



Digitaalitekniikka tutuksi, osa 2/2: Markkinoilla olevat suuskannerit ja niiden hyödyntäminen oikomishoidossa



Hyväksytty julkaistavaksi 17.1.2022.



Lähtökohdat

Suuskannereita alettiin hyödyntää oikomishoidossa vuosituhaten vaihteessa, ja nykyään skannerien markkinat kasvavat jatkuvasti sitä mukaa, kun kalvo-oikominen yleistyy. Artikkelissa käsitellään suuskannerien toimintaperiaatteita ja käyttömahdollisuuksia ortodontiassa sekä vertaillaan niitä perinteisiin jäljentämismenetelmiin. Lisäksi luodaan katsaus skannauksen kehitykseen ja tämänhetkisiin markkinoihin.

Menetelmät

Tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisuuskatsausta. Aihetta käsitteleviä tuoreita artikkeleita etsittiin PubMed- ja Scopus-tietokannoista.

Tulokset ja johtopäätökset

Markkinoilla olevat skannerit hyödyntävät hyvin monenlaisia teknologioita. Suuskannerien tarkkuudessa on eroavaisuuksia: eräät skannerit tuottavat tarkempia digitaalisia jäljennöksiä kuin muut. Eroista huolimatta skannerien on osoitettu olevan kliinisesti riittävän tarkkoja, mutta niiden hinnat ovat vielä korkeita. Monissa tutkimuksissa on todettu, että opetteluvaiheen jälkeen työn tehokkuus ja potilastyytyväisyys ovat skannerilla työskennellessä merkittävästi paremmat kuin perinteisiä jäljennös- ja jäljentämismenetelmiä käytettäessä. Hammaslääkärin työhön kuuluu jatkuva oman ammattitaidon kehittäminen. Uusi oikojasukupolvi on edellistä valmiimpi hyödyntämään digitaalisia laitteita, ja kynnys niiden käyttöönottoon madaltuu arkisen viestintäteknologian yleisyydessä.

Suuskannerien hyödyntäminen oikomishoidossa

Valtteri Anttila, Tuomo Heikkinen, Ville Vuollo

Hammaslääketieteessä 3D-teknologia on saanut runsaasti huomiota, ja suuskannereita on hyödynnetty alalla jo lähes neljäkymmenen vuoden ajan (1). Aluksi, 1980-luvun loppupuolella, suuskannereita kehitettiin lähinnä protetiikan tarpeisiin. Tuolloin useat valmistajat toivat markkinoille hammaslääketieteellisiä kuvantamislaitteita (2). Suurimmat kehitysaskleet CAD/CAM-teknologia ottikin 1980-luvulla (3). Teknologian kehitystyössä oli mukana useita henkilöitä, joista mainittakoon kolme pioneeria: Sopha-systeemin kehittänyt ranskalainen **François Duret**, CEREC-laitteiston luonut sveitsiläinen **Werner Moermann** sekä Procera-tuotantokeskusmallin ideoinut ruotsalainen **Matts Andersson**.

CAD/CAM-teknologia koostuu kolmesta osa-alueesta: 1. tiedon hankinta ja digitalisointi, 2. tiedon prosessointi ja suunnittelu sekä 3. tuotteen valmistaminen. Suuskannereita käytetään en-

simmäisessä vaiheessa. Skannerit keräävät tietoa, jonka avulla kuvattavasta alueesta luodaan digitaalinen jäljennös. Viime vuosikymmenen aikana markkinoille on tullut kiihtyvällä tahdilla uusia intraoraaliskannereita, jotka perustuvat keskenään erilaisiin teknologioihin (4).

Tarkkuus on intraoraaliskannerien tärkein ominaisuus (5). Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että suuskannerien tarkkuus on kliinisesti hyväksyttävällä tasolla (6–10).

Suuskannerilla kuvannetaan ja tallennetaan tarkasti suun kolmiulotteinen (3D) geometria (4). Skanneriin kuuluvat liikuteltava käsikappale ja sen sisällä oleva kamera, joka on yhdistetty tietokoneeseen (1). Tietokoneella olevan ohjelmiston avulla skannerilla kuvattua alueesta tuotetaan digitaalinen malli. Ohjelmisto voi olla ladattuna tietokoneelle tai hoitokoneelle, johon skanneri yhdistetään USB-kaapelilla. Skanneri saattaa myös kuulua kiinteänä osana laitevalmistajan vaunuun,

jossa tietokone ja ohjelmisto ovat sisäänrakennettuina. Skannerit eroavat toisistaan teknologioidensa, käytettävien tiedostomuotojen ja ohjelmistojen osalta. Ne ovat erilaisia myös kooltaan, mittasuhteiltaan sekä käyttömahdollisuuksiltaan (11).

Suuskannerien teknologia

Suuskannereissa hyödynnetään useita eri teknologioita (1). Esimerkiksi 'confocal laser scanner microscopy'-tekniikan perusperiaate kehitettiin jo 1950-luvulla. Modernia versiota tästä kuvantamismenetelmästä hyödynnetään suuskannereissa edelleen, ja se tuottaa kliinisesti hyväksyttäviä jäljennöksiä (1, 11). Uusia 3D-kuvantamisen teknologioita hyödyntäviä skannereita tulee markkinoille jatkuvasti.

Ensimmäinen digitaalinen jäljennös-laite, joka tuotti 3D-dataa hampaistosta, oli vuonna 1987 markkinoille tullut CEREC 1 (Siemens) (1). Laite hyödynsi infrapunakameraa ja optista jauhetta hampaan pinnalla luodakseen virtuaalisen mallin. Nykyään mallin tuottamiseen ei enää käytetä jauheita.

Digitaalisia jäljennöksiä tuotetaan usealla eri teknologialla, mutta ne kaikki hyödyntävät osittain samoja peruspilareita, kuten kameroita, linsejä, valonlähteitä ja laskennallisen geometrian algoritmeja. Tietokoneohjelmisto käsittelee kameran tallentamat kuvat tai videot, joista se muodostaa pisteille koordinaatit digitaaliseen jäljennökseen (4). Aktiiviset skannausteknologiat käyttävät kuvantamiseen kamerasta lähtevää valoa, kun taas passiiviset teknologiat hyödyntävät ympäristön valoa.

Skannauksen lopputuloksena on 3D-pintamalli, joka koostuu lukuisista pisteistä ja näitä yhdistävistä kolmioista kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Tuotettu 3D-data tallennetaan tietokoneelle esimerkiksi avoimena tai suljetuna STL (Standard Tessellation Language) - tai PLY (Polygon File Format) -tiedostona (1, 4). Avoin STL on tekninen standardimuoto ja hammaslääketieteessä jo laajalti käytössä. Useimpien laitevalmistajien ohjelmistot tuke-



Kuva 1. Skannaustilanne.

vat kyseistä tiedostomuotoa, ja sen voi jakaa ulkopuolisille palveluntuottajille. PLY-tiedostomuotoa käytetään, kun tarvitaan väriin tai läpikuultavuuteen liittyvää informaatiota. Tiedoston sisältämän, kolmioiden muodostaman verkon tiheyden ei pidä olla liian suuri, jotta tiedostokoko ei kasva liikaa, laskenta-aika pitene eikä työskentely hidastu (4). Skannaustekniikoiden suurten eroavuuksien takia voi olla on-

gelmallista toimia sellaisten laboratoriodien kanssa, joiden tuotantoprosessit eivät tue oman skannerin tuottamaa tiedostotyyppiä.

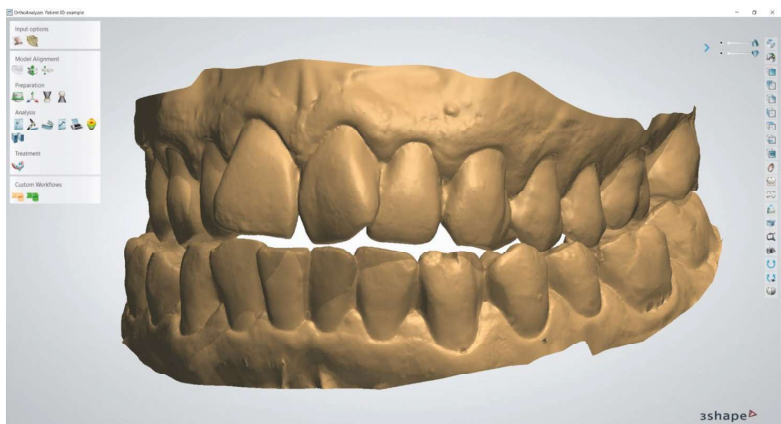
Skannausteknologioita

Accordion Fringe Interferometry (AFI)

AFI-tekniikka perustuu lasersäteiden interferenssiin (10). Objektia valaistetaan kahdella laserilla, joiden juovasppektrit interferoivat. Skanneri lähettää eripaksuisia lasersäteitä kuvattavaan alueeseen, josta ne heijastuvat vääristyneinä laitteen sensoriin. Nämä vääristymät kuvataan HD-videokameralla, ja koordinaatit tallennetaan (13). Skannausohjelman algoritmit yhdistävät tiedon lasersäteiden tulokulmista valmiina olevaan tietoon kameran ja laserlähteen välisistä geometrioista, ja näin luodaan digitaalinen malli kohteen pinnanmuodoista. Tätä tekniikkaa hyödyntävät muun muassa Lythos Ormco- ja Dimensional Photonics International DPI-3D-skannerit. AFI-tekniikan etuna on reuna-alueiden ja kiiltävien pintojen kuvantamisen tarkkuus (10).

Active Wavefront Sampling (AWS)

Tässä tekniikassa kolmiulotteisen mallin luomiseen käytetään yhtä ka-



Kuva 2. Digitaalinen malli hampaistosta OrthoAnalyzer-ohjelmassa.



Taulukko 1. Markkinoilla olevia ortodontiaan soveltuvia intraoraaliskannereita ja niiden ominaisuuksia (12, 15).

Valmistaja	3M Espe	3Shape	Align technology	Planmeca	Sirona	Carestream	Dentalwings
IOS	True Definition Scanner	TRIOS 3	iTero Element	Emerald	Cerec Omnicam	CS 3600	DWIO
Jauhe	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Väri (ohjelmistossa)	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei
Liitettävyyss	Kosketusnäyttölinen vaunuyksikkö	Kosketusnäyttölinen vaunuyksikkö / USB-kaapelilla tietokoneeseen / liitettynä hoitoyksikköön	Kosketusnäyttölinen vaunu / Kosketusnäyttölinen pöytäyksikkö	USB-kaapelilla tietokoneeseen / integroituna hoitoyksikköön	Vaunuyksikkö / pöytäyksikkö	USB-kaapelilla tietokoneeseen / integroituna hoitoyksikköön	Kosketusnäyttölinen vaunuyksikkö
Tiedostomuoto	Avoin STL	Suljettu systeemi	Avoin STL	Avoin STL / PLY	Suljettu (Cerec Connect)	Avoin STL / PLY	Avoin STL
Teknologia	Wavefront Sampling (passive triangulation)	Confocal laser -teknologia	Confocal microscopy	Triangulation	Optical triangulation / confocal microscopy	Triangulation	Multiscan imaging (10 kameraa ja 5 projektori)
Ortodontian ohjelmisto	Hoitosuunnitelma ja kokesuunnittelu: 3M Unitek Treatment Management (Incognito) ja Align Technology ClinCheck (Invisalign)	Hoitosuunnitelma: 3Shape Ortho Analyzer Kokesuunnittelu: 3Shape Appliance Designer	Hoitosuunnitelma ja kokesuunnittelu: ClinCheck (Invisalign) ja Align OrthoCAD sekä SureSmile ja 3M Incognito	Hoitosuunnitelma ja kokesuunnittelu: Romexis Ortho Studio	Hoitosuunnitelma ja kokesuunnittelu: Special Cerec Ortho ja Align Technology ClinCheck (Invisalign)	Hoitosuunnitelma: CS Model	Hoitosuunnitelma: DWOS Orthodontic

meraa ja pyörivää AWS-moduulia, joka sisältää pyörivän, valoa läpäisevän apertuurin sekä linssin (10). Pyörivä apertuuri antaa mahdollisuuden ottaa yhdellä kameralla kuvia useista eri kuvakulmista. Tämä parantaa mittauksen sensitiivisyyttä. AWS-teknologia pienentää laitteen hintaa, sillä laite ei vaadi kalliita laservaloja eikä useita kameroita tuottaakseen 3D-mallin. Tekniikka on käytössä mm. 3M Espe Lava C.O.S.- ja 3M Espe True Definition -skannereissa.

Active triangulation

Tekniikka perustuu kolmiomittaukseen (10). Se on käytössä muun muassa Planmeca Emerald- ja Carestream CS3500 -suuskannereissa (5). Laite lähettää laservaloa peilin kautta kuvattavaan kohteeseen, josta se heijastuu linssin kautta kameraan (10). Tämä kokonaisuus muodostaa kolmion, jonka perusteella skanneri tuottaa kuvatulle

pisteelle 3D-koordinaatit trigonometrisellä laskutoimituksella.

Confocal laser scanner microscopy (CLSM)

Tekniikan peruseriaatteen kehitti jo vuonna 1957 **Marvin Minsky** (1). Se on kehittynyt vuosikymmenten aikana, ja nykyään sen moderni versio on käytössä muun muassa Cadent LTD iTero - ja 3Shape Trios3 -suuskannereissa (1, 11). Tekniikka perustuu peräkkäisten tarkkojen ja epätarkkojen kuvien keräämiseen valituilta etäisyyksiltä (4, 10). Vain skannerin objektiivinlinssin polttopisteen kautta kulkevat lasersäteet pääsevät apertuurin läpi vastaanottimelle. Vastaanotettujen säteiden intensiteetit rekisteröidään, muutetaan elektroniseen muotoon ja tallennetaan tietokoneelle. Vastaanotin päättelee etäisyyden kohteeseen havaitsemalla kuvista tarkennetut kohdat, ja tämän informaation perusteella laskennalliset

algoritmit tuottavat 3D-koordinaatit digitaaliselle rekonstruktiolle.

Optical Coherence Topography (OCT)

OCT-teknikkaan perustuva skanneri toimii samalla periaatteella kuin ultraäänilaitte, mutta tässä käytetään äänen sijasta valoa (1). Kuvan luominen perustuu interferometriaan: etäisyyttä ja muotoja koskevaa informaatiota saadaan takaisin heijastuneen valon aallonpituuksista. Tekniikka on käytössä muun muassa D4D Technologies E4D -skannerissa.

Passive triangulation

Aktiivisen ja passiivisen kolmiomittausmenetelmän erona on, että aktiivisessa menetelmässä laite emittoi valoa kuvattavaan kohteeseen, kun taas passiivinen kolmiomittaus hyödyntää ympäristön valoa. Passiivisessa kolmiomittauksessa kohdetta kuvataan kahdella kameralla eri perspektiivistä (4, 10). Kun kame-

roiden sijainti ja kulmat ovat tiedossa, voidaan tietyille pisteille tuottaa algoritmisen analyysin avulla koordinaatit. Koska valonlähteenä toimii ympäristön valo, voi kuvaustulos jäädä huonossa valaistuksessa heikoksi. Tämä tekniikka on käytössä 3M Espe True Definition -suuskannerissa (11).

Suuskannerien hyödyntäminen ortodontiassa

Vasta vuosituhannen vaihteessa suuskannereita alettiin hyödyntää myös ortodontiassa (1). Tämä johtui siitä, että vasta tuolloin skannausmenetelmien tarkkuus alkoi olla riittävän hyvä koko leuan skannausten tarpeisiin.

Ortodontiassa suuskannerin tuottaman digitaalisen jäljennöksen avulla voidaan luoda työmalleja ja valmistaa oikomiskojeita (1). Lisäksi skannauksen perusteella voidaan tehdä ortodonttista diagnostiikkaa ja hoidon suunnittelua. Joitakin skannerityyppejä käytettäessä laajojen alueiden digitaalinen jäljentäminen on edelleen ongelmallista, ja tämä onkin akuutti kehityskohde nykyisissäkin laitteissa. Kokeneet proteetikot suosivat edelleen perinteistä jäljennöstekniikkaa esimerkiksi suunnittellessaan pitkiä siltarakenteita, ja skannerien avulla tehdään usein vain yksittäiset kruunut tai lyhyet sillat. Yksi ensimmäisistä ortodontian tarpeisiin soveltuvista skannausohjelmistoista oli vuonna 1999 markkinoille saapunut OrthoCad, jonka esiteli Cadent. Nykyään markkinoilla on useita kymmeniä ortodontiaan soveltuvia suuskannereita ja ohjelmistoja (1, 11).

Perinteisillä kipsimalleilla on pitkä historia diagnostisena materiaalina ortodontiassa (14). Hyvälaatuisten ja oikealla tavalla käsiteltyjen alginaattijäljennösten avulla valmistettujen kipsimallien perusteella saadaan riittävän tarkka kolmiulotteinen kuva potilaan hampaistosta, hampaiden morfologiasta ja asennoista sekä ympäröivästä alveoliluusta. Perinteisten parentajäljennösten perusteella valmistetut, yhteen parihiotut ylä- ja alaleuan kipsi-

mallit ovat oikomishoidossa purennan dokumentaation ”kultainen standardi” – panoraamatomografia- ja lateraaliröntgenkuvien ohella.

Suuskannerien valmistajilta tuntuvat usein unohtuvan ortodontian vaatimukset. Ongelmia ilmenee erityisesti hampaiden apikaalialueiden muotojen hahmottamisessa, sillä skanneri ei kykene toistamaan liikkuvan limakalvon alla olevien kudosten muotoa kompressiojäljennöksen tapaan. Kipsimallien ongelmina taas ovat muun muassa niiden vaatima säilytystila, kipsin mahdollinen halkeaminen ja haurastuminen, mallien paino sekä pölytyminen säilytyksen aikana (1).

Digitaalinen tallennusmuoto tarjoaa ortodonteille mahdollisuuden arvioida kokonaisuutta sagittaali-, vertikaaliseksi ja horisontaalitasoissa tietokoneen kuvaruudulta lähes todellisuutta vastaavassa muodossa (14). Ortodontian ohjelmistojen avulla muun muassa mitataan hammaskaarten leveyttä ja pituutta, jaotellaan hampaita, arvioidaan purentaa sekä tunnistetaan tiettyjä maamerkkipisteitä (1).

Tällä hetkellä ortodonttisia malleja voidaan tuottaa digitaaliseen muotoon eri menetelmillä (14). Suuskannereilla digitaalinen malli voidaan skannata suoraan potilaan suusta. Digitaalinen malli on mahdollista tuottaa myös jäljennöksistä ja jo valetuista kipsimalleista suuskannerilla tai pöytämallisella skannerilla (1). Näiden ohella kartiokeilatietokonetomografialla (KKTT) (engl. cone beam computer tomography, CBCT) voidaan tuottaa digitaalinen malli. KKTT-laitteen avulla hampaiston digitaalinen jäljennös on mahdollista myös integroida koko pään alueen rakenteista luotuu malliin (20).

CAD/CAM-teknologialla voidaan tuottaa fyysisiä alku-, väli- ja loppumalleja sekä oikomiskojeita (1). 3D-tulostuksesta on kehittynyt perinteisten tuotantotapojen kilpailija, sillä se on kilpailukykyinen luotettavuuden, nopeuden, hintojen ja käyttökustannusten osalta.

Tarkkuus

Suuskannerin tärkein ominaisuus on sen tarkkuus (5). Digitaalisen jäljennöksen tulisi toistaa kaikki yksityiskohdat ja edustaa kuvattavaa kohteesta mahdollisimman todenmukaisesti. Skannausmekanismien vaikutuksesta jäljennöksen laatuun on vain vähän tutkimustietoa. Yleisesti hyväksytty kliininen mittaus tarkkuus ortodontiassa on 0,1 mm (1). Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että skannerien tarkkuus ja luotettavuus on erinomainen ja että niillä tuotetut jäljennökset ovat kliinisesti riittävän hyviä (1, 6, 8). Skannerien välillä on kuitenkin osoitettu olevan tarkkuuseroja (15–19). Erot korostuvat etenkin pidemmissä skannauksissa, kuten koko hammaskaaren kattavissa jäljennöksissä (15). Erojen on kuitenkin todettu olevan kliinisesti merkityksellisiä (6).

Skannausreitillä voidaan vaikuttaa digitaalisen jäljennöksen tarkkuuteen (4). Laitevalmistajilla on käyttöoppaita, joissa kerrotaan, kuinka kuvaus tulee tehdä. Kuvausliikkeen pitää olla tasainen, ja skannerin etäisyys hampaaseen tulee säilyttää vakaana. Skannerista ja teknologiasta riippuen kameraa tulisi pitää 5–30 mm:n etäisyydellä kuvattavasta kohteesta. Yksi skannausreitti on lineaarinen liike okklusaali-, palatinaali-/linguaali- ja bukkaalipinnoilla. Toinen skannaus tapa on niin sanottu s-pyyhintä, jossa edetään hampas kerrollaan vestibulaari-, okklusaali- ja linguaalipinnoilla. Liian nopea tai nivä liike voi johtaa siihen, ettei ohjelmisto pysty seuramaan skannausa. Erilaiset algoritmit kuitenkin mahdollistavat skannauksen jatkumisen jo skannatuilta pinnoilta, kun skanneri palautetaan aiemmin kuvatulle alueelle. Tuotettavan digitaalisen jäljennöksen tarkkuuteen voivat vaikuttaa myös kuvantamisen aikana tapahtuneet kudosten liikkeet: muun muassa kieli tai posket voivat aiheuttaa virheen malliin. Samoin sylki ja veri voivat vääristää kuvaa (4). Tämän takia skannaus tulisi aina tarkistaa ja tarvittaessa uusaa.



Perinteisten menetelmien vertailu 3D-teknologiaan

3D-kuvantamisen edut

Vastaanottojen varastojen ja mallikaappien täyttyessä kipsimalleista on suuri etu, että suuskannereilla tuotetut digitaaliset jäljennökset tallennetaan pilvipalveluun tai kovalevyille (1). Sähköinen tallentaminen helpottaa oikomishoidon kokonaisuuden hallinnointia.

Potilaat kokevat jäljentämisen suuskannerilla merkittävästi vähemmän epämiellyttäväksi verrattuna alginaattijäljentämiseen (5). Erityisesti lapset sekä herkin yökkäysrefleksin omaavat potilaat arvostavat optista kuvantamista. Potilastyytyväisyyttä selittäviä tekijöitä ovat jäljentämisen mukavuus, tehokas ajankäyttö sekä kameran hyvä ulottuvuus (10).

Skannereilla työskenneltäessä työ on tehokkaampaa kuin perinteisiä menetelmiä käytettäessä; se muun muassa vie vähemmän aikaa (5). Parhaimmillaan suuskanneri jäljentää hampaskaaret kokonaisuudessaan alle kolmessa minuutissa. Merkittävin ajansäästö syntyy kuitenkin jäljentämisen jälkeen. Kipsimallien valamisen sijaan jäljennöstä voidaan tarkastella tietokoneen näytöltä välittömästi. Lisäksi digitaalinen jäljennös lähetetään hammaslaboratorioon sähköisesti, eikä jäljennösten kuljetukseen kulu aikaa tai rahaa. Jäljennöksen epäonnistuneesta tallennetun tiedoston voi poistaa ja ottaa uuden. Kommunikaatio laboratorion ja potilaan kanssa paranee, ja potilaan hoitomotiivaatio voi lisääntyä, kun tuotosta voidaan tarkastella tietokoneen näytöltä heti skannauksen jälkeen.

3D-kuvantamisen haitat

Laajojen alueiden, kuten koko hammaskaaren, jäljentämisessä perinteiset menetelmät ovat osoittautuneet digitaalista skannausta tarkemmiksi (15, 18). Lisäksi alveoliharjanteiden muotojen kuvantaminen on suuskannereilla haastavaa. Kompressiojäljennöksellä alveoliluun sekä juuren-

Intraoral scanners in orthodontics

The purpose of this article is to introduce developments, operating principles, and applications of intraoral 3D scanners in orthodontics. This article also creates an overview on the current scanner market.

The basic principle of an intraoral scanner is to visualize three-dimensional (3D) geometry of the mouth and make an accurate digital model out of it. Scanning results appear as projection matrixes, consisting of multiple triangles with 3D coordinates. Software downloaded to a computer then creates the digital model. In orthodontics, the model is finally used to make a diagnosis and treatment plan. Study models and orthodontic appliances are manufactured on the surface of digital models.

Intraoral scanners on the market use many different technologies to produce

digital models. Depending on the technology used, scanners partially consist of the same basic components; cameras, lenses, light sources, and computational geometry algorithms.

The most important feature of an intraoral scanner is its accuracy. There are differences in accuracies between scanners. Despite the differences, the accuracies are already clinically acceptable. According to many studies, intraoral scanners improve the working efficiency and patient comfort.

The professional competence of the dentist should increase through constant learning. New generations of orthodontists are generally well prepared to utilize digital devices.

pintojen muodot tulevat paremmin esiin.

Skannerien hankinta- ja huoltokustannukset ovat korkeat (5). Hankintahinnat ovat nykyään 15 000–30 000 euroa riippuen mallista. Voidaan kuitenkin olettaa, että markkinoiden kasvua seuraa hintojen lasku. Kustannuslaskelmissa on hyvä huomioida myös skannerin ylläpitokustannukset, jotka koostuvat muun muassa ohjelmistopäivityksistä, lisenssimaksuista ja mahdollisista tietokoneiden uusimisista. Digitaalisten mallien tiedostomuodosta riippuen käyttäjälle voi myös tulla kuukausittaisia tai vuosittaisia lisämaksuja tiedostojen lukituksen poistosta, joka on edellytys sille, että CAD-laitteisto tai laboratorio pystyy käsittelemään malleja. ■

Valtteri Anttila, HLL¹

Tuomo Heikkinen, dosentti, EHL (oikomishoito), osastonhammaslääkäri¹
Tptheikkinen@gmail.com

Ville Vuollo, FT, tutkijatohtori¹

¹Suun terveyden tutkimusyksikkö, lääketieteellinen tiedekunta, Oulun yliopisto

Artikkeli perustuu HLK Valtteri Anttilan hammaslääketieteen lisensiaatin tutkimukseen sisältyvään syventävien opintojen tutkielmaan.

Kirjoittajien ilmoittamat sidonnaisuudet:

Ville Vuollo: Apollonian apuraha

Tuomo Heikkinen: Apollonian ja European Orthodontic Societyn apurahat

Kirjoittajilla ei ole taloudellisia sidonnaisuuksia käsikirjoituksessa kuvattuihin laitteisiin.

Artikkelisarjan 1. osa on julkaistu Hammaslääkärilehdessä 11/2021 otsikolla Digitaalitekniikka tutuksi, osa 1/2: 3D-teknologia hammaslääketieteen palveluksessa.

KIRJALLISUUS

1. Taneva E, Kusnoto B, Evans CA. 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. Illinois at Chicago: IntechOpen; 2015.
2. Ahn JS, Park A, Kim JW, Lee BH, Eom JB. Development of Three-Dimensional Dental Scanning Apparatus Using Structured Illumination. *Sensors (Basel)* 2017; 17(7): 1634.
3. 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.
4. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P. ym. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng* 2017; 2017: 8427595.
5. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health* 2017; 17(1): 149.
6. Kiviahde H, Bukovac L, Jussila P, Pesonen P, Sipilä K, Raustia A. ym. Inter-arch digital model vs. manual cast measurements: Accuracy and reliability. *Cranio* 2018; 36(4): 222–7.
7. Mangano FG, Veronesi G, Hauschild U, Mijiritsky E, Mangano C. Trueness and Precision of Four Intraoral Scanners in Oral Implantology: A Comparative in Vitro Study. *PLoS One* 2016; 11(9): e0163107.
8. Naidu D, Freer TJ. Validity, reliability, and reproducibility of the iOC intraoral scanner: A comparison of tooth widths and Bolton ratios. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144(2): 304–10.
9. Lee K. Comparison of two intraoral scanners based on three-dimensional surface analysis. *Prog Orthod* 2018; 19(1): 6.
10. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkinen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering* 2014; 54: 203–21.
11. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. Computerized Casts for Orthodontic Purpose Using Powder-Free Intraoral Scanners: Accuracy, Execution Time, and Patient Feedback. *Biomed Res Int* 2018; 2018: 4103232.
12. Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. Intraoral scanning systems – a current overview. *Int J Comput Dent* 2015; 18(2): 101–29.
13. Lecocq G. Intraoral digital scanner: selection and integration in clinics. *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics* 2016; 19(4): 402.
14. Jiménez-Gayosso SI, Lara-Carrillo E, López-González S, Medina-Solis CE, Scougall-Vilchis RJ, Hernández-Martínez CT. ym. Difference between manual and digital measurements of dental arches of orthodontic patients. *Medicine (Baltimore)* 2018; 97(22): e10887.
15. Mangano FG, Hauschild U, Veronesi G, Imburgia M, Mangano C, Admakin O. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health* 2019; 19(1): 101.
16. Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *BMC Oral Health* 2017; 17(1): 92.
17. van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One* 2012; 7(8): e43312.
18. Giachetti L, Sarti C, Cinelli F, Russo DS. Accuracy of digital impressions in fixed prosthodontics: A systematic review of clinical studies. *Int J Prosthodont* 2020; 33(2): 192–201.
19. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review. *J Prosthodont* 2018; 27(1): 35–41.
20. Rangel F. Integration of digital dental casts into CBCT scans and 3D stereophotogrammetric images. Väitöskirja; 2020. Radboud Institute of Health sciences and department of dentistry, Radboud University, Hollanti.



I ♥ SUU



Suomen Hammaslääkäriliitto
Finlands Tandläkarförbund