

TERO NORDLUND

OPTINEN JÄLJENTÄMINEN HAMMASPROTETIIKASSA

Tero Petteri Nordlund 66566

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Hammaslääketieteen laitos

Turun yliopisto

TERO NORDLUND

OPTINEN JÄLJENTÄMINEN HAMMASPROTETIIKASSA

Tero Petteri Nordlund 66566

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Kevätlukukausi 2017

Vastuuopettaja: HLT, EHL, Lehtori Johanna Tanner

Asiantuntijatarkastaja: Professori Timo Närhi

NORDLUND, TERO : Optinen jäljentäminen hammasprotetiikassa

Syventävien opintojen kirjallinen työ, 18 s., 4 liites.
Protetiikan oppiaine
Tammikuu 2017

Hammasprotetiikassa kuntoutetaan purentaa hyödyntäen kiinteitä tai irrotettavia hammasproteettisia rakenteita. Ennen hammasproteesin, kuten kruunun tai sillan, suunnittelua ja valmistamista on jäljennettävä kudoks, johon se asetetaan. Perinteisesti on käytetty erilaisia jäljennösaineita, mutta nykyään kudokset voidaan jäljentää myös valoa käyttäen, optisia ja digitaalisia tekniikoita yhdistäen. Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on esittää käytössä olevien optisten menetelmien tekniset perusteet, kehitysvaiheet ja kliinisten työvaiheiden erot suhteessa perinteisiin jäljennösmenetelmiin.

Katsausta varten perehdyttiin vertaisarvioituihin julkaisuihin ja protetiikan alan muuhun kirjallisuuteen, kuten oppikirjoihin. Lisäksi tarkasteltiin kaupallisten toimijoiden julkisesti tarjoamaa materiaalia.

Optisessa jäljentämisessä muodostetaan kudoksesta kolmiulotteinen kuva, tähän tarkoitukseen on kehitetty kolme menetelmää. Menetelmiä on sovellettu kaupalliseen tarkoitukseen 1980-luvulta alkaen, ja uusia menetelmiä on kehitetty yhä 2000-luvulla. Kaupalliset sovellukset voidaan taas jakaa laitteisiin, jotka pystyvät tai eivät pysty vastaanoton yhteydessä valmistamaan proteettisia töitä. Edellisiä nimitetään niin sanotuiksi CAD/CAM-laitteiksi. Optinen jäljentäminen on potilaan ja klinikon näkökulmasta vaivattomampi menetelmä suhteessa perinteisten jäljennösaineiden käyttöön. Käytön voidaan olettaa hammaslääkäriasemilla lisääntyvän sekä monipuolistuvan tulevaisuudessa.

Asiasanat: optinen jäljentäminen, hammasprotetiikka, CAD/CAM, digitaalinen työnkulku

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	1
2. OPTISET JÄLJENNÖSMENETELMÄT	2
2.1. TEKNISET PERUSTEET JA NIIDEN KEHITYS	3
2.1.1. RANSKALAINEN MENETELMÄ	3
2.1.2. SVEITSILÄINEN MENETELMÄ	4
2.1.3. MINNESOTALAINEN MENETELMÄ	6
2.2. ERILAISTEN KAUPALLISTEN SOVELLUSTEN ESITTELY	6
2.2.1 CAD/CAM	7
2.2.2. SKANNERIT	9
2.2.3. TIEDON KÄSITTELY JA TALLENNUS	9
3. VERTAILU OPTISEN JA PERINTEISEN JÄLJENTÄMISEN VÄLILLÄ	11
3.1. KLIININEN TEKNIikka	11
3.2. TARKKUUS	11
3.3. PREPAROINNIN VAATIMUKSET	12
3.4. PURENNAN MÄÄRITTELY	13
3.5. VÄRINMÄÄRITYS	14
3.6. TYÖMALLIN VALMISTUS	15
4. TULEVAISUUDEN KEHITYSNÄKYMÄT	16
5. POHDINTA	17
6. LÄHTEET	19

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

1. JOHDANTO

Hammasprotetiikka tarkoittaa kaikkea purennan kuntouttamista proteettisia rakenteita käyttäen. Proteettiset rakenteet kattavat niin laminaatit, hammaskruunut, -sillat, koko- ja osaproteesit kuin tietyissä määrin erilaiset hammaspaikatkin. Proteettisen työn valmistaminen edellyttää useita työvaiheita, kuten vaurioituneen kudoksen, yhden tai useamman hampaan poistamisen ja menetetyn kudoksen korvaamisen proteettisilla materiaaleilla sekä useita jäljennös- ja sovituvaiheita (hampaan muotoilu, hionta). Ennen proteettisen työn valmistamista on mallinnettava jäljelle jäänyt terve kudoks. Hammasproteettisessa jäljentämisessä päämääränä on virheetön ja tarkka jäljennös korjattavasta hammaskaaren alueesta. Mallintaminen tapahtuu perinteisesti ottamalla (fyysinen) jäljennös terveestä kudoksesta ja tekemällä tähän kipsivalu.

Perinteisin menetelmin jäljennös tehdään jäljennösaineilla, joita ovat esimerkiksi alginaatit, polyeetterit sekä silikonipohjaiset jäljennösaineet. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia. Aineet edellyttävät valmistavalta hammaslääkäriltä tai -hoitajalta hyvää teknistä osaamista niitä sekoittaessa ja käsitellessä. Verihyytymät ja -vuodot sekä sylki jäljennettävällä alueella aiheuttavat pääsääntöisesti jäljennöksiin vääristymiä ja virheitä. Kuivuessaan erityisesti alginaattijäljennökset saattavat muuttaa muotoaan. Jäljennösaine voi myös repeillä kriittisistä paikoista, joka vaikeuttaa täsmällisen mallin valmistusta. Perinteinen mallintaminen myös edellyttää lukuisia työvaiheita, minkä vuoksi se edellyttää potilaalta useita käyntejä. Tämä aiheuttaa kustannuksia hammashoittoon, pitkittää hoitoprosessia ja voi olla potilaasta epämiellyttävää.

Perinteisten jäljennösmenetelmien materiaalit olivat pitkään tunnettuja, mutta niitä alettiin soveltaa hammaslääketieteessä vasta 1900-luvulla. Agar löydettiin Japanissa 1600-luvulla, kun keitetyn merilevän havaittiin geelilytyvän (Zimbro et al 2009). Vuonna 1937 Sears esitteli agarin kruunupreparointien jäljennösaineeksi. Alginaatti löydettiin 1881 Edward C. Stanfordin laboratorikokeissa, mutta hammaslääketieteen käyttöön se päätyi kuitenkin vasta vuonna 1947, kun Sir William Wilding oli patenttinsa perusteella kehittänyt tekniikan ja aineen koostumuksen käyttöön soveltuvaksi. Ensimmäinen varsinainen hammaslääketieteen käyttöön valmistettu jäljennösaine oli ESPE GmbH:n vuonna 1965 esittelemä polyeetteri, Impregum[™] (Birnbauer et al

2009, Kaur et al 2002). Optisten jäljennösmenetelmien kehitys alkoi vasta 1970-luvulla ja kaupallinen soveltaminen 1980-luvulla.

Optinen jäljentäminen on yleistynyt hammaslääkäreiden vastaanotoilla ja hammaslaboratorioissa. Tässä menetelmässä jäljennettävään kudokseen kohdennetaan laser- tai valosäteiden vuo, jonka heijastuman avulla tietokone luo kudoksesta kolmiulotteisen digitaalisen kuvan. Optisella jäljentämisellä on lukuisia etuja suhteessa perinteisiin jäljennösmenetelmiin. Se on perinteisiä menetelmiä nopeampi eikä edellytä jäljennysaineiden varastointia. Menetelmä mahdollistaa sähköisen tallentamisen, minkä vuoksi samaa mallia voidaan käyttää tarvittaessa useita kertoja, siirtää sähköisessä muodossa eikä mallin muoto muutu ajan kuluessa. Kliinisen kokemuksen perusteella optinen kuvantaminen lyhentää vastaanottoaikoja ja vapauttaa näin myös vastaanoton resursseja (Nayar et Mahadevan 2015, Stein 2012, Fleming 2011, Mitchem 2009).

Optinen jäljentäminen, tekniikka, joka on mahdollistanut kova- ja pehmytkudosten tarkan jäljentämisen optisesti, ilman työläitä elastomeereja, on uudistanut hammaslääketiedettä. Optisesti jäljentämällä hammaslääkärikäynneistä jää myös lukuisat, potilaille epämiellyttävät sekä virhealttiit jäljentämiset kokonaan pois (Stein 2012).

Tämän katsauksen tavoitteena on esitellä erilaisia optisia jäljennösmenetelmiä ja vertailla niitä keskenään ja suhteessa perinteisiin hammaslääketieteen jäljennösmenetelmiin.

2. OPTISET JÄLJENNÖSMENETELMÄT

Optisessa jäljentämisessä kudoksesta skannataan ja tästä laaditaan tietokoneelle kolmiulotteinen kuva. Proteettinen työ voidaan valmistaa vastaanoton yhteydessä olevan optisen skannerin, tietokoneohjelmiston ja jyräyksikön avulla ja sovittaa potilaalle jopa saman vastaanottokäynnin aikana. Vaihtoehtoisesti kuva voidaan lähettää ulkopuoliselle hammasteknikolle proteettisen työn valmistamiseksi (Beuer et al 2008).

Jäljempänä esitellään käytössä olevat tekniset perusratkaisut ja niiden yksittäisiä Suomessa käytössä olevia kaupallisia sovelluksia.

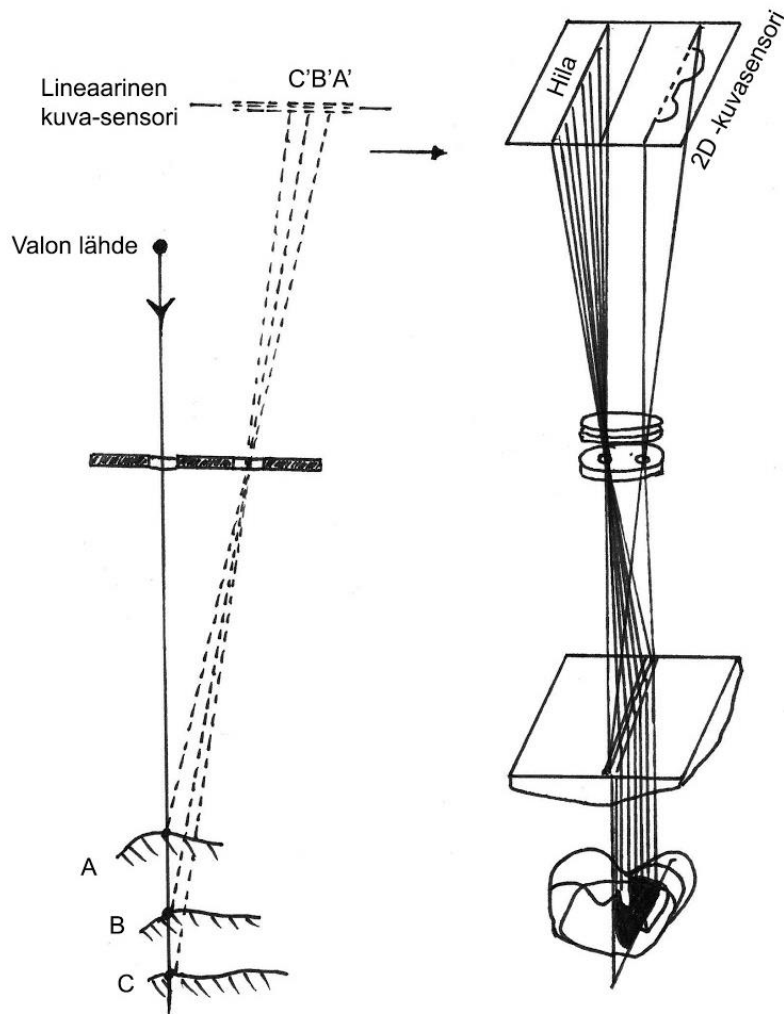
2.1. TEKNISET PERUSTEET JA NIIDEN KEHITYS

Optisessa mallintamisessa hyödynnetään tavallista valoa, LED- ja laservaloa. Tavallisessa valossa aalloilla on lukuisia aallonpituuksia ja ne ovat eri vaiheissa. Tavalliseen valoon verrattuna LED:ien tuottama valo eroaa oleellisesti kapeammalla spektrillään ja tuottaminen kuluttaa vähemmän energiaa. Laservalossa valoallot ovat samanpituisia, samassa suunnassa värähteleviä, samassa vaiheessa ja samalla taajuudella. Menetelmät jaotellaan teknisten ominaisuuksiensa perusteella niin sanottuun ranskalaiseen, sveitsiläiseen ja minnesotalaiseen jäljentämiseen. Nämä menetelmät ovat kehitetty eri aikoihin, mutta niitä kaikkia sovelletaan edelleen. Lisäksi laitteissa yhdistellään muutakin teknologiaa, joiden perusteella ne eroavat toisistaan. Laitteistojen kehitys viime vuosina on perustunut muun muassa kuvanvakaajien ja ohjelmistojen parantamiseen, minkä ansiosta on mahdollista kuvata kerralla suurempia alueita ja kontrastipuutereiden tarve on vähentynyt (Al-Jubouri et al 2015).

2.1.1 RANSKALAINEN MENETELMÄ

Ranskalainen menetelmä hyödyntää laseria. Laserilla kudosten mallinnus perustuu kolmiomittaukseen, lähetin ja heijastuksen vastaanotin (kuva-sensori) ovat tarkasti tunnetun etäisyyden päässä toisistaan. Riippuen heijastavan pinnan etäisyydestä, laserpulssi heijastuu sen eri pisteisiin. Kun tiedetään lähettimen kuvasensorin etäisyys sekä mihin pisteeseen pulssi heijastuu, voidaan tutkittavan pisteen etäisyys määrittää geometrisesti. Ranskalaisen menetelmän periaate on havainnollistettu kuvassa 1.

Menetelmän kehityksen voidaan katsoa alkaneen vuonna 1973, jolloin Francois Duret esitteli ensimmäisenä väitöskirjassaan sen. Hän rekisteröi ensimmäisen patentin teknologiaa hyödyntävästä laitteesta vuonna 1984. Toimiva laite esiteltiin Chicagossa vuonna 1989, tuolloin esitelty laite kykeni valmistamaan kruunun neljässä tunnissa.



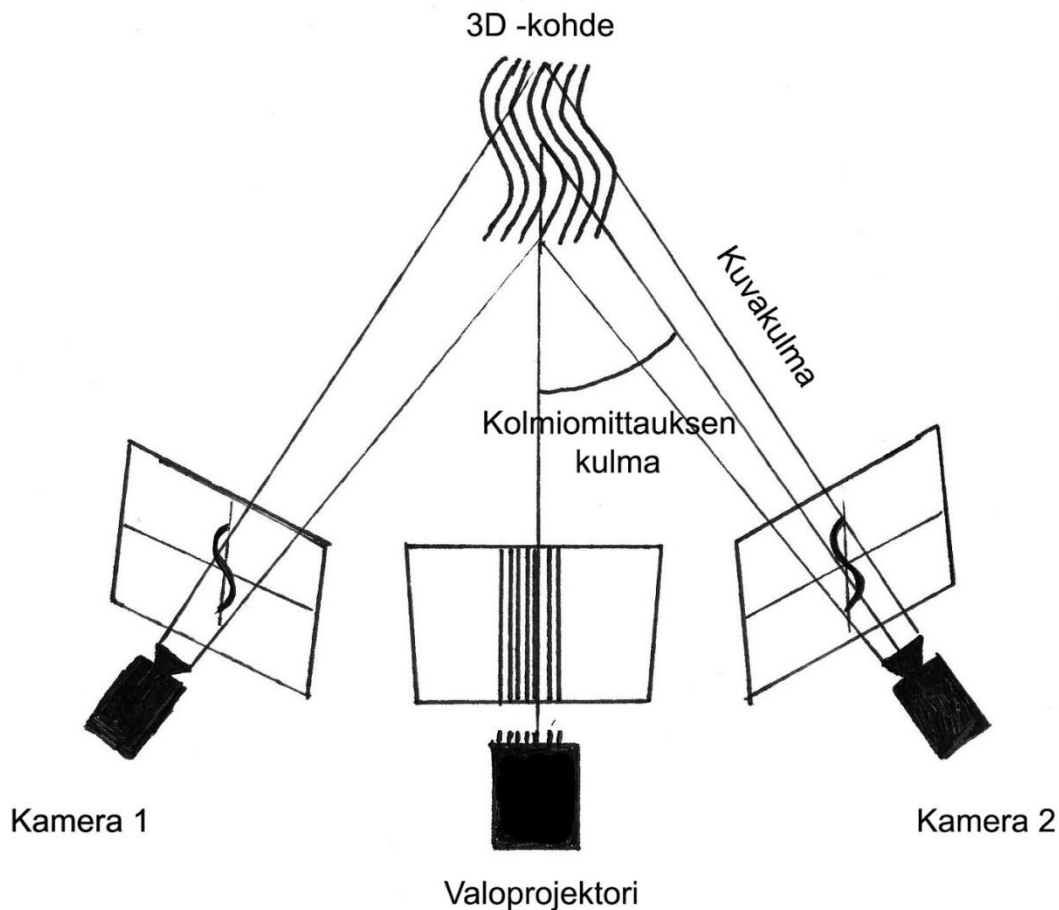
Kuva 1. Ranskalaisen menetelmän periaate. Vasemmalla on esitettyä kolmiomittaus-tekniikka, jolla laserilla määritetään heijastavan pinnan etäisyys. Esimerkiksi eri etäisyyksillä olevat pinnat A, B ja C heijastuvat kuvasensorin eri kohtiin A', B' ja C'. Oikealla on esitettyä miten yksittäisistä mittauksista muodostetaan kaksiulotteinen kuva sensoreiden hilalle.

2.1.2. SVEITSILÄINEN MENETELMÄ

Sveitsiläinen menetelmä hyödyntää tavallista valoa. Hyödynnettäessä tavallista valoa mallintamisessa heijastetaan kuvannettavaan pintaan kuvio. Valon ja linsijärjestelmän avulla kuvataan preparatoitu hammas, ylimääräiset valonheijastumat estetään peileillä ja linsseillä. Tämän jälkeen kahdessa eri kulmassa olevat kamerat rekisteröivät pinnalle heijastuvan kuvion muutokset. Lisäksi kamerat rekisteröivät heijastuvan valon valaistusvoimakkuuden muutokset, tämän

perusteella on mahdollista laskea jäljennettävästä kohteesta etäisyyksiä (Logozzo et al 2008). Kahden kameran tallentama tieto yhdistetään ATK:ta soveltaen, näin muodostetaan pinnasta kolmiulotteinen malli.

Menetelmä sai alkunsa vuonna 1980, kun Werner H. Mörmann ja Marco Brandestini Zürichin yliopistosta alkoivat kehittää optista mallintamista ja kaupallista sovellusta. Vuonna 1985 heidän kehittämäänsä laitteistoa käytettiin ensimmäisen kerran potilaan hoitamiseen käyttäen Vitablocs mark I -keraamista ahiota. Vuonna 1987 Siemens toi markkinoille ensimmäisen Mörmannin ja Brandestinin kehitystyöhön perustuneen CEREC 1:n. Kyseessä oli ensimmäinen optisen jäljentämisen kaupallinen sovellus.

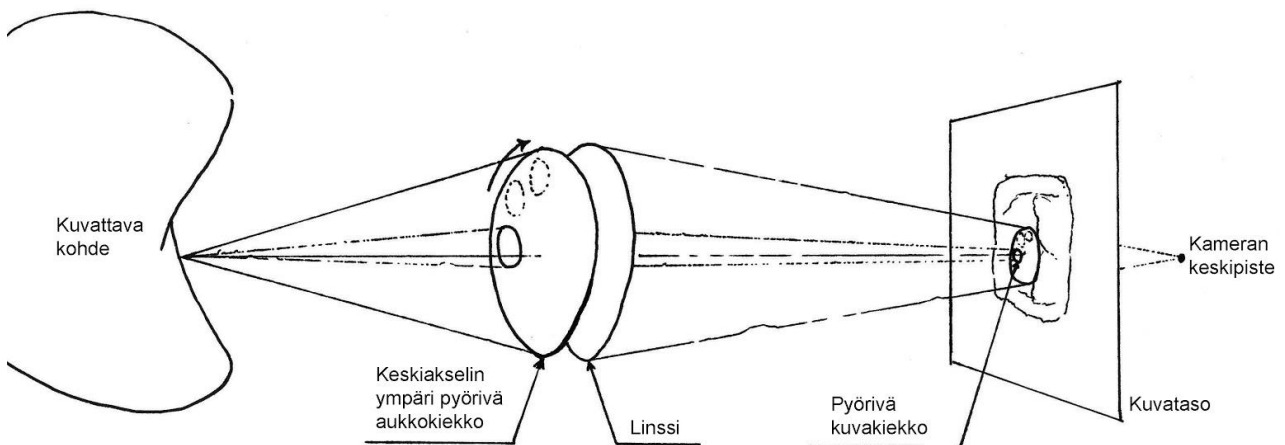


Kuva 2. Sveitsiläisen menetelmän periaate. Valonlähde heijastaa pystyviivaston kaarevalle pinnalle, kamerat 1 ja 2 rekisteröivät viivaston muutokset eri kuvakulmista.

2.1.3. MINNESOTALAINEN MENETELMÄ

Minnesotalainen menetelmä hyödyntää myös näkyvää valoa. Sveitsiläisestä poiketen tässä heijastuva valo heijastuu vain yhdelle vastaanottimelle. Valon kameraan taittavan linssin edessä kiertää keskiakselin ympäri aukkorengas. Näin linssistä heijastuu kameraan erilaisia kuvia, jotka yhdistämällä mahdollistavat jäljennettävän kohteen kolmiulotteisen mallintamisen.

Menetelmän kehitys kliiniseksi sovellukseksi alkoi vuonna 2004, kun yhdysvaltalainen Douglas Hartin, Jan Lammerdingin ja Janos Rohalyn muodostama tutkijaryhmä patentoi sen. Vuonna 2006 yhdysvaltalainen yritys 3M osti patentin ja toi vuonna 2008 teknologiaan perustuvan laitteen markkinoille.



Kuva 3. Minnesotalaisen menetelmän periaate. Linssin edessä linssin keskiakselin ympäri pyörii aukkorengas, minkä seurauksena kuvatasolle heijastuu erilaisia kuvia jäljennettävästä kohteesta.

2.2. ERILAISTEN KAUPALLISTEN SOVELLUSTEN ESITTELY

Laitteistot on jaettu kahteen ryhmään sen mukaan voidaanko niillä valmistaa proteettinen työ vastaanoton yhteydessä vai ainoastaan jäljentää kudosta. Lisäksi laitteilla on muitakin erottavia tekijöitä, esimerkiksi edellyttävätkö ne mallintamisessa kontrastipuuteria tai voiko laitteiston hankkia moduuleittain. Kontrastipuuteria käytetään, jotta kudosten pinnat heijastavat valoa samalla

tavalla, eikä heijastuisi kuvanmuodostusta häiritsevää ylimääräistä valoa. Osa laitteistoista on ilman kontrastipuuteria alttiita virheille, koska yhtäältä osin läpikuultava kiille absorboi siihen kohdistettuja lasersäteitä ja toisaalta suun muut pinnat heijastelevat valoa skanneriin (Mörmann 1996).

2.2.1 CAD/CAM -yksiköt

Computer Aided Design / Computer Aided Milling (CAD/CAM) -ryhmän laitteistot sekä mallintavat kudosta että mahdollistavat proteettisen työn valmistamisen vastaanoton yhteydessä niin sanottuna chair-side -menetelmänä. Pääosin vastaanotolla kokonaisuudessaan valmistetut proteettiset työt CAD/CAM -menetelmällä ovat keraamisia, mutta proteettiset työt on eri laitevalmistajien laitteistojen mukaan mahdollista jyrsiä metallista, titaanista, komposiitista, akryylistä sekä jo edellä mainitusta keraamista. Myös zirkoniaa pystytään nykylaitteilla jyrsimään. Laitteistojen hankintakustannukset ovat 35 000 - 100 000 euroa (kustannus perustuu kahden/kolmen suomalaisen maahantuojan esittämään arvioon). CAD/CAM-yksiköt voidaan jakaa avoimiin ja suljettuihin järjestelmiin. Avoimessa järjestelmässä ostaja voi hankkia tietyissä rajoissa skannerin, CAD-ohjelmiston ja jyrsimen eri valmistajilta. Suljetuissa järjestelmissä tätä vaihtoehtoa ei ole, ja laitteen valmistaja saattaa jopa veloittaa laitteen käyttäjää jäljennöksen tiedonsiirrosta ja sen jatkokäsittelystä (Logozzo et al 2008).

Avoin järjestelmä merkitsee sitä, että valmistajat myyvät ohjelmistoja, skannereita ja jyrsimiä, mutta eri valmistajien osia on jossain määrin mahdollista yhdistellä toisiinsa. Suljettu järjestelmä taas merkitsee sitä, että ohjelmistot, skanneri ja jyrsinlaite ovat saman valmistajan ja ne myydään yksikkönä.

Suljetut CAD/CAM - yksiköt

Ryhmän laitteista esimerkistä käy saksalaisen Siemensin sekä myöhemmin Sirona Dental Systemsin kehittämä Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics (CEREC).

CEREC 1 esiteltiin vuonna 1987. Järjestelmästä on vuoteen 2016 mennessä esitelty neljä kehitysversiota ja niille päivityksiä, järjestelmän kehityksen päävaiheet esitellään seuraavassa.

CEREC 1 kykeni käsittelemään kaksiulotteisia kuvia ja jyrsimään näistä inlay-, onlay- sekä laminaattitöitä. Inlay tarkoittaa epäsuoraa täytettä, jolla ei korvata kuspia ja vastaavasti onlay kuspia korvaavaa epäsuoraa täytettä. Laminaatilla tarkoitetaan etuhammas-alueelle valmistettavaa hampaan näkyvän osan keraamista kuorta. Vuonna 1994 markkinoille tuli CEREC 2, lisäksi aikaisempaan versioon sillä oli mahdollista suunnitella ja jyrsiä myös osa- ja kokokruunuja. Vuonna 2000 esiteltiin CEREC 3, jolla oli mahdollista valmistaa kolmen yksikön sillanrunkoja. CEREC 3:n ohjelmistoa päivitettiin vuonna 2003, minkä jälkeen järjestelmällä oli mahdollista suunnitella neljän yksikön sillanrunkoja. Vuonna 2011 esiteltiin CEREC 4.0, jonka keskeiset uudistukset liittyivät käytettävyyden parantamiseen (Logozzo et al 2008, Mörmann 2006). CEREC:n kehityshistoria on kaikista optista menetelmää apuna käyttävien laitteiden parhaiten raportoitu.

Avoimet CAD/CAM - yksiköt

Tällaisia laitteistoista voidaan esille nostaa esimerkkinä yhdysvaltalaisen E4D Technologiesin kehittämä E4D. Se on CEREC:n kaltainen CAD/CAM -laite, johon kuuluu skanneri, keskusyksikkö, näyttö sekä jyrsinyksikkö ja jolla optinen jäljentäminen on useimmissa tapauksissa mahdollista ilman heijastavaa puuteria. E4D tuotiin markkinoille vuonna 2008. Järjestelmällä on mahdollista kuvata kiilteen ja dentiinin mahdolliset värivirheet ja laikut (Logozzo et al 2008). Sen kehittäminen on vuodesta 2014 jatkunut yhteistyössä suomalaisen Planmeca Oy:n kanssa, ja erillisinä markkinoitavien moduulien tuotemerkeiksi on vaihtunut PlanScan (skanneri), Planmill 40 (jyrsin) ja PlanCAD Easy (ohjelmisto).

Vaikka edellä esitellyn Sirona-yhtiön CEREC-järjestelmät ovat suljettuja, yhtiön uudemmat skannerit ovat myös avoimeen järjestelmään soveltuvia. Vuonna 2009 esiteltiin CEREC Bluecam, jossa kudosta mallinnettiin aikaisempaan nähden lyhytaaltoisemmalla sinisellä LED-valolla. Lyhyen aallonpituuden ansiosta menetelmä oli tarkempi. Bluecam oli varustettu myös kuvanvakaimella ja se otti kuvia automaattisesti käsikappaleen ollessa paikallaan. Vuonna 2012 markkinoille tuli CEREC Omnicam, joka ei aikaisemmista versioista poiketen edellyttänyt kontrastipuuterin käyttöä (Logozzo et al 2008, Mörmann 2006).

2.2.2 SKANNERIT

Skannerit yksinomaan mallintavat kudosta. Mallinnettu kolmiulotteinen kuva lähetetään edelleen laboratorioon proteettisen työn valmistamiseksi. Laboratoriossa proteettinen työ voidaan joko jyrsiä tai valaa. Lisäksi materiaalivalikoima on CAD/CAM-laitteisiin nähden laajempi ja eri materiaaleja voidaan käyttää samassa työssä. Suurimmassa osassa laitteita proteettista työtä ei ole mahdollista suunnitella vastaanoton yhteydessä. Ryhmän laitteita ovat muun muassa israelilaisen CADENT LTD Align Technologyn vuonna 2007 markkinoille tuoma iTero ja yhdysvaltalaisen 3M ESPE:n vuonna 2007 markkinoille tuoma True Definition (nykyisin, aiempi mallinimi LAVA C.O.S.). Menetelmältään iTero perustuu laservalon ja True Definition tavallisen valon käyttöön. Laitteistojen hankintakustannukset ovat 15 000 - 25 000 euroa.

iTero on digitaalinen skanneri, jossa sovelletaan edellä kuvattua ranskalaista metodologiaa. Kuvattaviin pintoihin ei tarvitse applikoida heijastavaa puuteria (Logozzo et al 2008). iTero on mahdollista yhdistää E4D -suunnitteluohjelmistoon ja -jyrsimeen. Ilman näitä digitaalinen jäljennös lähetetään laboratorioon.

Tanskalaisen 3Shapen valmistamien skannereiden kuvanmuutos perustuu sveitsiläiseen metodiin. Järjestelmä on avoin ja valmistaja myy myös suunnitteluohjelmistoja mutta toistaiseksi ei jyrsinyksiköitä.

True Definition on vastaanotto-oraaliskanneri, johon kuuluu skannerin lisäksi keskusyksikkö ja näyttö. Laite esiteltiin vuonna 2008 ja sen toimintaperiaate perustuu minnesotalaiseen järjestelmään.

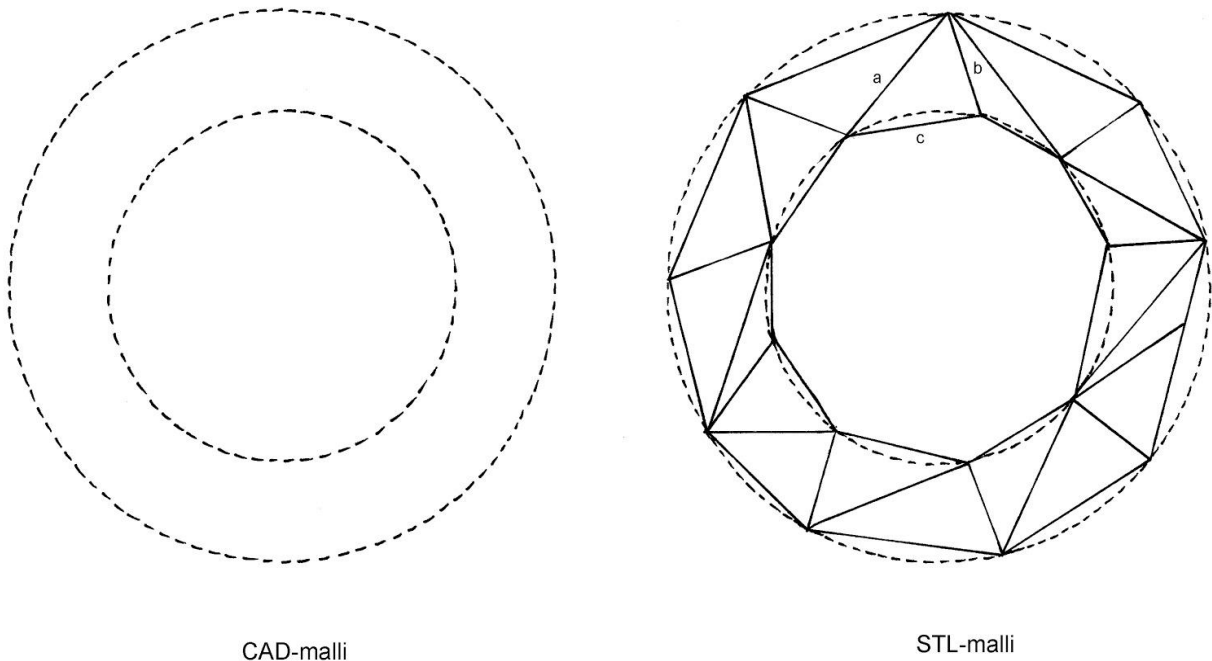
2.2.3. TIEDON KÄSITTELY JA TALLENNUS

Jäljennetystä kudoksesta muodostettu kuva tallennetaan ATK-muotoon hoidon suunnittelua varten. Eri valmistajien laitteet tallentavat kuvat toisistaan poikkeavilla tiedostomuodoilla, mikä tarvittaessa salaa järjestelmän suljetuksi.

3Shapen kuvat tallentuvat Digital Imaging and Communications in Medicine -standardin mukaisesti ja tiedostoilla on .dcm-pääte. CEREC tallentaa tiedostot joko smart/draw template (.sdt), corel draw

template (.cdt) ja interrupt descriptor table (.idt) -muodossa. Lava 3M tallentaa tiedostot cloneCD control file (.ccd2) -muodossa.

Avoimien järjestelmien toimimisen takaamiseksi eri tiedostomuodot tavanomaisesti käännetään Stereolithography (STL) -muotoon. Kun suunniteltu työ on viimeistelty, se siirretään ja käännetään STL -muotoon, ja näin jyräyksikkö pystyy lukemaan tiedoston skannerin ja suunnitteluohjelmiston merkistä riippumatta. STL -tiedossa pinnanmuodot on havainnollistettu kolmioiksi, joiden kärkien sijainti kolmiulotteisessa koordinaatistossa on tallennettu. On mahdollista, että STL -tiedostoksi kääntäminen vähentää työn absoluuttista tarkkuutta.



Kuva 4. Vasemmalla CAD-ohjelmiston tuottama malli tässä tapauksessa yksinkertaistetusti kahdesta sisäkkäin olevasta ympyrästä. Oikealla puolella on STL -tiedostoksi käännetty mallinnos kuvattuna päällekkäin näiden ympyröiden kanssa. Kuva havainnollistaa selkeästi informaatiohäviön.

3. VERTAILU OPTISEN JA PERINTEISEN JÄLJENTÄMISEN VÄLILLÄ

Sekä perinteinen että optinen jäljentäminen ovat yhä kliinisessä käytössä. Seuraavassa kuvataan miten ne eroavat toisistaan käytännössä.

3.1. KLIININEN TEKNIikka

Perinteinen mallintamistekniikka hammaslääkärin vastaanotolla edellyttää useita työvaiheita. Aluksi hammaslääkäri asettaa jäljennösaineen, esimerkiksi alginaatin, jäljennöslusikan avulla jäljennettävään kudokseen. Tämän jälkeen jäljennöksen annetaan kovettua. Yhden ja viiden minuutin välillä vaihteleva kovettumisaika on riippuvainen jäljennösaineen kemiallisista ominaisuuksista ja sekoittamiseen käytetystä tekniikasta. Jäljennösaineen kovettumisen jälkeen on valmistunut negatiivijäljennös. Negatiivijäljennös toimitetaan hammasteknikolle kipsivalosta varten. Jäljennösaineiden aiheuttamat allergiat ovat yleisesti ottaen hyvin harvinaisia, mutta yksittäisiä tapauksia on kirjallisuudessa raportoitu. Useat aineet ovat ihotesteissä osoittautuneet allergisoiviksi (Syed et al 2015). Kliinisessä käytössä potilaiden on raportoitu saaneen erityisesti polyeetterista allergisia oireita (Mittermüller et al 2012). Alginaatin on raportoitu aiheuttaneen jopa kuolettavan anafylaktisen reaktion (Gangemi et al 2009).

Optisessa jäljentämisessä kudokset mallinnetaan digitaaliseen muotoon valonsäteiden avulla, tämän tekniset yksityiskohdat ovat kuvattu aikaisemmin kappaleessa 2. Optinen jäljentäminen. Potilaalle koituvia haittavaikutuksia tai komplikaatioita ei ole optiseen mallintamiseen liittyen raportoitu. Menetelmällä ei tosin voida jäljentää hampaatonta suuta, koska tällä tavalla ei ole mahdollista tallentaa pehmytkudosten liikkuvuuteen liittyvää tietoa.

3.2. TARKKUUS

Jäljennökseltä edellytetään tarkkuutta valmistettaessa proteettista työtä. Jäljennöksen tarkkuus parantaa valmistetun proteettisen rakenteen istuvuutta terveeseen kudokseen ja puretaan.

Perinteisen menetelmän jäljennösaineista polyeetteri, polysulfidi ja A-silikoni ovat brasilialaisessa tutkimuksessa osoittautuneet alginaattia ja muita silikonivalmisteita tarkemmiksi. Tutkimuksessa yhdestä mallista valmistettiin jäljennökset kaikilla valmisteaineilla ja jäljennöksiä verrattiin

alkuperäiseen malliin. Kaikkien tutkittujen materiaalien arvioitiin kuitenkin olevan riittävän tarkkoja kliniseen käyttöön (Faria et al 2007).

Perinteisen ja optisen menetelmän tarkkuutta voidaan verrata tekemällä kudoksesta valu ja mallintamalla sekä kudosta että kipsivalos optisesti digitaalimuotoon. Jos optinen menetelmä olisi epätarkempi, kipsivaloksen ja kudoksen mallinnokset poikkeaisivat toisistaan. Vuonna 2008 julkaistussa tutkimuksessa tällaista eroa ei ole kuitenkaan pystytty osoittamaan (Keating et al 2008).

Vuonna 2016 julkaistussa tutkimuksessa vertailtiin perinteistä jäljennös menetelmää iTero- ja True Definition -laitteistojen mallintamistarkkuuteen. Tulosten perusteella True Definition:n tarkkuus jäi yhtä tarkoksi osoittautuneista iTero:sta ja perinteisestä menetelmästä, mutta tutkimusryhmä ei arvioinut erolla olevan kliinistä merkitystä (Serag et al 2016).

Kliinisestä näkökulmasta mallintamisen tarkkuutta oleellisempaa on lopputuloksena valmistuvan proteettisen työn istuvuus, ja tämä on yhteydessä valmistetun proteettisen työn tarkkuuteen. Digitaalisella jäljentämisellä ja CAD/CAM-laitteistolla valmistettu proteettinen työ on tarkkuudessaan perinteisen menetelmän tasolla (Tidehag et al 2014).

Koko hammaskaaren jäljentämisen tarkkuudesta eri laitteiden välillä ei ole kattavaa tutkimusnäyttöä. Vuonna 2015 julkaistun järjestelmällisen katsauksen perusteella ainoastaan True Definition ja iTero -laitteita on vertailtu keskenään eikä niukka tutkimusnäyttö riitä toistaiseksi johtopäätösten tekemiseen laitteiden paremmuudesta tältä osin (Goracci et al 2015).

3.3. PREPAROINNIN VAATIMUKSET

Preparointi merkitsee kudoksen muokkaamista siten, että siihen voidaan asettaa proteettinen rakenne korvaamaan menetettyä kudosta. Yleisesti perinteisen ja optisen menetelmän välillä preparoinnissa vallitsevat samat lainalaisuudet, materiaaliakohtaisia kestävyyskannalta eriäviä preparointimääriä lukuunottamatta. Perinteisen jäljentämisen menetelmässä sallitaan dentiinialueen pieniä allemenoja, jotka voidaan sementointi- tai kiinnitysvaiheessa täyttää työtä kiinnitettävällä materiaalilla. Vastaavasti optisella jäljentämisellä näitä allemenoja ei joissakin laitteissa saa olla, koska jäljentimen täytyy pystyä kuvantamaan preparoitu kavum

kokonaisuudessaan sisäänsovitus suunnasta. Optisella jäljentämisellä keskeiset vaatimukset liittyvät valmistajakohtaisiin CAD/CAM-laitteiden jyrksyksiköiden teknisiin rajoitteisiin, kuten terien vähimmäishalkaisijaan. Jyrksinten rajoitteet liittyvät esimerkiksi proteettisen työn kulmien terävyyteen ja ulokkeiden vähimmäispaksuuteen.

Esimerkiksi, CEREC:in ja Lava 3M:n laitteet edellyttävät kruunuja valmistettaessa ja asetettaessa 1,0-2,0 millimetrin preparointisyvyyyksiä eri kohdista hammasta. CEREC:in laitteet sallivat yli kolmen asteen terävät kulmat, ja Lava 3M:n yli kahden asteen kulmat.

Lava 3M:n laitteilla on valmistajan mukaan mahdollista määrittää subgingivaalisesti hiontaraja, siinä missä CEREC:in valmistaja ei ota tähän ohjeistuksessaan kantaa. Kliinisten kokemusten nojalla on optista jäljentämistä käytettäessä perusteltua poistaa pehmytkudosta niin, että hiontaraja on nähtävissä. Vastaavasti perinteistä jäljentämistä käytettäessä vastaava terveen kudoksen poistaminen on harvemmin tarpeellista.

3.4. PURENNAN MÄÄRITTELY

Purennan määrittelyn tavoitteena on saada selville hammaskaarten ja vastapurijoiden välinen asema ja suhde. Tämä on oleellista suunniteltaessa proteettisia rakenteita, jotta voidaan välttää interferenssit, häiriökontaktit, vastapurijoiden hammaskaarten välillä.

Perinteisen menetelmän purennan määrittely voidaan esittää tapahtuvan kahdessa työvaiheessa ensin hammaslääkärin vastaanotolla ja tämän jälkeen hammasteknikolla. Ensimmäisessä vaiheessa ala- ja ylähammaskaarelle viedään purennanrekisteröintiainetta, joka voi olla esimerkiksi silikoni- tai vahapohjaista. Valmistuvan purentaindeksin avulla on mahdollista määrittää vastapurijoiden keskinäiset suhteet purennassa. Purennanrekisteröintiaineen asettamisen jälkeen potilas puree leukansa yhteen normaalipurentaan tai avusteisesti nivelasemaan, riippuen valmistettavan työn luonteesta. Jos potilaan normaalipurenta löytyy useammasta eri leuan asennosta, hammaslääkäri voi ohjata leuan asemaan, jossa on eniten kontakteja vastapurijoiden välillä. Purenta voidaan rekisteröidä valittuun alaleuan asentoon, tällöin kyseessä on purennan staattinen rekisteröinti. Joko potilas tai hammaslääkäri liikuttaa alaleuan haluttuun asentoon, ensimmäisessä on kyse aktiivisesta ja jälkimmäisessä passiivisesta rekisteröinnistä.

Vaihtoehtoisesti potilaan alaleuan liike voidaan rekisteröidä, tällöin kyseessä on purenna dynaaminen rekisteröinti. Dynaaminen rekisteröinti voidaan toteuttaa mittaamalla esimerkiksi alaleuan asentoja manuaalisesti tai tietokoneavusteisesti alaetuhampaaseen kiinnitetyn magneetin liikettä magneettivuossa potilaan liikuttaessa alaleukaansa (Yun et al 2010). Purenna rekisteröinti voi edellyttää vielä kasvokaarten käyttöä rekisteröimään leuan liikelaajuuksia. Toisessa vaiheessa, mittausarvot ja jäljennökset toimitetaan teknikolle, joka kiinnittää valetut mallit artikulaattoriin saatujen arvojen mukaisesti. Tämän vaiheen valmistumisen jälkeen on teknikolla käytössä anatomisesti tarkka jäljennös purennasta, jolla voidaan mallintaa mekaanista purentaliikettä. Optisella menetelmällä purenta määritetään aluksi skannaamalla sekä ylä- että alahammaskaari. Tämän jälkeen skannataan hammaskaaret yhteen purtuna (yleensä interkuspaali -asemassa), minkä perusteella selviävät purennassa vastapurijoiden väliset suhteet. E4D-laitteessa purenna rekisteröinti toteutetaan niin, että purenna rekisteröinti -aineella tehty jäljennös trimmataan ja asetetaan työalueen päälle. Tästä skannataan purentatieto, joka yhdistetään CAD-sovelluksessa aiempaan työalueen jäljennökseen jolloin saadaan työn oikea purennallinen korkeus selville. Skannauksen perusteella saadaan purentasuhde siirrettyä digitaaliseen muotoon ja avustamaan tärkeänä lisätietona proteettisen rakenteen suunnittelussa. Nykyaikaiset purenna rekisteröintimenetelmät mahdollistavat purenna dynaamisen mallintamisen kolmiulotteisesti ja purentatiedot voidaan tallentaa eri hoitovaiheiden välillä.

3.5. VÄRINMÄÄRITYS

Proteettisen rakenteen toivottu väri määritetään hammaslääkärin vastaanotolla jäljentämisen yhteydessä. Sen oikea väri on oleellinen esteettisen lopputuloksen kannalta. Perinteisesti klinikko vertaa hampaiden väriä standardoituun skaalaan ja kirjaa toivotun värin laboratorio-lähetteeseen mahdollisine karakterisointineen. Arviointi on aina subjektiivista ja esimerkiksi vastaanoton valaistus saattaa vääristää arviota.

Uusimmat skannerit, kuten 3Shapen Trios Color ja Sironan CEREC Omnicam, jäljentävät myös kudoksen värin. Samanaikaisesti kun skannerit määrittävät kudoksessa lukuisten pisteiden

etäisyyksiä ne myös tavallisen kameran tavoin tallentavat kunkin pisteen värin. Näin hammaslaboratorioon voidaan välittää yksityiskohtaisempaa tietoa.

3.6. TYÖMALLIN VALMISTUS

Työmallilla tarkoitetaan tässä yhteydessä jäljennöstä kudoksesta. Perinteinen jäljentäminen edellyttää fyysisen työmallin valmistamista kudoksesta negatiivijäljennöksen perusteella. Työmallin valmistaa hammasteknikko sekoittamalla kalsiumsulfaattia, eli kipsiä, veteen ja tekemällä seoksesta valun. Valun tulee ennen valmistumistaan kovettua. Yhtäältä, kovettumiseen kuluva aika on kääntäen verrannollinen sekoittamiseen käytetyn veden lämpötilaan, kiteytymis-keskusten määrään, sekoittamisen voimakkuuteen ja seoksen natriumkloridipitoisuuteen. Toisaalta, seoksen korkea veden määrä suhteessa kipsijauheeseen (W/P-suhde) pidentää kovettumisaikaa. Kovettuessaan kipsi laajenee, koska siihen muodostuvat kiteet alkavat vaatia lisää tilaa. Jos jäljennös on valmistettu esimerkiksi silikonista tai polyeetteristä, valun tekemisen ajankohdalle ei ole yksiselitteistä takarajaa ja valu voidaan mahdollisuuksien mukaan tarvittaessa uusida. Jos jäljennös on tehty alginaatista, valu on tehtävä viiden vuorokauden kuluessa ennen kuin jäljennöksen kuivuminen aiheuttaa siihen vääristymiä, lisäksi jäljennös on kertakäyttöinen.

Vastaavasti, optisessa jäljentämisessä työmalli on lähtökohtaisesti ATK-pohjainen ja voidaan tarvittaessa siirtää valonnopeudella jopa mantereelta toiselle.

Optisella jäljennösmenetelmällä ei varsinaista fyysistä mallia tarvitse valmistaa. Jäljennöstä käsitellään CAD/CAM -laitteistolla vastaanotolla tai se voidaan lähettää hammasteknikolle, mikäli laboratoriossa on tämän käsittelyyn sopiva laitteisto. Teknikko valmistaa työn rungon tai välivaiheen tämän tiedoston perusteella. Menetelmän selkeänä etuna on ajansäästö ja kuljetuskustannukset.

Fyysisen työmallin valmistamisen teknisenä haasteena ovat mahdolliset valuvirheet, kuten ilmakuplat. Lukuisiin työvaiheisiin liittyy kertaantuva virheen riski. Käytännön haasteena ovat hammaslääkärin ja teknikon aikataulujen yhteensovittaminen sekä jäljennöksen fyysinen kuljettaminen yksiköiden välillä.

4. TULEVAISUUDEN KEHITYSNÄKYMÄ

Optinen jäljentäminen perustuu tällä hetkellä näkyvän valon käyttöön. Tämä ei kuitenkaan läpäise kudoksia. Jos optisen jäljentämisen voisi integroida ultraäänitekniikkaan, olisi mahdollista jäljentää pehmytkudokset kovakudosten ohella. Toisaalta optisen jäljentämisen yhdistäminen magneetti- tai tietokonetomografiakuvantamiseen mahdollistaisi myös syvempien luisten rakenteiden mallintamisen. Kudoksen läpäisevään kuvantamis-tekniikkaan yhdistettynä optinen jäljentäminen voisi toimia diagnostisena instrumenttina (Benic et al 2015).

Nykyiset CAD/CAM -laitteet valmistavat proteettiset työt jyrsimällä. Vaihtoehtoisia menetelmiä materiaalien työstämiseen kehitetään. Kolmiulotteinen tulostaminen (3D-tulostaminen) merkitsee esineiden valmistamista kerroksittain sähköisen mallin perusteella. Menetelmän soveltamista hammaslääketieteessä tutkitaan (Ishida et Miyasaka 2016, Brunello et al 2016) ja esimerkiksi keväällä 2016 markkinoille tullut Planmegan Creo edustaa hammaslääketieteen yhtä osaa tässä teknologiassa. Laitteella pystyy valmistamaan esimerkiksi purentakiskoja ja kirurgisia ohjauskiskoja. Materiaalivalikoima rajoittuu toistaiseksi valokovetteiseen resiniin ja yleisesti polymeereihin. Tämän vuoksi ainakaan tällä hetkellä ei ole mahdollista 3D-tulostaa mitään purentakiskoa pidempiaikaisempaa työtä potilaan käyttöön.

Suomen terveydenhuoltojärjestelmä on yksi Euroopan hajautetuimmista (Vuorenkoski 2008) ja tätä ollaan uudistamassa keskittämällä järjestämisvastuuta kunnilta isompiin yksiköihin (www.alueuudistus.fi). Tämä vaikuttanee myös suun terveydenhuoltoon. Keskittämisen myötä ilmaantuu myös tarve yhtenäisille ATK- ja potilastietojärjestelmille. Optinen jäljentäminen mahdollistaisi esimerkiksi koko väestön hampaiston tallentamisen terveydenhuollon yhteiseen tietokantaan. Tämä muun muassa helpottaisi erikoishammaslääkäreiden konsultointia ja mahdollistaisi rajoitetusti etädiagnostiikan. Keskitetty tietokanta väestön hampaiston värillisistä ja kolmiulotteisista malleista helpottaisi myös oikeushammaslääkäreiden työtä ja parantaisi näin kansalaisten oikeusturvaa. Sähköisen potilastietojärjestelmän haaste on toisaalta myöskin tietoturvan takaaminen, niin urkintaa kuin tiedostojen korruptointia vastaan.

Mallintamislaitteiston hankinnasta koituu kustannuksia. Niiden avulla kuitenkin olisi saavutettavissa säästöjä, joita perinteisiin menetelmiin liittyvä pidempään kestävä hoito ja jäljennösaineet aiheuttavat. Erilaisten jäljentämismenetelmien kustannuksista ei kuitenkaan ole tehty vertaisarvioitua terveystaloustieteellistä tutkimusta, jossa otettaisiin huomioon optisten laitteistojen elinkaaren huolto ja sisäisen koron vaikutus. Esimerkiksi Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin sekä Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin vuosien 2015 ja 2016 kuntalaskutuksessa (DRG -laskutus) optisen ja perinteisen jäljentämisen kustannuseroa ei ole tuotteiden perusteella havainnollistettavissa. Riippumaton arvio voisi selkeyttää hammaslääkäriasemien laitteistohankintoihin liittyvää päätöksentekoa. Tieto olisi arvokasta myös julkisen sektorin toimijoille, joille ennakoidaan kohdistuvan lisääntyviä kustannuspaineita.

5. POHDINTA

Viimeisten vuosikymmenten aikana yleistynyt optinen jäljentäminen vääjäämättä osin muuttaa hammaslääkäriin kliinistä työtä ja yksinkertaistaa hoitoprosesseja hoitoketjun ja potilaan näkökulmasta.

Erilaisia teknisesti toisistaan poikkeavia optisia jäljennösmenetelmiä on markkinoilla lukuisia. Kliinisestä näkökulmasta oleellinen ero laitteistojen välillä on pystyvätkö ne jyrsimään proteettisen työn vastaanoton yhteydessä vai toimitetaanko jäljennös hammaslaboratorioon. Menetelmän yleistymistä rajoittavat ensisijaisesti laitteistojen korkeat hankintakustannukset. Vaikka optisten menetelmien hyödyntämisen suorista kustannuksista ei ole toistaiseksi julkaistu vertaisarvioituja terveystaloustieteellisiä tutkimuksia, nopeutunut hoito vähentää hampaiden sairauksista koituvaa inhimillistä kuormitusta.

Optinen jäljentäminen on potilaalle miellyttävämpää ja edellyttää hammaslääkäriltä ja – teknilta vähemmän työvaiheita. Perinteistä menetelmää ei kuitenkaan vielä voida kokonaan sivuuttaa, koska vain sitä voidaan käyttää hampaattoman suun jäljentämiseen. Myös pitkien jännevälien rakenteiden jäljentämisessä on kliinisen kokemuksen perusteella havaittu syntyvän virheitä jäljennöstiedostoon. Ilmeisesti kovakudospintoja tulee olla riittävän tiheässä, jotta skannerin lukema tieto säilyy vääristymättömänä pitkää jäljennöstä tehdessä. Mahdollisen järjestelmällisen

virheen suuruutta ei ole tutkimuksissa toistaiseksi raportoitu. Tällainen tutkimusasetelma on haastavampi kuin yksittäisten hampaiden jäljennöstarkkuuden analysointi. Yleisesti ottaen sekä perinteinen että optinen ovat riittävän tarkkoja menetelmiä kliiniseen käyttöön.

CAD/CAM:n tekninen tarkkuus on mikrometrin luokkaa ja proteettiset työt ovat yleisesti ottaen tasalaatuisempia kuin perinteisellä menetelmällä, koska eri teknikoiden työn laadussa on vaihtelua keskenään. Hoidon vaikutuksia kartoittavien tutkimusten näkökulmasta optisten järjestelmien soveltaminen vähentää vaihtelua, joka liittyy inhimillisiin tekijöihin.

6. LÄHTEET

Al-Jubouri O, Azari A. An introduction to dental digitizers in dentistry; systematic review. J. Chem. Pharm. Res., 2015, 7(8):10-20

Benic GI, Elmasry M, Hämmerle CH. Novel digital imaging techniques to assess the outcome in oral rehabilitation with dental implants: a narrative review. Clin. Oral Implants Res. 2015 Sep;26 Suppl 11:86-96

Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J. 2008 May 10;204(9):505-11

Birnbaum NS, Aaronson HB, Stevens C, Cohen B. 3D Digital scanners: A high-tech approach to more accurate dental impressions. Inside Dentistry Apr. 2009. Vol.5 #4

(<https://www.dentalaegis.com/id/2009/04/3-dimensional-digital-scanners-a-high-tech-approach-to-more-accurate-dental-impressions>)

Brunello G, Sivoiella S, Meneghello R, Ferroni L, Gardin C, Piattelli A, Zavan B, Bressan E. Powder-based 3D printing for bone tissue engineering. Biotechnol Adv. 2016 Apr 13 Sep-Oct;34(5):740-53

Faria A, Rodrigues R, Macedo A, de Mattos M, Ribeiro R. Accuracy of stone casts obtained by different impression materials. Braz Oral Res 2008;22(4):293-8

Fleming P.S. Marinho V. and Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. Orthod. Craniofac. Res. 2011;14,:1–16

Gangemi S, Spagnolo EV, Cardia G, Minciullo PL. Fatal anaphylactic shock due to a dental impression material. *Int J Prosthodont.* 2009 Jan-Feb;22(1):33-4

Goracci C, Franchi L, Vichi A, Ferrari M. Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full-arch impressions: a systematic review of the clinical evidence. *Eur J Orthod.* 2015 Aug;38(4):422-8

Ishida Y, Miyasaka T. Dimensional accuracy of dental casting patterns created by 3D printers. *Dent Mater J.* 2016;35(2):250-6

Kaur, Gurleen, Jain Priyanka, Uppal, Mudit, Sikka, Rohan, Alginate Impression Material: From then till now. *Heal Talk Nov-Dec 2012 Vol.5 #2*

Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. *J Orthod.* 2008 Sep;35(3):191-201

Logozzo S, Franceschini G, Kilpelä A, Caponi M, Governi L, Blois L. A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. *The Internet J Med Tech.* 2008 Vol.5 #1

Mitchem C. Why digital impressions? Accuracy and productivity. *Dentalcompare.* Feb, 2009 (<http://www.dentalcompare.com/Featured-Articles/2190-Why-Digital-Impressions-Accuracy-and-Productivity/>)

Mittermüller P, Szeimies RM, Landthaler M, Schmalz G. A rare allergy to a polyether dental impression material. *Clin Oral Investig.* 2012 Aug;16(4):1111-6

Mörmann WH. The evolution of the CEREC system. J Am Dent Assoc. 2006 Sep;137 Suppl:7S-13S

Mörmann WH. CAD/CIM in Aesthetic Dentistry, CEREC 10 Year Anniversary Symposium, 1996, Quintessence Books

Nayar S, Mahadevan R. A Paradigm shift in the concept for making dental impressions. J Pharm Bioallied Sci. 2015 Apr;7(Suppl 1):S213-5

Serag M, Nassar TA, Avondoglio D, Weiner S. A Comparative Study of the Accuracy of Dies Made from Digital Intraoral Scanning vs. Elastic Impressions: An In Vitro Study. [journal on the Internet] J Prosthodont. 2016 May;5:1-6. doi:10.1111/jopr.12481 [Epub ahead of print]

Stein JM. Stand-Alone Scanning Systems Simplify Intraoral Digital Impressioning. Compend Contin Educ Dent. 2011 Nov-Dec;32 Spec No 4:56, 58-9

Syed M, Chopra R, Sachdev V. Allergic Reactions to Dental Materials - A Systematic Review. J Clin Diagn Res. 2015 Oct;9(10):ZE04-9

Tidehag P, Ottosson K, Sjögren G. Accuracy of ceramic restorations made using an in-office optical scanning technique: an in vitro study. Oper Dent. 2014 May-Jun;39(3):308-16

Yun K, Rugh JD, Radke J. Accuracy and Linearity of the JT-3D Jaw tracker. Conference Paper, March 2010

Vuorenkoski L, Mladovsky P and Mossialos E. Finland: Health system review. Health Systems in Transition. 2008;10(4):1-168

Zimbro MJ, Power DA, Miller SM, Wilson GE, Johnson JA.(eds.). Difco & BBL Manual (PDF) (2nd ed.). 2009 Becton Dickinson and Company