiin käsitellylle pinnalle sylinterimäisen muotin avulla (halkaisija 3.6 mm, korkeus 3 mm) ja valokovetettiin (60 s / puoli). Tämä korjausmenetelmä oli tässä tutkimuksessa kontrolliryhmä ja se osoittautui tehottomaksi. Korjausmateriaali ei sidostunut tällä menetelmällä ollenkaan kiskomateriaaliin, minkä vuoksi totesimme, että Luka Clear ei sovellu puurentakiskojen korjaamiseen, jos sidostaminen tehdään valmistajan ohjeiden mukaan. Ongelma pyrittiin ratkaisemaan testaamalla kahta vaihtoehtoista sidostusmenetelmää.

Toista korjausmenetelmää varten substraatit karhennettiin (# 180 paperi) ja kuivauksen jälkeen käsiteltiin ensin metylmetakrylaattinesteellä (MMA-neste) (Palapress neste) 15 s., jonka jälkeen pinnalle levitettiin Luka Fix sidosainetta ja kevyen puhalluksen jälkeen se valokovetettiin 60 s. Sen jälkeen pinnalle annosteltiin sylinterimäisen muotin avulla (halkaisija 3.6 mm) Luka Clear materiaalia ja valokovetettiin 60 s / puoli.

Kolmatta korjausmenetelmää varten substraatit ensin karhennettiin (#180 paperi) ja kuivauksen jälkeen käsiteltiin Scotchbond Universal sidosaineella, joka kevyesti puhallettiin ja valokovetettiin 20 sekuntia. Sen jälkeen pinnalle annosteltiin sylinterimäisen muotin avulla (halkaisija 3.6 mm) korjausmateriaalia ja valokovetettiin 60 s / puoli.

Näytteiden valmistuksen standardisoimiseksi, korjausmateriaali Luka Clear geeli laitettiin ensin ruiskuun, jonka kärkeen kiinnitettiin musta neulankärki. Näin ainetta pystyttiin annostelevaan tarkasti haluttuun paikkaan ja välttyttiin ilmakuplien muodostumiselta. Näytteiden valokovettamiseen käytettiin Espe Elipar S10 valokovetinta (3M Espe, St. Paul, MN, USA).

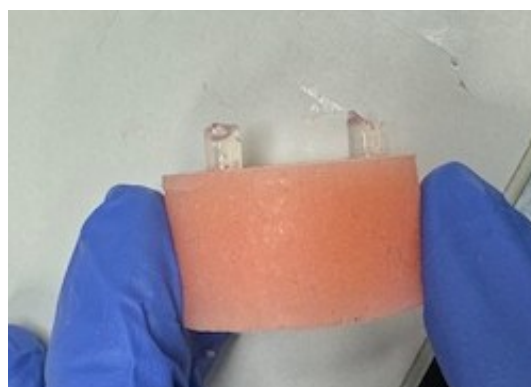
| Taulukko 1. Testausryhmät. | | | |
|----------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|
| Kiskomateriaali | Näytteiden lukumäärä (n) | Sidostusmenetelmä | Huomautus |
| Kylmäakryyli | 12 | Luka Fix | Ei sidostunut |
| Kylmäakryyli | 12 | MMA + Luka Fix* | |
| Kylmäakryyli | 12 | Scotchbond Universal | |
| Jyrsitty | 12 | Luka Fix | Ei sidostunut |
| Jyrsitty | 12 | MMA + Luka Fix* | |
| Jyrsitty | 12 | Scotchbond Universal | |
| 3D-tulostettu | 12 | Luka Fix | Ei sidostunut |
| 3D-tulostettu | 12 | MMA + Luka Fix* | |
| 3D-tulostettu | 12 | Scotchbond Universal | |

MMA: methylmethacrylaati; *MMA + Luka Fix = pinta käsitelty MMA-nesteellä ja sidosaineena käytetty Luka Fix -ainetta.

| Taulukko 2. Kiskomateriaalien ominaisuudet. | | | |
|---|-----------|---|-------------------------------------|
| Materiaali | LOT NRO | Koostumus | Ristiinsilloituksen aste |
| PMMA neste | N010141 | methyl methacrylate 1,4-butandioldimethacrylate mequinol | Kohtalaisesti ristiinsilloittumista |
| PMMA jauhe | M010068 | dibenzoyl peroxide methyl methacrylate | |
| Keysplint hard clear | LL2794 | 2-phenoxyethyl methacrylate Isobornyl methacrylate 2-hydroksietyylimetakrylaatti TPO | Vähiten ristiinsilloittumista |
| Polident | Z10954652 | polymethylmethacrylate | Eniten ristiinsilloittumista |



Kuva 2. Korjausaine, käytettävät sidosaineet ja välineet.



Kuva 3. Valmis testinäyte.

Kaikki näytteet säilytettiin vedessä, lämpökaapissa 37 asteessa, kolmen kuukauden ajan ennen testausta.

5.2 Näytteiden testaus

Sidoslujuutta korjausaineen ja purentakiskomateriaalin välillä mitattiin leikkauslujuustestillä (LR 30kPlus, Lloyd, Lloyd Instruments™ Ametek® Inc, Largo, Florida, USA), jossa asetuksina olivat esikuormitusvoima 3 N, kuormitusvoiman nopeus alussa 10 mm/min ja mittauksen aikana 1 mm/min, näytteen halkaisija 3.6 mm ja testausjigin voima 2500N (Mittakenno, Load Cell 2500N, Ametek Inc., Largo, Florida). Testauskärki asetettiin suorassa kulmassa (90 asteen kulmassa) suhteessa näytteen pintaan ja se työnsi näytettä ylhäältä alaspäin (Kuusikoski 2020 s.10, Kuva 11).

Testauksen jälkeen murtumatyyppi arvioitiin silmämääräisesti ja valomikroskoopilla joko kohesiiviseksi tai adhesiiviseksi. Murtuma tulkittiin adhesiiviseksi, jos kiskomateriaalin ja korjausmateriaalin välinen sidos on heikko, jolloin kiskomateriaalin pinta jäi tasaiseksi. Kohesiivisessä murtumassa kiskomateriaalin pinta jäi kuopaksi, koska murtumalinja kulki itse kiskomateriaalissa.

5.3 Tilastomenetelmät

Tulosten tilastollinen analysointi tehtiin SPSS-tilasto ohjelmalla. Näytteiden välinen tilastollinen vertailu tehtiin varianssianalysillä (ANOVA) ja parittaisvertailu Tukeyn post hoc testillä. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p=0.05$. Riippumattomat muuttujat olivat kiskomateriaali ja käsittely. Riippuva muuttuja on sidoslujuus.

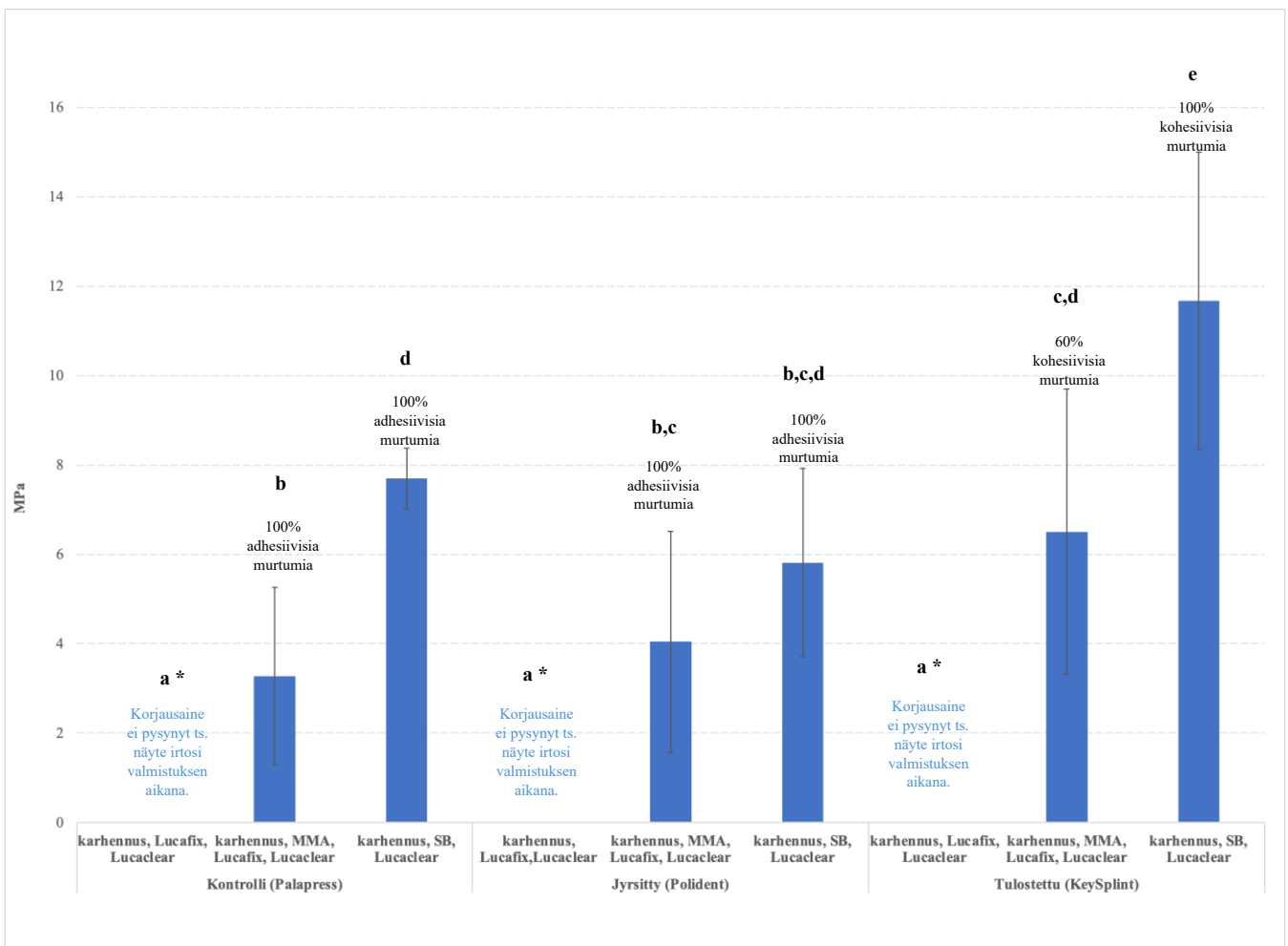
6 TULOKSET

Parhaimmat tulokset saavutettiin 3D-tulostetuilla substraateilla (Kuva 4). Jyrsityt ja kylmäakryylisubstraatit olivat keskenään tilastollisesti samanlaisia ($p>0.05$). Tulostettu substraatti poikkesi näistä merkitsevästi ($p<0.05$). Tulostettavaa purentakiskomateriaalia voidaan käsitellä yhtä luotettavasti sekä Scotchbond Universal sidosaineella että MMA ja Luka Fix -menetelmällä. Mainittujen käsittelymenetelmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, kun korjattavana on tulostettu kisko ($p>0.05$). Sen sijaan kylmäakryyli ja jyrsittävä kiskomateriaali tulee käsitellä Scotchbond Universal sidosaineella luotettavan sidoksen varmistamiseksi ($p<0.05$).

Parhaat sidoslujuusarvot saatiin Scotchbond Universal sidostuksella kaikissa kiskoryhmissä. Eri käsittelymenetelmät olivat tilastollisesti erilaisia ($p<0.05$). Pelkällä Luka Fix sidoksella ei saatu sidosta ollenkaan aikaan, mutta MMA-käsittelyn jälkeen Luka Fix -aineella saatiin korjausmateriaali

sidostettua kaikkiin kiskomateriaaleihin. Sidos ei kuitenkaan ollut yhtä vahva kuin Scotchbond Universal sidosaineella. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että MMA-käsittely parantaa Luka Fixin tarttumista kiskomateriaaleihin.

Tutkimuksessa havaittiin sekä kohesiivisiä että adhesiivisiä murtumia. Jyrskyissä ja kylmäakryyli substraateissa kaikki murtumat (100 %) olivat adhesiivisiä (kuvat 4, 5A, 6A, 6B). 3D-tulostetuissa substraateissa esiintyi myös kohesiivisiä murtumia. Scotchbond Universal sidosaineella kaikki murtumat (100 %) olivat kohesiivisiä (kuva 4, 5B, 7A), kun taas MMA ja Luka Fix -menetelmällä kohesiivisiä murtumia esiintyi 60 % (kuva 4 ja 7B).

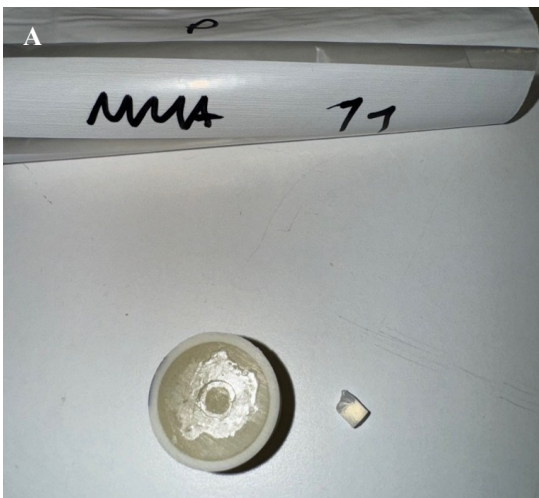


Sama kirjain sarakkeen yläpuolella tarkoittaa ei merkittävää tilastollista eroa ryhmien välillä. Tähdellä (*) merkityissä ryhmissä korjausaine ei pysynyt *ts.* näyte irtosi valmistuksen aikana.

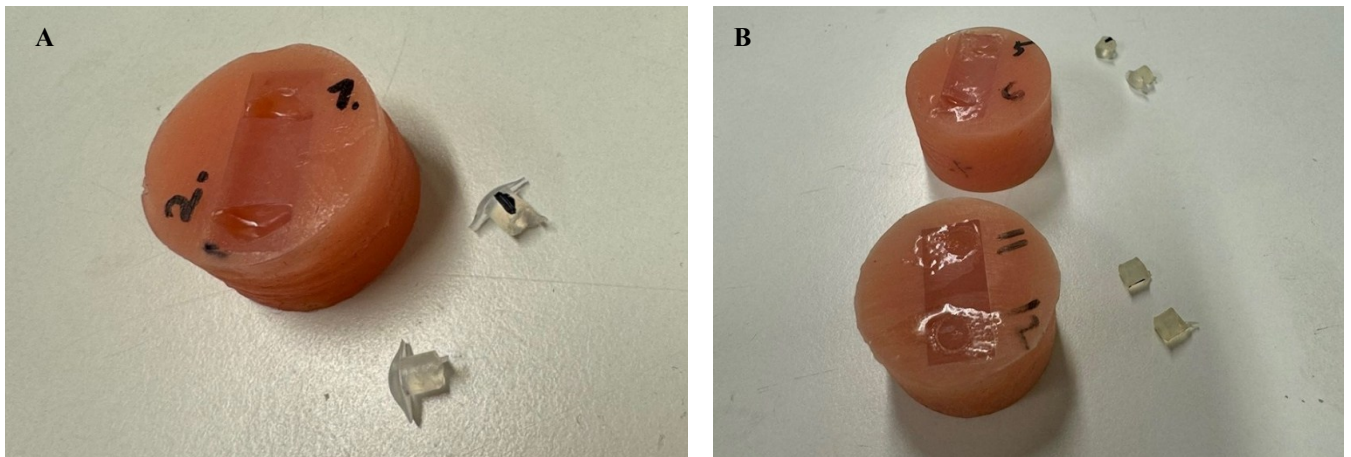
Kuva 4. Diagrammi keskeisistä tuloksista kiskoryhmittäin.



Kuva 5. A. Mikroskooppikuva adhesiivisesta murtumasta, jossa nähdään tasainen pinta. B. Mikroskooppikuva kohesiivisesta murtumasta, jossa pinta on kuopalla. 3D-tulostettu kiskoryhmä oli ainoa, jossa esiintyi kohesiivisiä murtumia.



Kuva 6. Perinteisellä (A) ja jyrksityllä (B) kiskomateriaalilla kaikki murtumat olivat adhesiivisia riippumatta sidostustavasta.



Kuva 7. A. 3D-tulostetuilla kiskoilla kaikki murtumat olivat kohesiivisiä, jos sidostus tehtiin Scotchbond Universal sidosaineella. B. 3D-tulostetuilla kiskoilla esiintyi sekä kohesiivisiä (taaempi testinäyte), että adhesiivisiä murtumia (edessä oleva), jos pinta käsiteltiin MMA-nesteellä ja sidostus tehtiin Luka Fix -aineella.

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää valokovetteisen korjausmateriaalin soveltuvuutta kolmen erityyppisen purentakiskomateriaalin korjausmateriaaliksi. Korjausaineen valintakriteereinä olivat tietyt ominaisuudet: sen piti olla helposti käsiteltävää, hajusteeton, mauton, valokovetettava ja läpinäkyvä.

Korjausmateriaalia testattiin perinteisen (kylmäakryyli), jyrsityn ja 3D-tulostetun kiskomateriaalin kanssa. Tarkoituksena oli lisäksi selvittää millä tavalla korjausmateriaali saadaan sidostettua kiskomateriaalin pintaan mahdollisimman kestäväällä tavalla. Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota myös kiskon ja korjausaineen väliseen murtumispintaan.

Tässä tutkimuksessa testausmenetelmänä käytettiin leikkauslujuuden mittaamista, jota on kritisoitu siitä, että testauksen aikana näytteeseen pääsee muodostumaan sekä leikkausjännitystä että taivutusjännitystä (Scherrer ym. 2010). Tämän vuoksi voidaan olettaa, että tulokset saattaisivat poiketa kliinisessä tilanteessa, mutta sidoslujuudesti on hyvä antamaan suuntaa korjausmateriaalin sidostettavuudesta kiskon pintaan.

Molemmat nollahypoteesit hylättiin. Eri kiskomateriaalien (perinteinen, jyrsitty, 3D-tulostettu) välillä oli tilastollisesti merkitsevä eroa, kuten myös oli eri käsittelymenetelmien välillä. Tämän perusteella voidaan todeta, että kiskon korjaamiseen vaikuttaa se, mistä materiaalista kisko on valmistettu, ja myös se, miten kiskon pinta käsitellään korjauksen yhteydessä.

Tämän työn tulosten perusteella 3D-kisko on parhaiten korjattavissa. On kuitenkin hyvä huomioida, että kaikki samalla tavalla valmistetut kiskot eivät ole ominaisuuksiltaan samanlaisia. Vaikka tässä tutkimuksessa parhaiten menestyi 3D-tulostettu kisko, tulosta ei voida yleistää kaikkiin tulostusmenetelmällä valmistettuihin purentakiskoihin, sillä korjaamiseen vaikuttaa myös käytettävän materiaalin rakenne ja valmistaja.

Tämä tutkimus osoitti, että myös sillä, miten kiskon pinta käsitellään ennen korjausta, on merkitystä. Tämän työn tulosten perusteella MMA-käsittely parantaa Luka Fix -sidosaineen sidostettavuutta riippumatta purentakiskon tyypistä. Sidos ei kuitenkaan ollut yhtä vahva kuin Scotchbond Universal sidosaineella käsitellyillä näytteillä, jolla saatiin parhaimmat tulokset kaikissa ryhmissä. Scotchbond Universal on laajasti käytössä oleva valokovetteinen itse-etsaava sidosaine, joka valmistajan mukaan kiinnittyy monipuolisesti kaikenlaisiin pintoihin, on vähemmän tekniikkasensitiivinen, antaa tasalaatuisen sidoksen ja toistettavia sidoslujuusarvoja. Se on hammaslääkäreille tuttu aine, sillä sitä käytetään korjaavassa hoidossa esimerkiksi hampaiden paikkauksessa. Sidostusmateriaali on käytössä monella vastaanotolla, minkä vuoksi sitä olisi helppo käyttää myös sidostettaessa korjausmateriaalia purentakiskoon. MMA-nesteenä tutkimuksessa oli Palapress, joka on kylmäakryylineste. Sitä käytetään proteesien valmistukseen, korjaamiseen ja pohjauksiin. Luka Fix on MMA-vapaa valokovetteinen resiini. Voidaan siksi olettaa, että nimenomaan käsittely MMA-nesteen kanssa saattoi parantaa päälle laitettavan sidosaineen (Luka Fix) tarttuvuutta.

Käsittelyn jälkeen näytteitä säilytettiin vedessä lämpökaapissa 37 asteessa kolmen kuukauden ajan, koska vesisäilytyksen epäillään vaikuttavan sidoksen kestävyysasteeseen. Vesisäilytyksellä voi olla vaikutuksia sekä purentakiskomateriaaleihin että sidoksen kestävyysasteeseen. Vesisäilytys johtaa purentakiskojen pintakovuuden merkittävään heikkenemiseen eli pehmenemiseen suurimalla osalla purentakiskomateriaaleista, erityisesti 3D-tulostetuilla materiaaleilla (Gibreel ym. 2022). Tämän lisäksi vesisäilytyksen ajatellaan heikentävän sidosta, mutta joidenkin tutkimusten mukaan vedellä on positiivinen vaikutus kestävyysasteeseen. Esimerkiksi autopolymeroituvalla akryylilla korjattujen näytteiden mekaaniset ominaisuudet olivat parhaimmillaan vasta 1–7 päivän vesisäilytyksen jälkeen (Harrison ym. 1977). Myös valokovetetun resiinin sidoslujuus hammasproteesiin nousi merkittävästi 48 tunnin vesisäilytyksen jälkeen (Razavi ym. 1990). Korjatut materiaalit saavuttavat optimaaliset ominaisuutensa viiveellä, minkä vuoksi on ehdotettu, että korjatut proteesit palautettaisiin potilaalle vasta 24 tunnin kuluttua korjauksesta (Harrison ym. 1977, Dar-Odeh ym. 1997).

7.1 Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet

7.1.1 Laboratorio-olosuhteissa tehtävän tutkimuksen virhelähteet

Niin kuin muissakin tutkimuksissa, myös tässä tutkimuksessa on omat heikkoutensa, jotka on hyvä ottaa huomioon tulosten tulkinnassa. Valokovettimen tehoa testattiin säännöllisesti tutkimusprojektin aikana. Näytteitä valmistettaessa pyrittiin käyttämään tehokkuudeltaan samaa valokovettajaa koko tutkimuksen ajan, jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia. Myös kaikkia näytteitä kovetettiin samalla tavalla ja yhtä pitkään, mutta kovetusvalon suuntaus näytteeseen, käden vakaus sekä valokovettimen teho ja puhtaus, voivat vaikuttaa valokovetukseen ja siten myös aiheuttaa virhelähteitä ja eroja näytteiden välillä.

Näytteiden ilmapuolien mahdollisuus minimoitiin, mutta tuloksiin on saattanut vaikuttaa mahdolliset pienet ilmapuolat. Lisäksi tuloksiin voi vaikuttaa sidosaineen paksuus ja Luka Clearin määrä. Vaikka Luka Clear tapeista pyrittiin tekemään hyvin samankokoisia, voi ohuempi kerros vaikuttaa valokovetuksen tehoon ja siten myös sidoksen kestävyYTEEN.

Kaikki näytteet tehtiin 2,5 viikon aikavälillä, mutta säilytysajoissa on muutamien päivien eroja. Näiden ei pitäisi merkittävästi vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin, mutta ne on hyvä ottaa huomioon. Luka Cleariä säilytettiin ohjeiden mukaan avattuna jääkaapissa ja ennen näytteiden tekoa sen annettiin olla huoneenlämmössä, jotta koostumus olisi kaikkia näytteitä tehdessä samanlainen.

7.1.2 Tulosten sovellettavuus kliinisen käytön kannalta

Tutkimuksen heikkouksia voidaan pohtia myös kliinisen käytön kannalta. Tutkimus ei anna meille riittävästi tietoa siitä, minkälaisia vaurioita tässä työssä tutkituilla materiaaleilla pystyttäisiin korjaamaan. Purentakiskon korjaamiseen ja lopputulokseen vaikuttaa se, kuinka iso defekti on kyseessä eli kuinka laajasti ja millä tavalla kisko on rikkoutunut. Luka Clearillä pystyisi todennäköisesti tekemään pieniä korjauksia. Laajasti rikkoutunut kisko tulee jatkossakin uusia tai lähettää kisko laboratorioon korjattavaksi.

Näytteiden säilytysolosuhteilla simuloitiin suun olosuhteita, koska näytteitä säilytettiin lämpökaapissa 37 asteessa, 3 kk ajan. Olosuhteet eivät kuitenkaan ole täysin todellisuutta vastaavat, joten on mahdollista, että tulokset suussa poikkeavat laboratorio-olosuhteista. Lisäksi suussa on paljon erisuuntaisia ja pitkäkestoisia purentavoimia ja muuttujia, jotka voivat vaikuttaa todelliseen korjausmateriaalin kestävyYTEEN.

7.1.3 Tutkimuksen vahvuudet

Tutkimus oli yksinkertainen toteuttaa ja sen avulla sai melko tarkkaa ja yksityiskohtaista tietoa sidosten kestävydestä. Laboratorio-olosuhteissa suoritettussa tutkimuksessa on tiettyjä hyötyjä kliinisesti suoritettuun tutkimukseen verrattuna. Tutkimuksen yksi vahvuus on se, että monet muuttujat on helpompi pitää laboratorio-olosuhteissa vakiona ja sen avulla ongelma-kohtat löytyvät paremmin. Esimerkiksi kahta erilaista sidostusmenetelmää pystyi melko luotettavasti vertaamaan toisiinsa, koska muut muuttujat saatiin pidettyä vakiona. Suun olosuhteissa olisi vaikeampaa tutkia ja saada selville ongelma-kohtia, kun niissä on monia ja vaikeasti hallittavia muuttujia. Tutkimus on hyvä antamaan suuntaa ja osoittamaan ongelma-kohtia, jotta parentakiskojen korjaamista voidaan kehittää.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että Luka Cleariä voisi käyttää kliinisesti kisko-kojen korjaukseen, kun sitä käytetään yhdessä Scotchbond Universal sidosaineen kanssa. Tässä tutkimuksessa Scotchbond Universal antoi parhaimmat tulokset ja sitä oli helppo käyttää. MMA ja Luka Fix menetelmä oli tekniikkaherkempi ja myös vaikeampi toteuttaa vastaanotto-olosuhteissa monivaiheisuuden vuoksi.

LÄHTEET

Ajmal BM, Kushalappa PD, Ahamed SAS, Kaur M, Shetty A, Minz M, Saleem CM, Raheel SA. evaluation and comparison of impact strength and transverse strength of heat polymerized polymethylmethacrylate (PMMA) denture base resin repaired using heat polymerized PMMA denture base resin, auto-polymerized PMMA resin and a new light polymerized denture resin: An *In Vitro* Study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2023;15(Suppl 1): S706-S710.

Andreopoulos AG, Polyzois GL, Demetriou PP. Repairs with visible light-curing denture base materials. *Quintessence Int.* 1991;22(9):703-6.

Berli C, Thieringer FM, Sharma N, Müller JA, Dedem P, Fischer J, Rohr N. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *J Prosthet Dent.* 2020;124(6):780-786.

Cilingir A, Bilhan H, Geckili O, Sulun T, Bozdog E, Sunbuloglu E. In vitro comparison of two different materials for the repair of urethan dimethacrylate denture bases. *J Adv Prosthodont* 2013;5:396-401.

Dar-Odeh NS, Harrison A, Abu-Hammad O. An evaluation of self-cured and visible light-cured denture base materials when used as a denture base repair material. *J Oral Rehabil.* 1997;24(10):755-60.

Gibreel M, Perea-Lowery L, Vallittu PK, Garoushi S, Lassila L. Two-body wear and surface hardness of occlusal splint materials. *Dent Mater J.* 2022 Nov 30;41(6):916-922.

Harrison A, Belton EL, Meades K. Do self-curing acrylic resin repairs gain strength with age? *J Dent.* 1977;5(4):334-8.

Harberg Johanna, Lyly Johanna. Purentakiskot hoitomenetelmänä: opas purentakiskojen valmistukseen. Liite 1. Opinnäytetyö. Turun AMK. Hammasteknikkoulutus. 2019.

Jagger DC, Alshumailin YR, Harrison A, Rees JS. The effect of the addition of poly (methyl methacrylate) fibres on the transverse strength of repaired heat-cured acrylic resin. *J Oral Rehabil.* 2003;30(9):903-8.

Konttinen Vesa. Paineen vaikutus kylmäakryyliin kovettumiseen. *Hammasteknikko* 1992; 1:12-13.

Kuusikoski Joel. CAD/CAM-tekniikalla työstettävien muovikomposiittien sidostuvuus ja valonläpäisevyys verrattuna lasikeraameihin. Syventävien opintojen opinnäytetyö. 2020. Lääketieteellinen tiedekunta. Hammaslääketieteen laitos. Hammasprotetiikka ja biomateriaalitiede.

Lammi J, Lehtinen R. Korjaukset ja pohjaukset hammastekniikassa: videot ja ohjeet opetusmateriaaleina. Opinnäytetyö. Turun AMK. Hammasteknikkoulutus. 2023.

Lung CY, Darvell BW. Minimization of the inevitable residual monomer in denture base acrylic. *Dent Mater*. 2005;21(12):1119-1128.

Machado C, Sanchez E, Azer SS, Uribe JM. Comparative study of the transverse strength of three denture base materials. *J Dent*. 2007 Dec;35(12):930-933.

Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. 2009;28(1):44-56.

O'Brien WJ. *Dental materials and their selection*, 2002. Quintessence.

Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, Lassila LV. 3D-printed vs. heat-polymerizing and autopolymerizing denture base acrylic resins. *Materials (Basel)*. 2021;14(19):5781.

Prpic V, Spehar F, Stajdohar D, Bjelica R, Cimic S, Par M. Mechanical properties of 3D-printed occlusal splint materials. *Dent J (Basel)*. 2023;11(8):199.

QA dental. Purentakiskon valmistus /Vodcast-sarja. Ala tutuksi. <https://www.youtube.com/watch?v=HhIxps4hiiw>

Raszewski Z, Nowakowska-Toporowska A, Nowakowska D, Więckiewicz W. Update on acrylic resins used in dentistry. *Mini Rev Med Chem*. 2021;21(15):2130-2137.

Razavi R, Khan Z, von Fraunhofer JA. The bond strength of a visible light-cured reline resin to acrylic resin denture base material. *J Prosthet Dent*. 1990;63(4):485-487.

Rosar JV, Barbosa T de S, Dias IOV, Kobayashi FY, Costa YM, Gavião MBD, et al. Effect of interocclusal appliance on bite force, sleep quality, salivary cortisol levels and signs and symptoms of temporomandibular dysfunction in adults with sleep bruxism. *Arch Oral Biol* 2017; 82: 62-70.

Scherrer SS, Cesar PF, Swain MV. Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: a critical literature review. *Dent Mater*. 2010;26(2):e78-93.

Seó RS, Neppelenbroek KH, Filho JN. Factors affecting the strength of denture repairs. *J Prosthodont*. 2007 Jul-Aug;16(4):302-10.

Therapia Odontologica. 2023. Purentaelimistön toimintahäiriön hoito. Terveysportti. Duodecim.

Vallittu P. Jäännösmonomeeri proteesiakryylissa. *Hammasteknikko* 1996 (2): 9-11.

Wörner F, Eger T, Simon U, Becker A, Wolowski A. Lifespan of splints in a sample of German soldiers hospitalised with post-traumatic stress disorder (PTSD) in combination with sleep bruxism and painful temporomandibular disorder (TMD). *Oral Health Prev Dent*. 2024; 22:249-256.

TUTKIMUKSEEN VALITTUJEN MATERIAALIEN SIVUSTOT

Lukadent

https://lukadent.de/Lukadent/CustomUpload/374035703400370035603690350033103720362035203550356036503710/Lukafix_DE_GB_web.pdf

<https://www.medicalexpo.com/prod/lukadent/product-73096-941229.html>).

Scotchbond Universal sidosaine

https://www.3msuomi.fi/3M/fi_FI/p/d/b00007531/