

Oona Pauliina Nurminen

Virtuaalitodellisuus implanttisuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto

Insinööriytyö

22.4.2018

| | |
|---|---|
| Tekijä Otsikko | Oona Nurminen Virtuaalitodellisuus implanttisuunnittelussa |
| Sivumäärä Aika | 38 sivua + 1 liitettä 22.4.2018 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto |
| Ammatillinen pääaine | Hyvinvointi- ja terveysteknologia |
| Ohjaajat | Osku Sundqvist, Planmeca Oy, Tuotepäällikkö Ulla Sederlöf, Metropolia, Lehtori |
| <p>Opinnäytetyössä selvitettiin virtuaalitodellisuuden soveltuvuutta hammasimplanttien eli keinojuurten suunnitteluun. Implanttisuunnittelussa haetaan implantin optimaalinen asento suhteessa potilaan luuhun ja tulevaan proteesiin. Digitaalisessa implanttisuunnittelussa hyödynnetään 3D-röntgenkuvaa. Hyvä suunnittelu ennen leikkausta vähentää leikkauksen epäonnistumisen riskiä.</p> <p>Työ tehtiin Planmeca Oy:lle, jossa kehitetään muun muassa 3D-röntgenlaitteita ja implanttisuunnitteluohjelmistoa. Virtuaalitodellisuuden soveltuvuutta implanttisuunnitteluun selvitettiin prototyypiohjelmiston käyttäjätestauksella. Laitteistona prototyypissä käytettiin HTC Vive -järjestelmää. Testaaja oli kaiken kaikkiaan 14, joista 13 oli hammaslääkäreitä tai hammaslääkäriksi opiskelevia. Varsinaisessa testissä testaajat asettelivat implantteja luumalliin virtuaalimaailmassa, jonka jälkeen heiltä kysyttiin prototyypin käyttökokemuksesta ja kerättiin palautetta kyselyn avulla.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida kannattaako kehityshanketta jatkaa kaupalliseksi tuotteeksi ja kartoittaa mahdolliset jatkokehityskohteet.</p> <p>Kaiken kaikkiaan testaajilta saatu palaute erittäin positiivista. Järjestelmän käyttö opittiin lyhyessä ajassa, ja kaikki testaajat onnistuvat asettelemaan implantin virtuaalimaailmassa. Anatomian hahmottaminen koettiin helpommaksi virtuaalimaailmassa kuin tietokoneen ruudulla, ja monet uskoivat virtuaalitodellisuuden olevan hyödyllinen myös potilaiden motivoinnissa.</p> <p>Prototyypin kehittäminen valmiiksi kaupalliseksi tuotteeksi vaatii vielä suunnittelu- ja kehitystyötä. Virtuaalitodellisuuden sovittaminen klinikoilla oleviin kuvantamisjärjestelmiin ja kuva-arkistoihin pitäisi ratkaista ja miettiä työnkulku käytännössä. Prototyypiohjelmistoa voidaan kuitenkin jo sellaisenaan käyttää Planmeca Oy:n asiakastilaisuuksissa ja näyttelyissä ja tarjota asiakkaille erilainen elämys normaalin tuote-esittelyn lisäksi.</p> | |
| Avainsanat | Virtuaalitodellisuus, VR (Virtual Reality), implanttisuunnittelu, hammasimplantti |

| | |
|--|---|
| Author Title | Oona Pauliina Nurminen Virtual reality in implant planning |
| Number of Pages Date | 38 pages + 1 appendices 22 April 2018 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Information Technology |
| Professional Major | Health technology |
| Instructors | Osku Sundqvist, Planmeca Oy, Product Manager Ulla Sederlöf, Lecturer |
| <p>The aim of this thesis was to study the feasibility of virtual reality in dental implant planning. The idea of implant planning is to find the optimal position of an implant in relation to the bone and the prosthesis. Digital implant planning is based on a 3D x-ray image of a patient. Thorough implant planning reduces the risk of failure in the actual implant surgery.</p> <p>This thesis was done for Planmeca Oy. Planmeca Oy develops and manufactures for example 3D x-ray devices and implant planning software. The feasibility of virtual reality in implant planning was studied with user tests. The test users were given a task to be performed by using a prototype software in virtual reality. Out of a total of 14 test users, 13 were either dentists or dental students. The actual task for the test users was to place an implant to a bone model in virtual reality. After the test, the users filled in a questionnaire to provide feedback of the experience.</p> <p>The aim of the thesis was to evaluate if this prototype should be developed into a final commercial product and also to define the possible development areas of the prototype.</p> <p>The overall feedback from the test users was very positive. The users learned to use the software in a short period of time and everyone managed to place the implant to the bone model. The understanding of anatomy was considered easier in virtual reality in comparison to a 2D computer screen. Several test users also believed that virtual reality would be valuable when motivating the patient.</p> <p>Developing the prototype into a final commercial product will require R&D work. Virtual reality implant planning system would need to connect to a clinic's imaging system and also the workflow should be defined. However, the prototype software can be used as is at Planmeca's customer events and exhibitions to offer a different experience compared to normal product presentations.</p> | |
| Keywords | VR Virtual reality, Implant planning, Dental implant |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Implanttisuunnittelu | 3 |
| 2.1 | Implantologia | 3 |
| 2.2 | 2D-röntgenkuvantaminen | 5 |
| 2.3 | KKTT eli kartiokeilatietokonetomografia | 7 |
| 2.4 | Implanttisuunnitteluohjelmisto - Planmeca Romexis | 8 |
| 3 | Virtuaalitodellisuus | 13 |
| 3.1 | Laitteet | 15 |
| 3.2 | Virtuaalitodellisuuden käyttökohteita ja hyötyjä | 17 |
| 3.3 | Virtuaalitodellisuuden haasteita | 19 |
| 3.4 | Virtuaalitodellisuuden mahdollisuudet tulevaisuudessa | 20 |
| 4 | Prototyypin soveltuvuustutkimus | 22 |
| 4.1 | Soveltuvuustestit | 22 |
| 4.2 | Tutkimuksessa käytetyn ohjelmiston kehitys | 23 |
| 5 | Tutkimustulokset | 28 |
| 5.1 | Vastaajien taustatiedot | 28 |
| 5.2 | VR-implanttiprototyypin käyttökokemus | 29 |
| 5.3 | Virtuaalitodellisuuden hyödyllisyyden kartoitus | 31 |
| 5.4 | Tutkimuksesta saadut kehitysideat | 31 |
| 6 | Tulosten pohdinta | 33 |
| 7 | Johtopäätökset | 35 |
| | Lähteet | 36 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Kysely | |

Lyhenteet

VR Virtual Reality. Virtuaalitodellisuus.

AR Argument reality. Lisätty todellisuus.

KKTT Kartiokeilatietokonetomografia.

TT Tietokonetomografia.

R&D Research and development. Tutkimus ja (tuote)kehitys.

STL Standard Template Library. Standardimallikirja

1 Johdanto

Maailmassa on valtavasti puuttuvia hampaita, joita voidaan korvata titaanisilla keinojuurilla eli implanteilla. Elintason noustessa ja väestön vanhentuessa implanteja laitetaan koko ajan yhä enemmän. Implantti asetetaan potilaan leukaluuhun, ja jotta lopputulos olisi hyvä implantin pysyvyyden ja implantin päälle asetettavan hammasproteesin kannalta, on implantin paikka leukaluussa syytä suunnitella hyvin.

Implantin suunnitteluun käytetään sekä 2D- että 3D-röntgenkuvia. 2D-röntgenkuvassa nähdään vain osa anatomiasta, ja siksi virheen mahdollisuus on suurempi kuin 3D-röntgenkuvaan käytettäessä. 3D-röntgenkuvaan käytettäessä voidaan käyttää implanttien suunnitteluun kehitettyjä ohjelmistoja, joiden avulla lääkäri voi valita oikeanlaisen implantin ja asetella se sopivaan paikkaan.

3D-kuvan hahmottaminen tietokoneen kaksiulotteisella ruudulla voi olla lääkärille haastava ja opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää muun muassa, auttaisiko virtuaalitodellisuus 3D-kuvan hahmottamisessa ja implantin suunnittelussa tai toisiko se käyttäjälle muita lisähyötyjä.

Opinnäytetyössä tehtiin soveltuvuustutkimus implanttisuunnittelusta virtuaalitodellisuudessa. Menetelmänä käytettiin testihenkilöille teetettyä ohjelmiston prototyypin testausta ja sen käyttökokemukseen liittyvää kyselyä. Suurin osa testihenkilöistä oli erikoishammaslääkäreitä, kuten suu- ja leukakirurgia. Työn tavoitteena on saada arvio siitä, kannattaako kehityshanketta jatkaa kaupalliseksi tuotteeksi ja kartoittaa mahdollisia jatkokehitysehdotuksia.

Opinnäytetyön lähtökohtana toimi Planmecalla kehitetty ensimmäinen prototyyppi, niin sanottu "proof of concept" -tyyppinen kokeilu. Ennen ensimmäisiä käyttäjätestauksia, tätä ensimmäistä prototyyppiä päätettiin jatkokehittää lisäämällä sinne muutamia ominaisuuksia ja syntyi prototyyppiversio nro 2. Ensimmäisten käyttäjätestien palautteen perusteella päädyttiin edelleen parantamaan prototyyppiä ja näin jäljellä olevia käyttäjätestejä varten syntyi vielä kolmas prototyyppiversio. Prototyypin testaus suoritettiin Planmecan tiloissa tai lääkäreiden vastaanotoilla. Testihenkilöiltä kerättiin palaute kokeilun jälkeen kyselylomakkeelle.

Työ tehtiin yhteistyössä Planmeca Oy:n kanssa, joka on yksi maailman johtavimmista hammashoitoteknologiaa valmistavista yrityksistä.

2 Implanttisuunnittelu

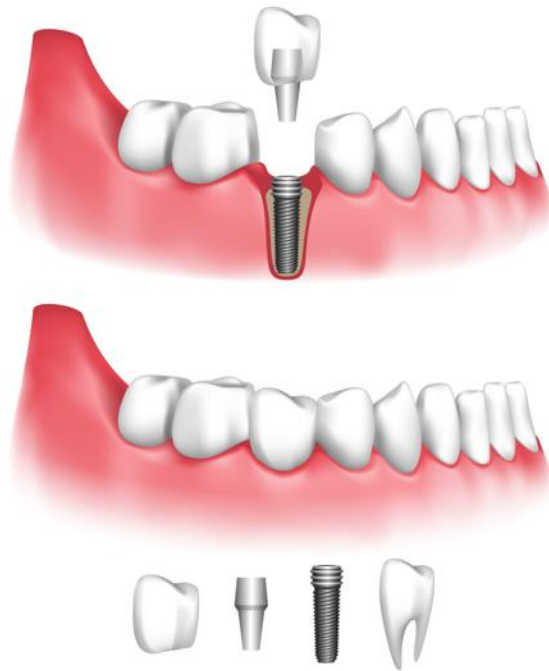
Tässä luvussa kerrotaan Planmeca Oy:stä, implantologiasta, implantologiassa käytettävistä kuvantamismenetelmissä ja implanttisuunnittelusta.

Planmeca on vuonna 1971 perustettu perheyrittys. Planmeca Oy:n pääkonttori on Helsingissä Herttoniemessä, missä myös tuotteiden kehitys ja valmistus tapahtuvat. Yhtiön tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa hammashoitokoneet, 2D- ja 3D-röntgenlaitteet, ohjelmistot ja CAD/CAM-ratkaisut. Planmeca Oy:n toiminta on vahvasti kansainvälistä ja 98 % tuotteista menee vientiin. Digitaalisia röntgenlaitteita yrityksessä on kehitetty vuodesta 1994 lähtien ja 3D-röntgenlaitteita vuodesta 2005 lähtien. Digitaalisten röntgenlaitteiden tullessa aloitettiin myös kuvantamisohjelmistojen kehittäminen, ja erityisesti 3D-kuvantamispuolella kehitys on ollut viime vuosina vilkasta.

Planmecan tuotevalikoimaan kuuluu myös implanttisuunnitteluohjelmisto, jota voidaan hyödyntää implantologiassa suunnittelemalla implantin paikka ennen sen asentamista.

2.1 Implantologia

Implantti on kirurgisella leikkauksella leukaluuhun kiinnitettävä, useimmiten titaanista valmistettu ruuvi, jonka tarkoitus on korvata puuttuvia hampaita (kuva 1). Ympäröivä leukaluu mukautuu ja kiinnittyy implanttiin, mikä kestää muutamia kuukausia. Implantin päälle kiinnitetään varsinainen hammasproteesi tai -proteesit. Implanteilla voidaan korvata yksi hammas tai jopa kaikki ylä- tai alaleuan puuttuvat hampaat. Hammasimplanttihoito sopii suurimmalle osalle aikuisista, mutta lapsille ja nuorille sitä ei suositella, sillä leukaluu on vielä kasvuvaiheessa. [1.]



Kuva 1. Kuvassa hammasimplantti eli keinojuuri, väliin tuleva jatke ja päälle laitettava hammaskruunu. [2]

Perinteisesti puuttuvia hampaita on hoidettu irrotettavalla hammasproteesilla, joka ei välttämättä riitä palauttamaan potilaan normaalia toiminnallisuutta, puhekykyä ja ulkonäköä. Hampaattomilla potilailla suun lihasten ja luun surkastuminen vaikuttaa ulkonäköön. Implanttiproteesi puolestaan kuormittaa luuta samaan tapaan kuin luonnolliset hampaat, jonka ansiosta se mahdollistaa suun tavallisen toiminnan ja kasvojen ulkonäön ennalla pysymisen. Pehmytkudokseen tunkeutuvilla proteeseilla puhekyky myös yleensä heikkenee, sillä kieli ja suunympäryksen lihakset voivat rajoittaa proteesin liikerataa. [3.]

Implantit otettiin käyttöön vuonna 1960, jonka jälkeen on tehty tutkimuksia, jotka osoittavat implanttien toimivuuden [4]. Varsinainen implantin asennus potilaalle etenee yksinkertaisimmillaan siten, että ensin tunnustellaan luun muoto ja määrä käsin, jonka jälkeen poistetaan implantin kohdalta ien, porataan reikä ja ruuvataan implantti paikalleen oikealla momentilla.

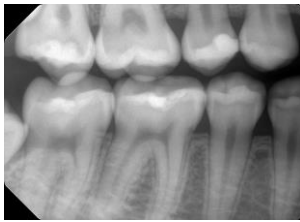
Implanttiratkaisuja on erilaisia. Yksi puuttuva hammas voidaan korjata yhdellä implantilla ja siihen kiinnitettävällä hammaskruunulla. Hampaattomalle tai melkein hampaattomalle voidaan laittaa hammassilta, joka tarkoittaa hammaskruunuista

muodostuvaa kiinteää siltaproteesia. Hammassilta kiinnitetään useaan asennettuun implantaattiin, mikä muodostaa kestävä ja purennallisesti toimivan lopputuloksen. [5.]

Yhden hampaan implantaatti maksaa normaalisti potilaalle noin 2300 euroa, joten leikkauksen onnistuminen on hyvin toivottavaa. Ennen implantin asentamista implantin paikka suunnitellaan ja sitä varten tarvitaan aina röntgenkuvat potilaan hampaista ja leuasta. Hammasimplantteja voivat Suomessa laittaa kaikki hammaslääkärikoulutuksen saaneet, mutta usein niitä laittavat erikoishammaslääkärit, esimerkiksi leukakirurgiaan tai protetiikkaan erikoistuneet hammaslääkärit.

2.2 2D-röntgenkuvantaminen

2D-röntgenkuvia voidaan ottaa suunsisäisesti asettamalla potilaan suuhun pieni filmi tai sensori. Tällaisessa niin sanotusta intraoraalikuvassa nähdään usein 2-3 hammasta (kuva 2).

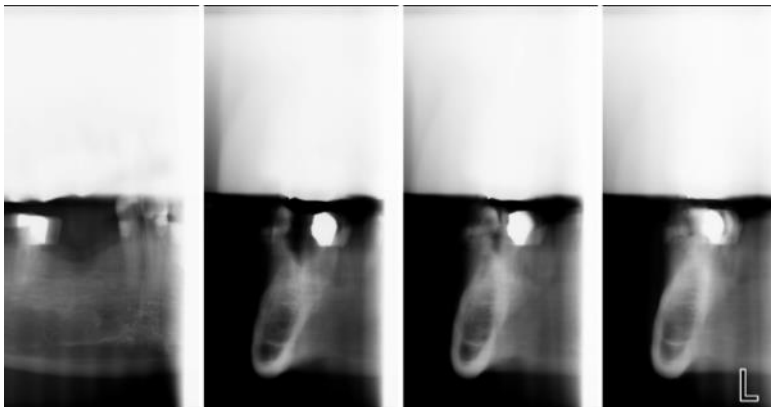


Kuva 2. Intraoraaliröntgenkuva. [2]



Kuva 3. Panoraamaröntgenkuva. [2]

Kuvassa 3 on Planmegan ProMax-panoraamaröntgenlaitteella otettu kuva potilaan koko hampaimistosta ja leukaluusta. Panoraamaröntgenkuva on yleisesti käytetty implanttisuunnittelussa.



Kuva 4. 2D-tomografialeike. [2]

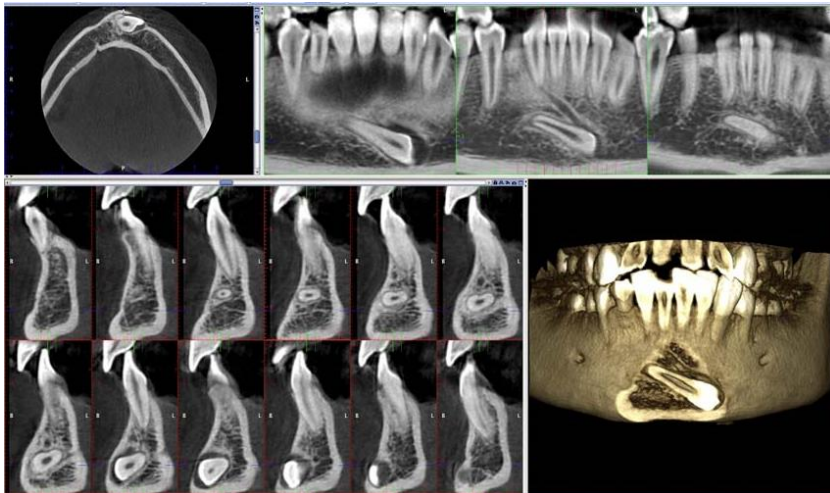
Implantin suunnitteluun voidaan käyttää myös panoraamaröntgenlaitteella otettavaa 2D-tomografialeikekuvaa (kuva 4). 2D-tomografialeikkeistä tarkkaillaan lähinnä luun leveyttä ja hermon sijaintia.

2D-röntgenkuvista tehtävät mittaukset ovat tarkkoja vain, jos kuvassa näkyy jokin tunnettu referenssi, jonka avulla kuva voidaan kalibroida. Tällaista kuvassa harvoin kuitenkaan on ja tällöinkin kuva on mittatarkka ainoastaan siinä kohdassa ja suunnassa. 2D-röntgenkuva antaa siis vajavaisen kuvan potilaan todellisesta

anomiasta ja mitoista. 2D-röntgenkuvia käytetään kuitenkin laajasti implanttisuunnittelussa, mikä johtuu 2D-röntgenlaitteiden yleisyydestä ja edullisuudesta. [6.]

2.3 KKTT eli kartiokeilatietokonetomografia

3D-röntgenkuva on kolmiulotteinen röntgenkuva, joka on muodostettu useista 2D-röntgenkuvista. Suosituksi menetelmäksi hammaskuvantamisessa on noussut kartiokeilatietokonetomografia eli KKTT, joka on tarkka kolmiulotteinen luun kuvantamismenetelmä.



Kuva 5. KKTT-kuva. [2]

Kuvassa 5 on näkymä KKTT-kuvasta tietokoneen ruudulla. KKTT-kuva näytetään 2D-leikekuvina ja 3D-visualisointina. KKTT:n suosiota selittää muun muassa korkea tarkkuus ja matala säteilyannostus, jonka vuoksi KKTT sopii hyvin monimutkaisen anatomisen rakenteen kuten suun, leukojen ja korvien kuvantamiseen. KKTT-laite on myös halvempi kuin edeltäjänsä eli tietokonetomografialaite (TT), josta myös KKTT on saanut aikoinaan alkunsa. [8.] KKTT-kuvasta voidaan tehdä luotettavia mittauksia joka suunnassa.

KKTT-toimintaperiaate

KKTT-hammaskuvauksessa potilas joko seisoo tai istuu kuvaustuolissa laitteen ympäröimänä.

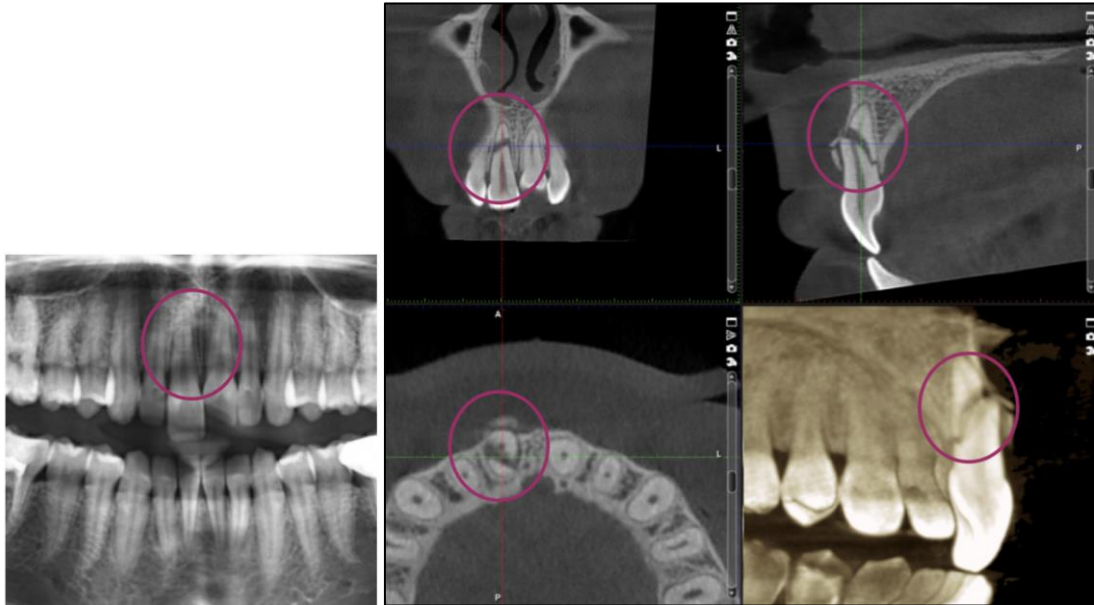


Kuva 6. Planmeca ProMax KTTT-laite.

Kuten kuvassa 6 näkyy, potilaan pää sijoitetaan laitteen keskiosassa sijaitsevaan leukakuppiin siten, että potilaan pää pysyy mahdollisimman paikoillaan kuvauksen ajan. Kuvauksen aikana säteilykeila pyörittää 180-360 astetta potilaan pään ympärillä, jonka aikana se ottaa 160-599 2D-röntgenkuvaa. Näistä monista 2D-röntgenkuvista suoritetaan tietokoneella kaksivaiheinen rekonstruktio. Rekonstruktioilla tarkoitetaan menetelmää, jossa mittatietojen perusteella muodostetaan kuva laskennallisesti. Lopputuloksena saadaan eri tasojen suuntaisia leikekuvia ja kolmiulotteinen kuva. [8.]

2.4 Implanttisuunnitteluohjelmisto - Planmeca Romexis

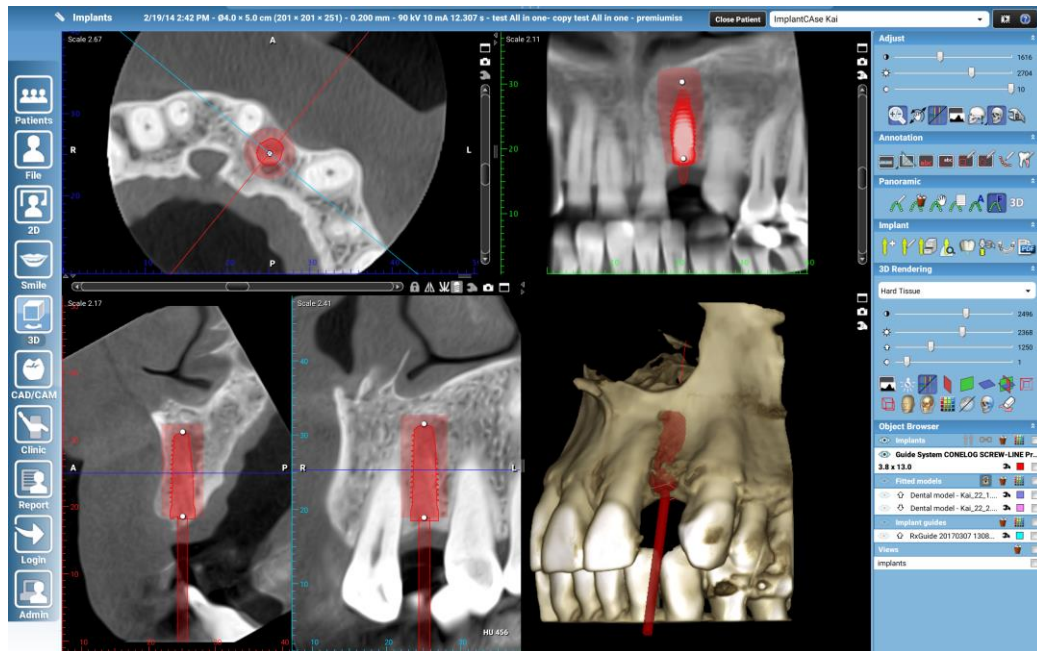
Ennen KTTT-laitteiden yleistymistä hammashoidon puolella implantti suunniteltiin katsomalla potilaan 2D-röntgenkuvaa ja päättelemällä siitä sopiva implantin paikka ja koko. 2D-kuvista näkyy kuitenkin vain osatotuus. Kuvassa 7 on esimerkki samasta potilaasta otetusta panoraamaröntgenkuvasta ja KTTT-kuvasta. Panoraamaröntgenkuvassa ei potilaan etuhampaan murtumaa juurikaan näe, kun taas KTTT-kuvassa se näkyy selvästi kaikista erisuunnista 2D-leikekuvista sekä 3D-näkymässä.



Kuva 7. Samasta hampaasta otettu panoraamaröntgenkuva (vasemmalla) vs. KKTT (oikealla). [2]

Ennen implantin laittoa on tärkeä tietää muun muassa luun harjanteen leveys. Panoraamakuvasta nähdään vain harjanteen korkeus. KKTT-kuvasta nähdään harjanteen leveys ja anatominen muoto. 2D-röntgenkuvista saattaa jäädä muun muassa tärkeä hermokanava näkymättä tai luun paksuus arvioidaan väärin.

KKTT-laitteiden yleistyminen hammashoidossa on mahdollistanut varsinaisten implanttisuunnitteluohjelmistojen kehittämisen. 3D-röntgenkuva mahdollistaa potilaan todellisen anatomian mallintamisen tietokoneella mittatarkasti. Implanttisuunnitteluohjelmistossa voidaan implantin optimaalinen asento suunnitella potilaan 3D-röntgenkuvaan ennen leikkausta. Planmecalla on tätä varten kehitetty Planmeca Romexis -ohjelmisto, jolla voidaan käynnistää kuvanotto Planmecan KKTT-laitteella ja tehdä implanttisuunnitelma samassa ohjelmistossa (kuva 8). Implanttisuunnitteluohjelmistossa on useiden eri implanttivalmistajien implanteista realistiset 3D-mallit, joiden avulla voidaan valita kuhunkin tapaukseen sopiva implanti. 3D-röntgenkuvaan voidaan lisäksi yhdistää pintamalli potilaan hampaista ja 3D-malli tulevasta kruunusta. Pintamalli on digitaalinen mallinnus potilaan suun geometriasta sisältäen hampaat ja ikenet. Lopuksi saadaan virtuaalinen malli potilaasta, missä on luusto, pehmytkudokset ja tuleva kruunu näkyvissä. Virtuaalista kruunua käytetään apuna suunnittelussa, jotta implantin asemoinnissa voidaan ottaa huomioon myös tulevan proteesin paikka.



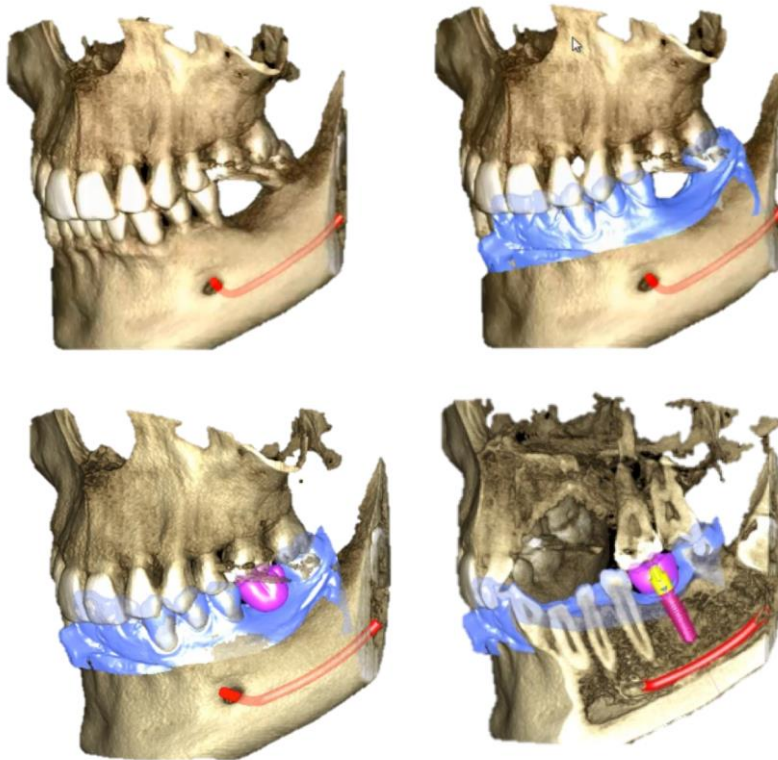
Kuva 8. Planmeca Romexis -implanttisuunnitteluohjelmisto. [7]

Itse ohjelmistossa lääkäri asettelee virtuaalisesti implantin optimaaliseen asentoon luuston, hermon, viereisten hampaiden sekä purennan suhteen. Implanttisuunnittelu etukäteen ohjelmistolla helpottaa sopivan kokoisen implantin valintaa ja varmistaa, että implantti on myös tulevan kruunun ja purennan kannalta oikeassa asennossa. Se on myös tärkeä työkalu potilaan motivoinnissa. 3D-implanttisuunnittelusta voidaan edetä porausohjuriin suunnitteluun ja tulostamiseen. Porausohjuri on implanttia varten porattavan reiän poraamista ja implantin asennusta auttava kappale, jolla varmistetaan implantin asennus suunnitelman mukaisesti. Porausohjuri valmistetaan usein 3D-tulostamalla.

Implanttisuunnittelun vaiheet Planmeca Romexis -ohjelmistossa:

1. 3D-röntgenkuva tuonti ohjelmistoon, tai kuvan ottaminen suoraan Planmegan KKTT- laitteella.
2. potilaan hampaista otetun pintamallin tuonti ohjelmistoon (valinnainen vaihe)
3. virtuaalisen kruunun luominen tai tuominen ohjelmistoon CAD/CAM-ohjelmistosta (valinnainen vaihe)
4. edellisten yhdistäminen ohjelmistossa yhdeksi virtuaaliseksi malliksi (valinnainen vaihe) (kuva 9)
5. potilaan hermokanavan merkintä 3D-röntgenkuvaan (valinnainen vaihe) (kuva 9)
6. implantin valinta ohjelmiston implanttikirjastosta

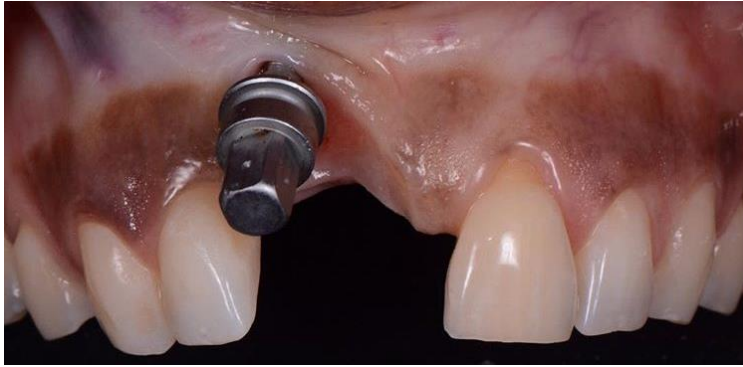
7. implantin asettelu optimaaliseen paikkaan luun ja kruunun suhteen (kuva 9)
 - 7.1. implantin asettelu
 - 7.2. asettelun tarkastelu eri leikkeistä
 - 7.3. tarvittaessa leikkeiden säätö
8. implantin ympäröivän luun laadun arviointi
9. porausohjurin suunnittelu (valinnainen vaihe)
10. porausohjurin tulostus (valinnainen vaihe).



Kuva 9. Implanttisuunnittelun vaiheita Planmeca Romexis -ohjelmistossa. [7]

Suunnittelun lopputuloksena saadaan oikealle paikalle suunniteltu sopivan kokoinen ja mallinen implantti. Implanttisuunnitelman perusteella voidaan myös suunnitella porausohjuri, joka voidaan tulostaa 3D-tulostimella. Porausohjuri mahdollistaa implantin asentamisen varmasti oikeaan paikkaan.

Implantin huolellinen suunnittelu on erittäin tärkeää, sillä pienikin heitto väärään suuntaan heikentää implantin lopullista kestävyyttä ja voi aiheuttaa muita ongelmia kuten hammasväleihin ruokaa kerääviä muotoja [9].



Kuva 10. Epäonnistunut implantin asennus. [2]

Vielä vakavampi skenaario on sellainen, jossa implantti asennetaan asentoon, johon proteesin asentaminen on käytännössä mahdotonta (kuva 10). Komplikaatiot voivat johtaa implantin poistoon ja mahdollisesti kallisiin luusiirteisiin ja muihin korjaaviin toimenpiteisiin. Riskeistä huolimatta 2D-suunnittelu on edelleen maailmalla yleistä.

3 Virtuaalitodellisuus

Ensiaskelen kolmiulotteiseen maailmaan toi View-Master -laite, jolla pystyttiin katsomaan paperikiekoilla olevia kuvia kolmiulotteisina. Tästä lasten leluun pidetystä laitteesta 3D on kehittynyt huomattavasti, ja nykyään ihmiset yhdistävät termin lähinnä 3D-elokuvien katseluun 3D-laseilla. [10.]

Virtuaalitodellisuus (VR) on keinotekoinen ympäristö, johon voidaan siirtyä VR-tekniikan avulla eli käyttäen VR-laseja. VR-lasien on tarkoitus peittää koko näkökenttä, jotta henkilö näkee ympärillään vain virtuaalimaailmaa.



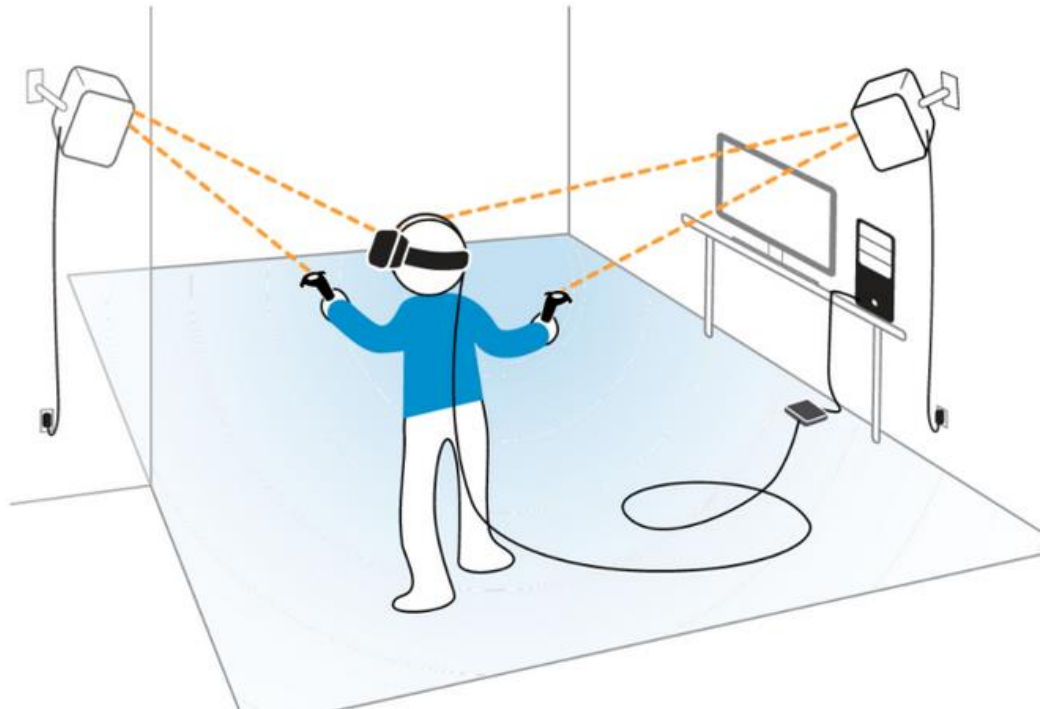
Kuva 11. HTC Vive VR -lasit ja ohjaimet

Kuvassa 11 näkyvät HTC Vive -lasit, jotka pidetään päässä säädettävien kuminauhojen avulla. Virtuaalimaailma liikkuu käyttäjän pään liikkeiden mukaisesti, eli käyttäjä voi katsella ympärilleen kuten oikeassakin maailmassa. Parhaimmissa laitteistossa järjestelmissä seuraa myös käyttäjän pään sijaintia. Ympäri katselun lisäksi, suurimmassa osassa virtuaalimaailmoista käyttäjä voi olla vuorovaikutuksessa virtuaaliesineiden kanssa käsiohjaimien avulla. [11.] Esimerkiksi Planmegan VR-implanttiprototyypissä implanteista voi tarttua, ja käyttäjä saa sijoitella sen haluamaansa kohtaan.

Immersio tarkoittaa voimakasta eläytymistä ja uppoutumista virtuaalitodellisuuteen. Ympärielle katseleminen ja vuorovaikutus esineisiin lisäävät immersiota. VR-laseissa pyritään luomaan immersiota tarkoilla ja realistisilla grafiikoilla, äänillä ja tuntoaistimuksilla. Mitä parempi immersio, sitä paremmin pelaaja eläytyy virtuaalimaailmaan. Immersio mahdollistaa virtuaalitodellisuuden ja sen käytön sellaisissa tarkoituksissa, missä tarvitaan käyttäjän eläytymistä. Esimerkiksi fobian altistushoidossa potilas ei altistu pelolle, jos aivot eivät pidä pelon lähdettä millään tavalla uskottavana. [12.]

AR eli lisätty todellisuus (Augmented Reality) on teknologia, jossa tietokoneella tehtyä materiaalia lisätään oikean todellisuuden päälle. Lisätty todellisuus toteutuu jonkin läpinäkyvän näytön kuten esimerkiksi silmälasien tai kännykän kautta. VR vie käyttäjän näkökentän kokonaan uuteen maailmaan, kun taas AR lisää asioita meidän näkemän todellisuuden päälle. [13.] Yksi tunnetuista lisätyn todellisuuden sovelluksista on Pokemon Go -peli jossa pelaaja näkee kännykän ruudun kautta pokemonien liikkuvan todellisessa ympäristössä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vain virtuaalitodellisuuteen, mutta AR tulee todennäköisesti olemaan läsnä myös implanttisuunnittelun tulevaisuudessa.

Virtuaalitodellisuus luodaan melko yksinkertaisella tekniikalla. Yleensä laseissa on kännykän näyttöä vastaava näyttö, joka on jaettu puoliksi, jotka näyttävät samaa kuvaa eri kuvakulmista. Silmille puolestaan on molemmille omat optiset linssit. Näin jaetut näyttö luovat kokonaisen näkymän, johon saadaan luotua syvyyttä ja kolmiulotteisuutta. Lasit matkivat ihmisen syvyysnäköä joka syntyy juuri tällöin, kun silmät näkevät saman kuvan hieman eri kuvakulmista. Pään liikkeet rekisteröivän optisen seurannan ansiosta näkymä liikkuu käyttäjän pään liikkeiden mukana. [11.]



Kuva 12. HTC Vive -laitteisto käytössä. [14]

Kuvassa 12 on havainnollistettu miltä virtuaalitodellisuuden käyttäminen näyttää HTC Vive -laitteilla. Pään liikkeet rekisteröidään optisesti kahdella sensorilla, jotka asetetaan käyttäjän ympärille siten, että sensoreilla on esteetön yhteys kypärään ja ohjaimiin.

3.1 Laitteet

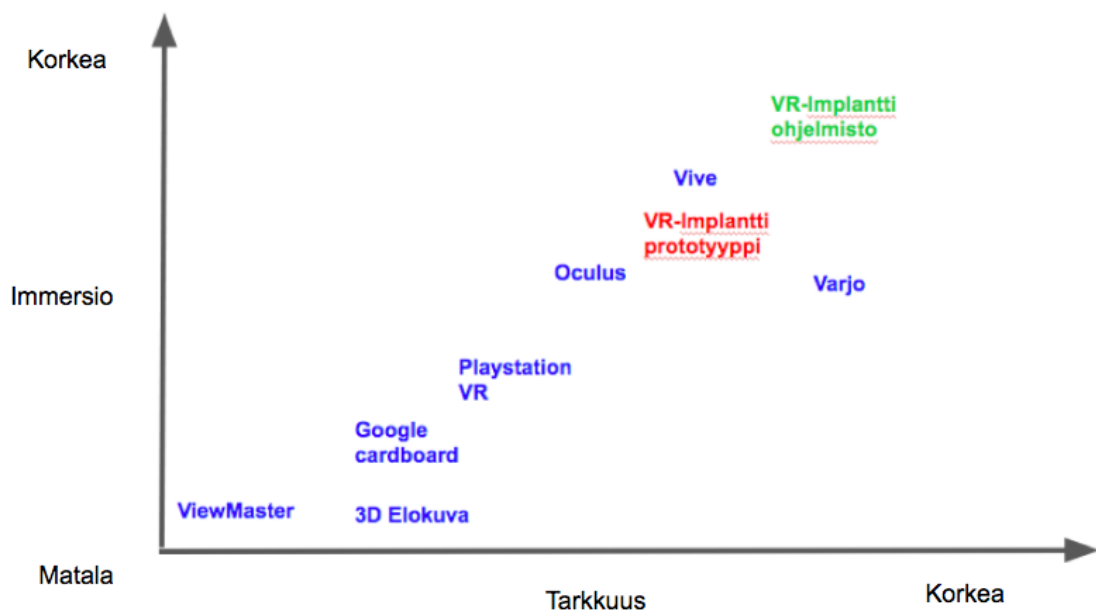
Virtuaalilasit voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan: tietokoneeseen liitettävät laitteet ja langattomat älypuhelimeen liitettävät lasit. Tietokoneeseen liitettävät laitteet ovat teknisesti edistyneempiä.

Virtuaalilaseja on saatavilla kaupoissa ja niistä löytyy huomattavia niin hinta- kuin ominaisuuseroja. Halvimmalla pääsee, kun ostaa Google Cardboard -lasit, jotka ovat Googlen kehittämät pahviset virtuaalilasit. Ne maksavat noin 6-20 euroa, eivätkä sisällä mitään elektroniikkaa. Laseihin kiinnitetään älypuhelin, ja lasien kautta on tarkoitus katsoa puhelimen näytöltä kolmiulotteista kuvaa tai videota. [15.]

Seuraavana on muutamia hintavampia vaihtoehtoja, joista kaikki sisältävät ohjaimet ja mahdollistavat liikkumisen virtuaalimaailmassa:

- Playstation VR -pakkaus 315 € + vaatii ohjaimet, joiden hinta on alle 100 € ja Playstation 4 -pelikonsolin. Liikkuminen tilassa 1.5 m x 1.5 m. [16.]
- Oculus Rift + touch noin 450 €. Liikkuminen tilassa 2 m x 2 m. [17.]
- HTC Vive 699 € + vaatii lisäksi tehokkaan pelitietokoneen toimiakseen jonka hinnat alkavat vajaasta 1000 eurosta. Liikkuminen tilassa 4 m x 4 m.

VR-implanttiprototyyppi toimii HTC Vive -laseilla, jotka ovat tällä hetkellä yksi teknisesti edistyneimmistä markkinoilla olevista virtuaalilaseista. HTC Vivessä on molemmille silmille omat 1080*1200 resoluution näyttöpaneelit ja 90 Hz:n virkistystaajuus. Virkistystaajuus kertoo, kuinka monta kertaa sekunnissa näyttölaitteen tuottama kuva päivittyy. Resoluutio kertoo näytön pikselien määrän vaaka- ja pystysuuntaan. Virtuaalitodellisuudessa resoluutio kertoo kuinka selkeästi virtuaalimaailma näkyy. HTC Vivestä löytyy myös kuulokeliitäntä ja sisäänrakennettu mikrofoni. [18.]



Kuva 13. Erilaisten VR-sovellusten ja laitteiden asettuminen immersio/tarkkuuskoordinaatistoon.

Kuvassa 13 havainnollistetaan eri VR-teknologioita ja mihin opinnäytetyössä käytetty VR-implanttiprototyyppi sijoittuu. Pystyakseli kertoo kuinka vahva immersio kyseisessä tuotteessa on ja vaaka-akseli kuvaa tuotteiden tarkkuutta. Tässä tarkkuus tarkoittaa kuinka täsmällisiä käyttäjän liikkeitä ovat virtuaalimaailmassa ja kuinka korkea resoluutio on. Opinnäytetyössä käytetty VR-implanttiprototyyppi sijoittuu Viven kanssa

melko samalle tasolle, koska se on prototyypissä käytetty laitteisto. Immersion osalta prototyyppi ei hyödynnä aivan kaikkia Viven ominaisuuksia kuten ääntä. VR-implanttiohjelmistolla tarkoitetaan mahdollista valmista tuotetta, joka voitaisiin prototyypin perusteella tulevaisuudessa kehittää. Tulevaisuudessa resoluutio tulee kasvamaan entistä enemmän, mutta implanttisuunnittelun kannalta sille ei ole välttämättä tarvetta. Nykyisellä resoluutiolla pystyy tekemään implanttisuunnittelun, eikä resoluution kasvaminen välttämättä tuo siihen lisäetuja. Immersio lopullisessa versiossa olisi todennäköisesti parempi kuin prototyypissä, sillä tutkimuksessa tuli esiin kehitysehdotuksia, jotka lisäävät immersiota. Tähän palataan myöhemmin luvussa 6.4.

3.2 Virtuaalitodellisuuden käyttökohteita ja hyötyjä

Virtuaalitodellisuus on tunnettua muun muassa pelialalla eikä ihme, sillä pelejä on kehitetty luomaan vaihtoehtoisia todellisuuksia, jotka VR-laitteet tuovat vain yhä lähemmäs pelaajaa. Virtuaalitodellisuuden kehittyessä sen käyttö on laajentunut muun muassa terveydenhuoltoon, teollisuuteen ja koulutuskäyttöön.

Virtuaalitodellisuus sovelluksessa voidaan ajatella olevan niin sanottu ydintoiminta ja oheistoiminta. VR-implanttiprototyypissä ydintoiminta on implantin sijoittaminen. Samantyyppisiä ydintoimintoja omaavia ohjelmistoja on sovellettu eri käyttötarkoituksiin. Esimerkiksi terveydenhuollossa VR-teknologiaa on käytetty onnistuneesti kirurgiassa. Kirurgit voivat suunnitella leikkauksen ja harjoitella leikkausta etukäteen virtuaalitodellisuudessa, mikä voi vähentää riskejä varsinaisessa leikkauksessa. Virtuaalitodellisuutta on käytetty myös autoteollisuudessa suunnittelun apuna. Fordilla virtuaalitodellisuus on ollut käytössä suunnittelun työkaluna jo vuodesta 1999 asti [19]. Tällaisessa suunnittelutyössä virtuaalimaailma auttaa hahmottamaan muun muassa tilaa ja muotoja. Planmecalla on virtuaalimaailmaan luotu hammashoituhuone, missä voidaan tuotekehityksessä olevia laitteita voidaan tarkastella ”todellisessa” ympäristössä ennen ensimmäistäkään fyysistä protolaitteistoa. Myös hammashoituhuoneiden kalustuksen suunnitteluun ja laitteiden asemointiin voidaan käyttää 3D-suunnitteluohjelmiston laajenuksena virtuaalitodellisuutta, jossa asiakas voi käydä arvioimassa suunnitelmaa.

Virtuaalitodellisuutta voidaan käyttää monipuolisesti erilaisissa koulutuksissa. VR-teknologialla voidaan visualisoida asioita, joiden näkeminen ei ole todellisuudessa

mahdollista. Aivotoimintaa ei pystytä vielä livelähetyksellä katsomaan, joten sen havainnollistaminen virtuaalitodellisuudessa on avannut uusia oppimismahdollisuuksia. Kirurgien koulutusta on myös testattu pelin kaltaisessa ympäristössä [20]. Ihmisen anatomian opiskeluun virtuaalitodellisuus soveltuu erittäin hyvin. Ihmisen anatomian kaikki kerrokset verenkiertoineen, voidaan luoda virtuaalimaailmaan aidossa koossa ja eri elimiä voidaan tarkastella mistä suunnasta tahansa. Näin voidaan tehdä niin sanottu virtuaalinen ruumiinavaus. Opinnäytetyössä käytettyä prototyyppiä voidaan yhtälailla käyttää implanttisuunnittelun opetukseen ja harjoitteluun, varsinaisen potilaskohtaisen suunnittelun lisäksi.

VR-implanttiohjelmiston oheistoiminta on kaikki ydintoiminnan ympärillä oleva. Oheistoimintoja voivat olla muun muassa maailman tausta, värit, valot, sisustus ja muut virikkeet. Virtuaalitodellisuutta on hyödynnetty psykiatriassa ja kuntoutuksessa. Näissä ydintoiminta ei ole sama kuin VR-implanttiprototyypissä, mutta niistä tehtyjä havaintoja voidaan hyödyntää prototyypin oheistoiminnassa. Fobioita on perinteisesti hoidettu altistamalla potilas pelon lähteelle. VR-laseilla potilas pystyy kohtaamaan pelkonsa, kun laseilla onnistutaan luomaan samanlaisia rektioita kuin oikeassa todellisuudessa. Aivoverenkiertohäiriön jälkeiseen kuntoutukseen virtuaalitodellisuus on otettu käyttöön muun muassa Espoon sairaalassa. Potilaille on suoritettu samoja harjoituksia virtuaalitodellisuudessa kuin mitä terapeutit käyttäisivät tavallisesti todellisuudessa. Tällainen harjoitus on esimerkiksi tavaroiden tunnistaminen, jossa potilas sijoitetaan olohuoneeseen, missä hänen pitää tunnistaa näkemiään esineitä. Ammattilaisten mukaan VR-harjoitukset ovat lisänneet potilaiden harjoittelumotivaatiota. [21.]

Tutkimuksissa on todettu, että virtuaalitodellisuudesta voi olla apua joidenkin näköongelmien kuten hemianopian korjaamiseen [22]. Myös niillä, joilla näkö on kunnossa, pitkäaikainen tietokoneella työskentely rasittaa silmiä ja aiheuttaa niiden kuivumista [23]. Tällainen oheistoiminta kuin silmien terveyden vahvistaminen oikean työnteon rinnalle olisi melko kiinnostava jatkokehityskohde prototyypille.

Virtuaalitodellisuudesta on osoitettu olevan hyötyä stressin ja kivun lievityksessä. Potilas saattaa unohtaa kipunsa virtuaalipelin aikana, ja mielekkäät pelit ovat auttaneet myös stressin hallinnassa. Työstressiä voisi mahdollisesti myös vähentää tuomalla työtehtäviä virtuaalimaailmaan, jossa ankean toimiston sijaan näkyisikin sininen taivas ja aurinkoinen ranta. [24, 11.]

Implanttisuunnittelussa voidaan myös ympäristöä eli oheistoimintaa hyödyntää esimerkiksi tekemällä työtaustasta mieluinen juuri sellaisilla väreillä, valoilla, ja asioilla, jotka piristävät ihmistä. Kuten aivoverenkiertohäiriötapauksissa on todistettu virtuaalitodellisuuden lisäävän harjoittelumotivaatiota. Tähän motivaatioon on voinut vaikuttaa uuden teknologian muun muassa kiehtovuus, työympäristön muuttuminen ja normaalien toimintatapojen muuttaminen. Nämä samat asiat voivat vaikuttaa työskentymotivaatioon implanttisuunnittelun parissa ja tähän voitaisiin yhdistää myös näön korjaaminen.

VR-teknologian käyttö on monissa tapauksissa kustannustehokasta. Ei tarvitse rakentaa hoitohuonetta tai edes laitetta, jotta voidaan tutkia suunnitelmia reaali-koossa. Kuten aikaisemmassa kappaleessa tuli ilmi, VR-laseja on käytetty onnistuneesti fobioiden hoidoissa. VR-lasit säästää aikaa ja rahaa altistushoidossa, kun pelon lähde voidaan luoda virtuaalisesti, esimerkiksi korkeanpaikankammoiselle. Samoin kirurgien koulutuksessa voidaan säästää siirtämällä osa harjoituksista virtuaalitodellisuuteen.

3.3 Virtuaalitodellisuuden haasteita

VR-lasien käyttäjä saattaa kokea pahoinvointia. Pahoinvointi johtuu siitä, että VR-maailma liikkuu pään liikkeiden mukana, mutta pienellä viiveellä. Tämä on verrattavissa merisairauteen, jossa henkilö tuntee keinuntaa, mutta näköaisti ei rekisteröi keinuvaa liikettä. [25.] VR-implanttiprototyypissä käytetyllä laitteistolla on kuitenkin yli 90Hz:n virkistystaajuus. 90Hz:n virkistystaajuus tarkoittaa käytännössä sitä, ettei maailma heilu, koska kuva päivittyy tarpeeksi usein käyttäjän liikkeen mukana. VR-näkymä ei myöskään liiku poikkeavasti sisäkorvan informaatiosta, mikä tarkoittaa, että virtuaalimaailma pysyy paikallaan. Myös kukaan prototyyppiä testanneista testihenkilöistä ei ilmoittanut kokevansa pahoinvointia.

Yksi VR-lasien haasteista on niiden heikko resoluutio. Resoluutio vaikuttaa olennaisesti käyttäjän kokemukseen virtuaalimaailmasta, sillä epätarkasta ympäristöstä on vaikea nauttia. Heikko resoluutio rajoittaa myös VR-lasien käyttöä monissa ammattikäytöissä. Esimerkiksi lentäjien lentosimulaatioissa VR-maailma ei näytä lentokoneen ohjauslaitteita riittävän tarkasti. [26.]

Pään muoto on jokaisella yksilöllinen, joten lasien istuvuutta ei ole voitu taata vielä kaikille. Myös käyttäjän silmälasit voivat olla tiellä tai häiritä kokemusta.

Virtuaalitodellisuudessa työskentely poikkeaa hiirellä työskentelystä siten, että molemmat kädet ovat käytössä ja niiden liikerata on laajempi. Osa kokee käsien väsyvän virtuaalimaailmassa liikkumisesta. VR-implanttiprototyypin tutkimuksessa huomattiin, että harjaantumattomalle on myös kovin tyypillistä liikeratojen liioittelu.

Virtuaalitodellisuuden haasteeksi saattaa myös muodostua sen sovittaminen nykyisiin työnkulkuihin esimerkiksi sairaaloissa tai hammaslääkärin työssä. VR-teknologia itsessään on melko uutta, joten ei ole vielä olemassa valmista pohjaa, jolla virtuaalimaailma yhdistettäisiin olemassa oleviin ohjelmistoihin. VR-laitteisto vaatii myös enemmän tilaa kuin pelkkä tietokone.

3.4 Virtuaalitodellisuuden mahdollisuudet tulevaisuudessa

Virtuaalitodellisuus kehittyy nopeasti, ja sen uskotaan pian olevan osa ihmisen arkipäivää. VR-lasien saapuminen yhtä arkiseksi tuotteeksi koteihin kuin pelikonsoli vaikuttaa myyntiin ja virtuaalitodellisuuden. Lisätyn todellisuuden uskotaankin kasvavan 150 miljardin dollarin liiketoiminnaksi vuoteen 2020 mennessä [27].

Resoluution kasvua rajoittava tekijä on näytönohjaimien laskentakapasiteetti. Yhdysvaltalaisen grafiikkateknologia-alan yhtiö NVIDIAN arvio on, että aikaa kuluu vielä 20 vuotta silmän luonnollisen resoluution saavuttamiseen [28]. Suomalaisella teknologiayrityksellä Varjolla puolestaan on jo kehitteillä VR-lasit, joiden resoluutio väitetään vastaavan ihmissilmän tarkkuutta [26]. Planmecan ja VR-implanttisuunnitteluohjelmiston kannalta kysymys on se, riittääkö Viven ja vastaavien kuluttajatuotteiden resoluution implantin suunnitteluun, missä lähdedatan (KKTT) resoluutiokaan ei ole erityisen korkea ja porauksessa tyypilliset välykset lienevät millimetrin kymmenyksiä.

VR-teknologia kehittyy kaiken teknologian mukana. Pieniä käyttöä helpottavia teknisiä muutoksia tapahtuu koko ajan. Tuoreimpana muutoksena on lasien saaminen langattomina. Kädessä pidettäville ohjaimille on jo vaihtoehtoja saatavilla esimerkiksi sensori, jolla voidaan hallita virtuaalimaailmaa omilla käsillä ilman hanskoja tai

ohjaimia. Näiden tuotteiden tarkkuudessa on kuitenkin vielä kehittämistä. Liikkeet ja interaktiot eivät ole yhtä yksiselitteisiä kuin tunnetun muotoisilla ohjaimilla, eli niiden hyöty tarkassa suunnittelutyössä on kyseenalainen.

Suurin osa VR:stä perustuu toistaiseksi täysin visuaaliseen kokemukseen. Immersio tulee kehittymään ja VR koitetaan tuoda koko ajan uusia aistimuksia, kuten kuuloa, tuntoaistia ja jopa hajua. Teksasissa yliopistossa on kehitetty muun muassa hanskat, joilla käyttäjä voi tuntea virtuaalimaailman esineitä. Kun käyttäjä tarttuu objektista, sormissa olevat ilmatyyny puristuvat luoden illuusion kosketuksesta. [29.]

Moni kokee VR-lasien hankkimisen kynnykseksi edelleen niiden hinnan. Jos haluaa myös muutakin kuin virtuaalimaailman katselua, täytyy sijoittaa yli 400 euroa. Puhumattakaan tehokkaimmista malleista, jotka tarvitsevat tehokkaan ja kalliin (1000 EUR) tietokoneen toimiakseen. Hinta vaikuttaa ostohalun lisäksi myös sisällön tuottamiseen virtuaalimaailmoin. Virtuaalitodellisuustuottaja Peter Fisherin [11] mukaan seuraava askel VR-tekniikan kehityksessä olisi helpottaa kuluttajien VR-sisällön tuottamista muun muassa halvemmilla 360-kameroilla, joilla on tarkoitus kuvata jokin tila virtuaalimaailmaan. Tutkimuksen kohteena olleen VR-implanttiohjelmiston kannalta hinta ei kuitenkaan ole välttämättä este tai kovin merkittävä asia, sillä yhden implantin asennus maksaa potilaalle noin 2600 euroa. Erityisesti jos virtuaalitodellisuus lisää lääkäripalveluiden myyntiä tai nopeuttaa lääkärin työskentelyä, on sijoitus kannattava.

4 Prototyypin soveltuvuustutkimus

Soveltuvuustutkimus tarkoittaa tutkimusta, jossa yritetään selvittää muun muassa tutkittavan tuotteen vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia, uhkia ja sen menestymisnäkyviä. Tutkimuksessa testihenkilöt saivat kokeilla implantin suunnittelua virtuaalitodellisuudessa, jonka jälkeen heille teetettiin kysely käyttökokemuksesta.

Tutkimuksessa käytettiin Planmecalla kehitettyä VR-implanttiprototyyppiä. Laitteistona prototyypissä toimi:

- HTC VIVE -lasit, 2 Lighthouse sensoria ja 2 käsiohjainta
- Asus - kannettava tietokone
- implanttiruuvien pintamallit STL-tiedostomuodossa
- KKTT-kuva
- proteettisesti korjattu hammasmalli STL-tiedostomuodossa.

4.1 Soveltuvuustestit

Opinnäytetyössä haluttiin selvittää virtuaalitodellisuuden soveltuvuutta implanttisuunnitteluun. Tätä lähdettiin selvittämään kvalitatiivisen tutkimuksen avulla antamalla implantteja työkseen suunnittelevien lääkäreiden kokeilla VR-implanttiprototyyppiä ja teettämällä kysely heillä sen jälkeen. Testitilaisuuden alussa testihenkilöille pidettiin testausjärjestelmän esittely, jonka jälkeen testihenkilöt saivat itse kokeilla implantin asettamista virtuaalitodellisuudessa. Lopuksi testihenkilöt vastasivat kyselyyn, jossa kartoitettiin testihenkilöiden taustaa ja kysyttiin prototyypin käyttökokemuksesta (liite 1). Testiin osallistui yhteensä 14 henkilöä, joista 11 oli hammaslääkäreitä, kaksi hammaslääkäriksi opiskelevia ja yksi insinööri. Testihenkilöiksi valitut lääkärit olivat pääasiassa kokeneita ja paljon implantteja laittavia kirurgeja. He ovat myös tottuneet haastavampiin tapauksiin, jossa huolellinen suunnittelu on erityisen tärkeää. Testejä suoritettiin Planmecan tiloissa ja lääkäreiden vastaanotoilla. Tapaamiset sovittiin puhelimitse. Puhelun aikana kerrottiin, mistä tutkimuksessa on kyse ja miten testaus tilaisuus käytännössä etenee. Aikaa testaukseen tuli varata noin tunti.

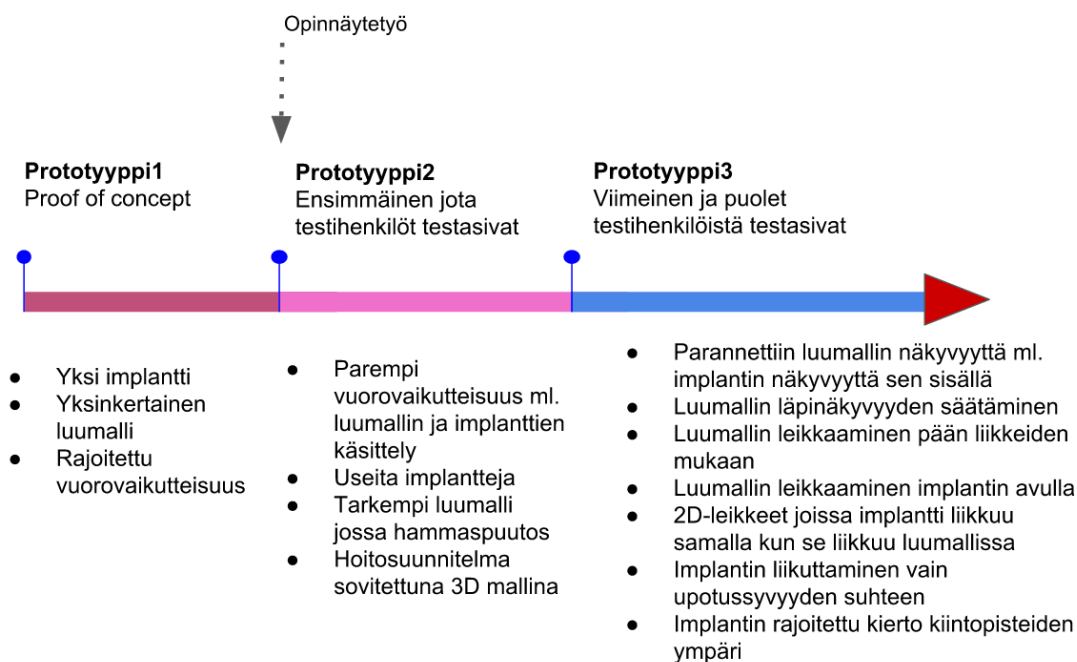


Kuva 14. Testikäyttäjä testaamassa VR-implanttiprototyyppiä.

Tapaamisen alussa kerrottiin uudelleen testauksen tarkoitus ja neuvottiin laitteiston käyttö. Testihenkilöt saivat päähänsä virtuaalilasit ja käsiin ohjaimet (kuva 14). Testihenkilöt tutustuivat ensin virtuaaliympäristöön, jonka jälkeen he aloittivat implantin sijoittelun. Prototyypissä oli tarkoitus sijoittaa 6 implanttia luumalliin ohjainten avulla. Osa testitulaisuuksista videoitiin myöhempää analysointia varten. Testin jälkeen testihenkilöt vastasivat kyselyyn. Kyselyn tekemiseen meni noin 5-10 min.

4.2 Tutkimuksessa käytetyn ohjelmiston kehitys

VR-implanttiprototyypistä oli kaiken kaikkiaan kolme versiota, joista kaksi tehtiin opinnäytetyön aikana. Prototyypin ensimmäinen versio tehtiin noin kahdessa päivässä. Seuraavaa versiota kehitettiin viikon ajan ja viimeistä prototyypiversiota työstettiin vielä kaksi viikkoa lisää.

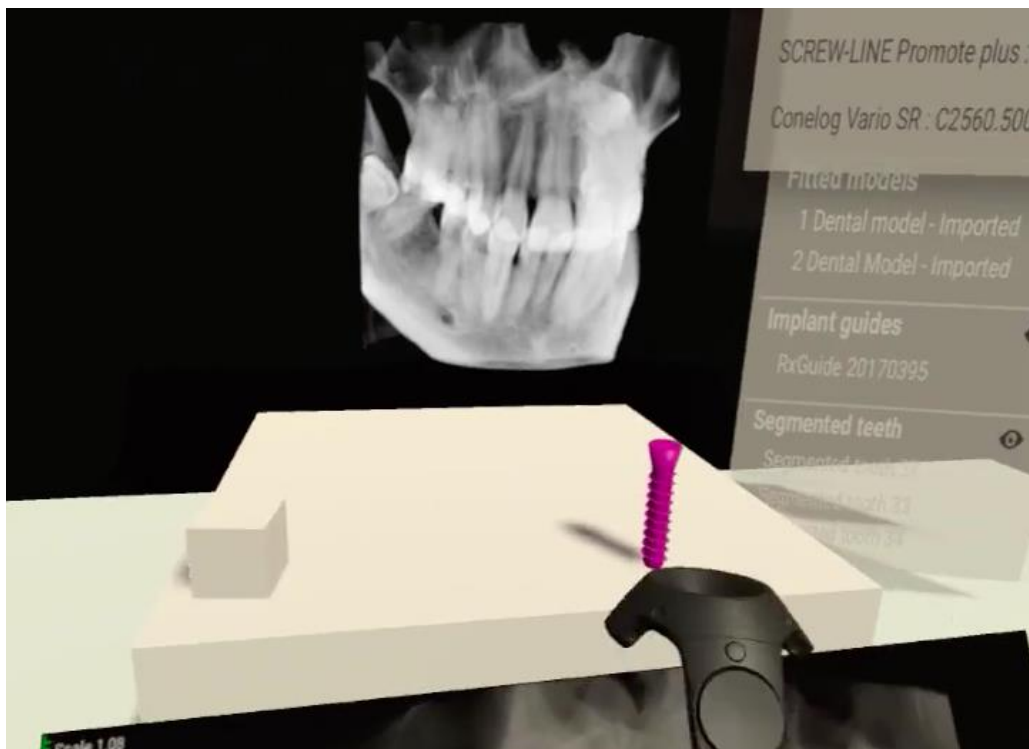


Kuva 15. Aikajana prototyypeistä ja niiden ominaisuuksista

Kuvassa 15 prototyypit on aseteltu aikajanelle, jossa on kerrottu kuhunkin prototyyppiin lisätyt ominaisuudet. Prototyyppi nro 3 eli viimeinen prototyyppi sai monta uutta ominaisuutta, mutta prototyypin nro 1 ja 2 välillä tapahtui kuitenkin suurimmat kehitysaskeleet testauksen kannalta.

Prototyyppi nro 1

Ensimmäinen prototyyppi oli Plamecalla lyhyessä ajassa kehitetty ns. ”proof of concept” -tyyppinen kokeilu. Tässä ensimmäisessä prototyypissä oli käytettävissä oli yksi implantti ja puoliläpinäkyvä luomalli (kuva 16). Käyttäjä pystyi tarttumaan luomallista ja implantista sekä pystyi sijoittamaan implantin haluamaansa kohtaan. Ensimmäisellä VR-implanttiprototyypillä pystyttiin kokeilemaan ja havainnollistamaan implanttisuunnittelua virtuaalitodellisuudessa. Oikeaa implanttisuunnittelua ei voinut vielä ensimmäisellä prototyypillä suorittaa muun muassa testi-implantin liian suuren koon takia.



Kuva 16. Prototyyppi nro 1. [30]

Ensimmäinen prototyyppi osoittautui sen verran lupaavaksi, että aiheesta haluttiin teettää opinnäytetyö ja erityisesti saada palautetta potentiaalisilta loppukäyttäjiltä eli hammaslääkäreiltä ja leukakirurgeilta. Ensimmäisessä prototyypissä oli vain yksi implantti, ja kokeneille implantologeille se olisi liian helppo suunnittelutehtävä, joten soveltuvuustestausta varten haluttiin kehittyneempi prototyyppi.

Prototyyppi 2

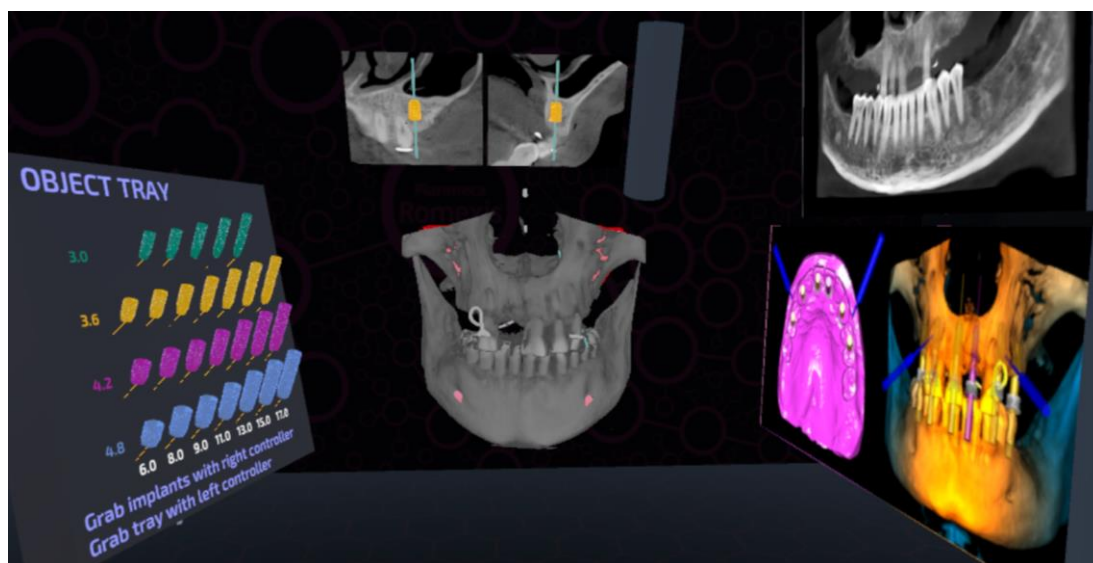
Lääkäreillä testattavassa prototyypissä haluttiin tuoda mahdollisimman hyvin esiin, mitä hyötyä virtuaaliodellisuudesta voisi olla enemmän suunnitteluaikaa vaativissa ja haastavissa potilastapauksissa. Virtuaalimaailmaan tuotiin KKTT-luumalli, josta puuttui huomattava määrä hampaita. Testissä oli nyt tarkoitus yhden implantin sijasta asetella kuusi implanttia siten, että niiden päälle tullaan asentamaan hammassilta. KKTT-luumallia varten virtuaalimaailmaan tuotiin myös implanttivalikoima, jotka sopivat kyseiseen potilastapaukseen. Tällä luomallilla ja sopivalla implanttivalikoimalla sai enemmän käsitystä siitä, miten anatomian hahmottaminen ja implanttien sijoittelu tapahtuisi virtuaaliodellisuudessa. Toista prototyyppiä käytettiin ensimmäisissä

käyttäjätesteissä. Ensimmäinen lääkäri, joka testasi toista prototyyppiä, havaitsi siinä puutteita esimerkiksi luumallin näkyvyydessä ja toivoi lisää ominaisuuksia.

Prototyyppi 3

Lopuksi syntyi viimeinen prototyyppi (kuvat 17 ja 18) johon paranneltiin:

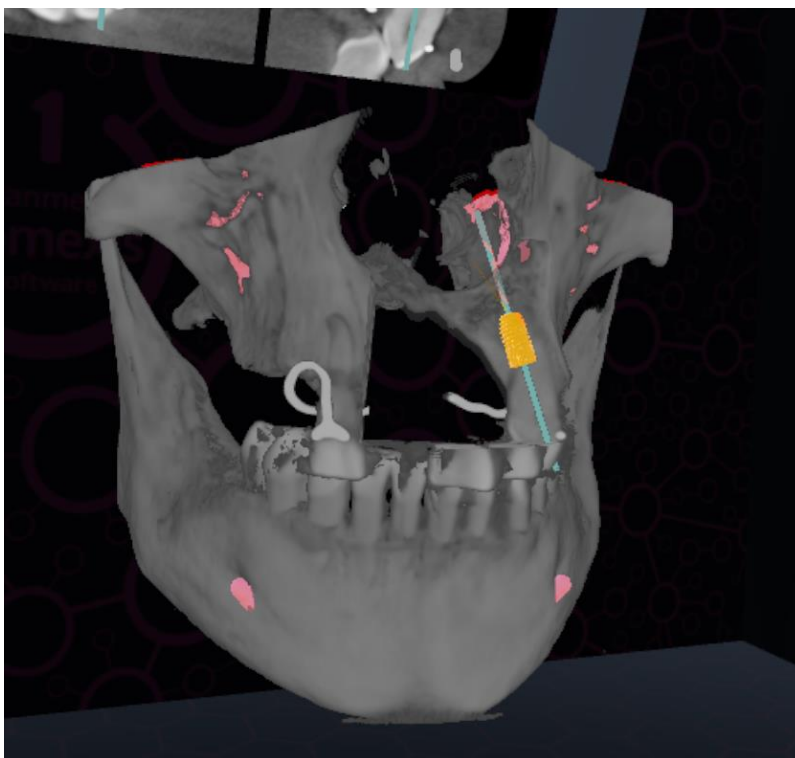
- luumallin näkyvyyttä
- implantin näkyvyyttä luumallin sisällä
- lisättiin materiaalin poistaminen luumallista
- luumallin läpinäkyvyyden säätäminen
- luumallin leikkaaminen pään liikkeiden mukaan
- luumallin leikkaaminen implantin avulla
- 2D-leikkeet jossa implanti liikkuu samalla kun se liikkuu luumallissa
- implantin liikuttaminen vain z-suunnassa muun olleen lukittuna
- implantin rajoitettu kierto kiintopisteiden ympäri.



Kuva 17. Prototyyppi nro 3. [30]

Kuvassa 17 on käyttäjän näkymä viimeisestä prototyypistä. Käyttäjän edessä on luumalli potilaasta, vasemmalla puolella implanttikirjasto ja oikealla potilaan hoitosuunnitelma. Luumallin yläpuolella on 2D-leikekuvat. 2D-leikekuvalla tarkoitetaan 2D-näkymää 3D-kuvasta eli tässä tapauksesta luumallista. Implanti liikkui 2D-leikkeissä samanaikaisesti, kun se liikkui luumallissa. 2D-leikekuvat lisättiin, koska yksi

toista prototyyppi versiota testannut hammaslääkäreistä kertoi, ettei luota pelkään luumalliin.



Kuva 18. Prototyyppi nro 3, Implantti sijoitettuna luumalliin. [30]

Yksi uusista ominaisuuksista oli luumallin leikkaaminen implantin mukaan. Kuvassa 18 on esimerkki siitä, miten implantti leikkaa luumallia, kun se siirretään luumallin sisään. Ominaisuus auttoi hahmottamaan, mihin kohtaan luuta implantin sijoittaa.

Prototyypin kuvaus

Kun käyttäjä siirtyy virtuaalimaailmaan, hän näkee ympärillään potilaan hoitosuunnitelman ja luumallin. Käyttäjän vasemmalla puolella on implanttivalikoima, jossa on valittavana erikokoisia implantteja. Implanttiin tartutaan oikealla ohjaimella ja luumallia puolestaan liikutetaan vasemmalla. Vivessä ohjaimet ovat symmetriset, joten kätisyyttä voi halutessaan vaihtaa. Implanttia ja KKTT-mallia voi pitää samaan aikaan kiinni, jolloin implantin asettelu oikeaan kohtaan on kaikista helpointa. Jokainen objekti virtuaalimaailmassa on liikuteltavissa. Tämä mahdollistaa oman työpöydän luomisen, jossa jokainen kuva tai elementti on siellä, missä käyttäjä haluaa sen olevan.

5 Tutkimustulokset

Kyselyyn vastasi yhteensä 14 henkilöä, joista 11 oli hammaslääkäreitä tai erikoishammaslääkäreitä. Hammastieteiden kandidaattia oli kaksi ja mukana oli myös yksi insinööri, joka toimii Planmeca-tuotteiden jakelijana Lähi-idässä. Kyselyn lisäksi osa testitilanteista videokuvattiin myöhempää analysointia varten.

5.1 Vastaajien taustatiedot

Vastaajien taustatietoja kartoitettiin kysymällä vastaajien ikää, koulutusta, kuinka paljon laittavat implanteja ja minkälaisia kuvia sekä ohjelmistoja käyttävät implanttisuunnittelussa. Lisäksi kysyttiin aikaisempia kokemuksia virtuaalitodellisuudesta.

Vastaajien iät jakautuivat seuraavasti: 57,1 % vastaajista oli 35—55-vuotiaita, alle 35-vuotiaita 28,6 % ja yli 55-vuotiaita 14,3 %.

Kysymykseen "Monta implanttia laitat kuukaudessa" vastasi 12 henkilöä. 50 % vastasi "muutamia", 41,6 % "0-30 " ja 8,3 % "enemmän".

Käytetyin kuva implanttisuunnittelussa oli 3D-röntgenkuva / KKTT-kuva, joten virtuaalimaailmassa käytetty luomallia oli ainakin tuttu 92,9 % vastaajista. Panoraamaröntgenkuvaa käytti 64,3 %, optista mallia 21,4 %, intraoraaliröntgenkuvaa ja 2D-tomografia röntgenkuvaa 14,3 %. Suurin osa vastaajista vastasi käyttävänsä 1-3 kuvatyyppejä.

Kysymykseen "Jos käytät implanttisuunnittelussa ohjelmistoa apuna" vastasi 8 henkilöä. Suosituin ohjelmisto oli Planmeca Romexis, jota käytti 5 vastaajista. Muita ohjelmistoja olivat Invivo, Smop, Simplant, Vatech, Carestream imaging ICS ja Astra.

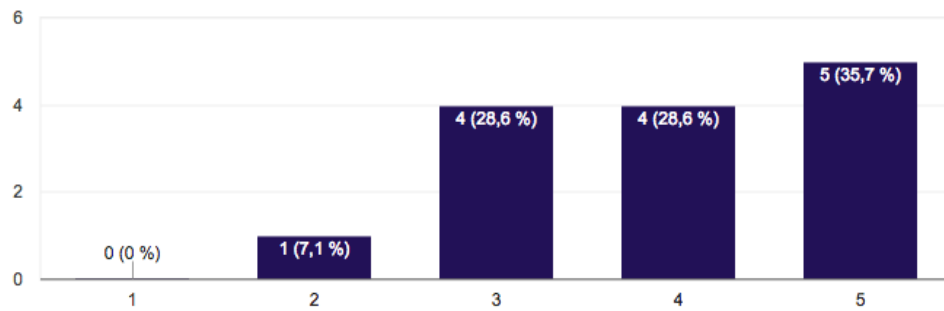
3D-elokuvia oli lasien kanssa katsellut 71,4 % vastaajista. Virtuaalilaseja oli kokeillut myös 71,4 % vastaajista.

5.2 VR-implanttiprototyypin käyttökokemus

Prototyypin käyttökokemusta kartoitettiin neljällä kysymyksellä (taulukot 1, 2, 3, ja 4). Käyttökokemus pisteytettiin asteikolla 1-5, jossa 5 tarkoitti erittäin hyvää ja 1 erittäin huonoa.

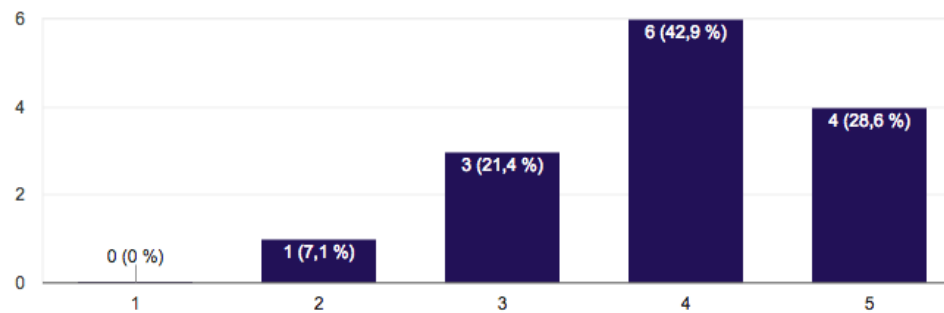
Taulukko 1. Kysymys: Oliko lasit mukavat päässä

14 vastausta



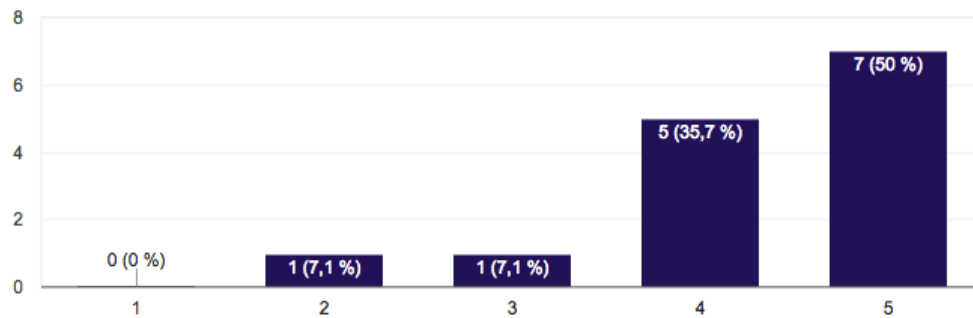
Taulukko 2. Kysymys: Kappaleiden käsittely VR-maailmassa, 1= erittäin vaikeaa, 5 = erittäin helppo

14 vastausta



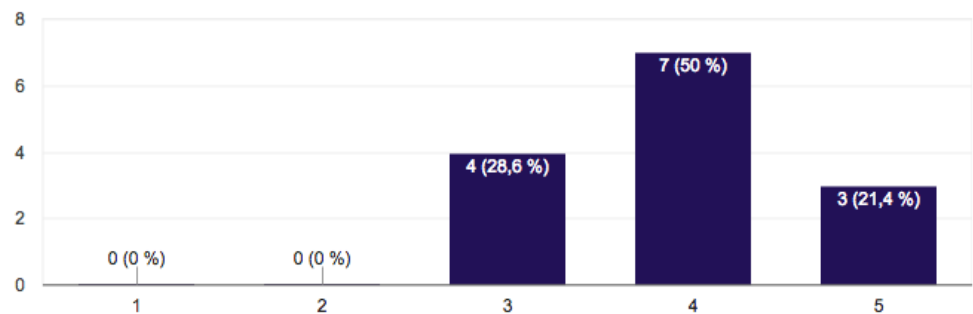
Taulukko 3. Kysymys: Anatomian hahmottaminen virtuaalimaailmassa

14 vastausta



Taulukko 4. Kysymys: Implantin asettelu leukaan virtuaalimaailmassa

14 vastausta

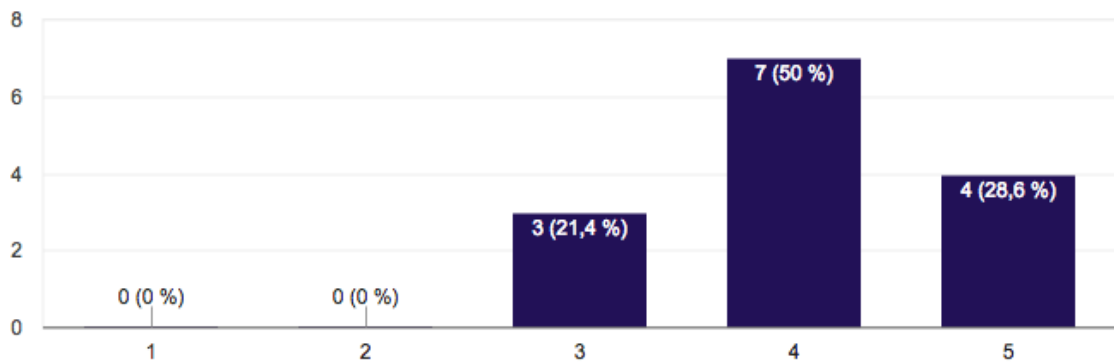


Annetut pisteet jakautuivat suurimmaksi osaksi 3-5 välille eli kaiken kaikkiaan ohjelmiston käyttökokemus koettiin positiiviseksi. Erityisesti anatomian hahmottamisen (taulukko 3) puolet vastaajista arvio erittäin helpoksi, 86 % erittäin helpoksi tai helpoksi. Implantin asetteluun koki helpoksi 50 %, eikä kukaan vaikeaksi.

Kysymykseen "VR-implanttidemon etuja ja/tai haittoja?" tuli 5 vastausta. Etuja vastaajat kertoivat olevan: "Hyvä työkalu visuaaliseen suunnitteluun tai koulutukseen", "Maallikon on varmasti helpompaa hahmottaa kokonaisuus VR-maailmassa kuin pelkistä leikkeistä", "Kokemus on ainutlaatuinen", "Liikkumisen vapaus" ja "Potilaan käyntikertoja voisi voidaan mahdollisesti vähentää tämän avulla". Haittoja puolestaan mainittiin: "Tämän käyttämiseen tarvitsee VR-lasit" ja "Vanhemmille harjoittelijoille tämä voi olla haastavaa". Haittoina mainittiin myös, ettei implanttisuunnittelu ole riittävän tarkka pelkän 3D-kuvan avulla, vaan avuksi kaivattiin myös 2D-leikenäkymiä. Nämä 2D-leikenäkymät lisättiin viimeiseen prototyyppiin.

5.3 Virtuaaliodellisuuden hyödyllisyyden kartoitus

Kysymyksessä "Näetkö virtuaaliodellisuuden tuovan etuja implanttisuunnitteluun" vastaukset jakoutuivat 3-5 välille. Suosituin vaihtoehto oli numero 4, jonka valitsi puolet vastaajista.



Taulukko 5. Kysymys: Näetkö virtuaaliodellisuuden tuovan etuja implanttisuunnitteluun.

Kysymyksessä: "Uskotko että virtuaaliodellisuudesta voisi olla hyötyä potilaan motiivinnissa " 78,6 % vastaajista vastasi kyllä, 21,4 % en osaa sanoa ja 0 % ei (taulukko 5).

5.4 Tutkimuksesta saadut kehitysideat

Kehitysideoita kartoitettiin kysymyksellä: "Mitkä työkalut tai ominaisuudet voisivat olla hyödyllisiä implanttisuunnittelussa virtuaaliodellisuudessa?" Yksi vastauksista oli, että nykyiselläkin toiminnallisuudella pääsee jo pitkälle.

Parhaiten kehitysideat saatiin poimittua katsomalla videoituja testitilaisuuksia. Kahden ensimmäisen prototyypin testauksen aikana saatiin parannusideoita, jotka lisättiin viimeiseen prototyyppiin. Tällaisia ominaisuuksia ja parannusideoita olivat:

- kyky muuttaa implantin kulmaa siten, että implantin keskipiste pysyy paikallaan
- implantin siirtäminen pysty akselin suunnassa
- luomallin leikkaus pään liikkeiden avulla

- luumallin leikkaus implantin liikkeen suuntaisesti
- 2D-leikenäkymät, jossa implantti liikkuu samanaikaisesti kuin luumallissa.

Neljä vastaajaa mainitsi koulutuskäytön eli virtuaalimaailmassa olisi hyvä kouluttaa implantin laittoa.

Kehitysideana toivottiin myös mahdollisuutta kahden henkilön yhtäaikainen oleminen virtuaalimaailmassa. Tätä ominaisuutta voitaisiin käyttää potilaan motivoinnissa tai kollegoja konsultoidessa.

Muita kehitysideoita ohjelmistototeutukseen olivat:

- kruunu- ja implanttikirjasto kokonaisuudessaan (eri valmistajien kaikki implanttimallit)
- 3D-valokuvan lisääminen
- hermokanavan piirtomahdollisuus
- 3D-pintamallin, jossa näkyvät muun muassa ikenet, lisääminen
- monipuolisemmat mittausmahdollisuudet
- implantin koon muuttaminen implanttia vetämällä,
- implantin porausohjurin suunnittelu.
- ohjaimen värinä kun käyttäjä osuu hermoon.

Testikäyttäjiltä saatiin monta kehitysideaa. Kaiken kaikkiaan kehitysideat olivat järkeviä ja toteutettavissa olevia.

6 Tulosten pohdinta

Saatu palaute pyrittiin jaottelemaan kahteen kategoriaan: itse ohjelmistototeutusta koskevaan palautteeseen ja VR-toteutukseen/kokemukseen. Jaottelu auttaa tulosten analysoinnissa.

Suurin osa positiivisuudesta palautteesta kohdistui VR-toteutukseen. Kallon ja implantin liikuttaminen samaan aikaan koettiin hyödylliseksi ja sellaiseksi, mitä tietokoneohjelmista puuttuu. Käytettävyysskyselyssä parhaimmat arvostelut sai kallon anatomian hahmottaminen ja kaksi vastaajista sanoi luomallin hahmottamisen olevan helpompaa virtuaalimaailmassa kuin tietokoneen näytöltä. Virtuaalimaailma sai myös ensikertalaisille wau-efektin aikaan, ja vastaajat kuvailivat prototyyppiä ainutlaatuiseksi kokemukseksi. Liikkumisen vapaus oli kiinnostavaa ja aivan uusi tapa työskennellä, jota useat kuvailivat näppäräksi ja hauskaksi. Yksi lääkäri uskoi, että virtuaalitodellisuuden avulla voitaisiin myös potilastapaamisia vähentää, koska toimenpiteen hahmottaminen olisi potilaalle helpompaa.

Ohjelmistototeutukseen kohdistuvaa kritiikkiä saatiin kahdelta vastaajalta, jotka kertoivat luurajan hahmottamisen olevan epäselvää, ja he toivoivat samaa tarkkuutta kuin 2D-leikekuvissa. Viimeiseen prototyyppiversioon tämä korjattiin tuomalla 2D-leikekuvat. Testihenkilöt, jotka testasivat viimeistä prototyyppiä, eivät enää maininneet ongelmia luurajan hahmottamisessa.

Taustatiedoissa kysyttiin testajan ikää. Eri ikäryhmille laskettiin annettujen käyttökokemuspisteiden keskiarvo. Maksimikeskiarvo oli 20, joka tarkoitti täydellistä käyttökokemusta. Alle 35-vuotiaiden antaminen pisteiden keskiarvo oli 17,5 pistettä, 35—55-vuotiaat 16,4 pistettä ja yli 55-vuotiaat 12 pistettä. Eli mitä nuorempi testaja sitä parempi oli käyttökokemus. Ero pisteiden välillä oli tosin niin pieni ja testattavien määrä niin pieni, ettei tästä voida suurempia päätelmiä tehdä.

Kukaan testajista ei sanonut kokevansa pahoinvointia. Yksi testajista kertoi kuitenkin, ettei haluaisi käyttää laitetta pitkään, koska se voisi aiheuttaa huimausta.

Kysymyksessä "Uskotko että virtuaalitodellisuudesta voisi olla hyötyä potilaan motivoinnissa" 78.6 % vastaajista vastasi kyllä. Moni vastaajista otti myös VR-implanttiprototyypin potilaan motivointityökaluna puheeksi testitulaisuudessa. Lääkärit

olivat sitä mieltä, että virtuaalitodellisuus on hyvä tapa selittää leikkaus potilaalle ja saada hänet vakuuttuneeksi siitä, että leikkaus kannattaa tehdä. Potilaasta voi olla myös hyvin mielenkiintoista nähdä oma kallonsa virtuaalimaailmassa. Virtuaalitodellisuutta hyödyntävä lääkäri saattaa herättää potilaassa luottamusta. Tällainen lääkäri seuraa aikaansa ja uusimmat teknologiat ovat myös itse hoidossa käytössä.

Negatiivinen palaute VR-toteutukseen kohdistui ohjaimen käyttöön eli nappi, jolla esineisiin tartuttiin oli vastaajien mielestä vaikea löytää. Kaikki kuitenkin oppivat käyttämään nappia noin 10 minuutin käytön jälkeen. Jokainen sai myös asetettua implantin oikeaan kohtaan vähintään tyydyttävästi eli tästä voisi päätellä, ettei kapuloiden vaikeakäyttöisyys välttämättä ole todellinen ongelma. Perinteisellä tietokoneella tapahtuvan implanttisuunnittelu ei ole opittavissa kymmenessä minuutissa. Todennäköisesti ongelmat kapulan käytön kanssa eivät tule olemaan este virtuaalimaailman yleistymisessä, koska sen käyttö opittiin kuitenkin niin nopeasti.

VR-implanttiprototyyppi oli vastaajien hauska tapa työskennellä. Tämä oli toivottu tulos, sillä se on yksi koko virtuaalitodellisuuden merkittävimmistä eduista. Toiseen maailmaan siirtyminen on myös virkistävää vaihtelua toimistolle. Prototyyppiin suunnitellaankin vaihtuvat maisemat, jotta käyttäjä voisi työskennellä juuri sellaisessa maailmassa kuin haluaa. Virtuaalitodellisuudessa voi suorittaa tavallisen työtehtävän, mutta molempia käsiä käyttäen.

VR-implanttiprototyyppi keräsin niin kehuja kuin kritiikkiä, mutta positiivista kritiikissäkin oli se, että kritiikki kohdistui suurimmaksi osaksi ohjelmistototeutukseen eikä itse VR-toteutukseen. Esimerkiksi moni toivoi lisää mittausmahdollisuuksia, jotka ovat ohjelmistototeutuksesta kiinni. Tämä tarkoittaa sitä, että puutteet ovat helposti muutettavissa ja kuten testauksen aikanakin korjasimme käyttöliittymää paremmaksi.

7 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida, kannattaako VR-implanttiprototyyppiä jatkaa kaupalliseksi tuotteeksi.

VR-implanttiprototyypin kehittäminen asiakkaalle myytäväksi tuotteeksi vaatisi vielä kehitystyötä. VR-ohjelmisto pitäisi saada osaksi työnkulkua ja kuvantamisohjelmistoa siten, että potilaiden kuvat saataisiin vietyä helposti virtuaalitodellisuuteen ja toisaalta potilaalle tehty implanttisuunnitelma tuotua takaisin potilastietokantaan. Työmäärän arviointi ja määrittely vaatii lisätyötä, jonka perusteella voidaan lopullisesti arvioida, kannattaako hanketta viedä sinne saakka. Todennäköisesti mielekäs tapa olisi tuotteistaan VR-implanttisuunnittelu tietokoneella tehtävän implanttisuunnittelun rinnalle lisävaihtoehtoksi, esimerkiksi vaativien tapauksien suunnitteluun tai potilaan motivointiin. Planmecan laitteita ja ohjelmistoja on myös paljon käytössä yliopistoissa, missä VR-implanttiohjelmistoa voitaisiin käyttää hammaslääkäreiden opetuksessa.

Käyttäjätestien palaute oli kaiken kaikkiaan positiivista ja rohkaisevaa. Erityisesti kun otetaan huomioon, että testauksessa käytettiin prototyyppiä, eikä lopullista hiottua tuotetta. Moni koki itse implantin suunnittelun helpoksi, jopa näin lyhyen koulutuksen jälkeen. Vaikka lopulliseksi tuotteeksi hiominen saattaa vielä vaatia useiden kuukausien työn, tämän soveltuvuustutkimuksen perusteella kehitystä kannattaa jatkaa. Yksi vastaajista, professori ja leukakirurgi, oli sitä mieltä, että kaikki tuotekehityspanos pitäisikin jatkossa panostaa nimenomaan virtuaalitodellisuuden hyödyntämiseen.

Nykyistä prototyyppiä voidaan käyttää sellaisenaan Planmecalla asiakasvierailujen yhteydessä osoittamaan Planmecan teknologista edelläkävijyyttä. Lisäksi prototyyppiä voidaan käyttää näyttelyissä vetonaulana ja tarjota asiakkaille erilainen elämys normaali tuote-esittelyiden lisäksi, ja antaa asiakkaille kurkistus tulevaisuuden ratkaisuun.

Lähteet

- 1 Hammasimplantit. 2013. Suomen Hammaslääkäriliitto.
<<http://www.hammaslaakariliitto.fi/fi/suunterveys/suunhoitotoimenpiteet/hammasimplantit#.WhmTFBO0OgQ>>. Luettu 2.3.2018.
- 2 Kuva. Planmeca Oy.
- 3 Carl E. Misch. 2008. Conmtemporary Implant Dentistry.
- 4 Mikä hammasimplantti on? Sakala Hambaravi
<<https://www.sakalahambaravi.ee/fi/mikae-hammasimplantti>>. Luettu 2.3.2018.
- 5 Implantti paikkaa puuttuvan hampaan pysyvästi. Hammas Pulssi.
<http://www.hammaspulssi.fi/artikkelit-implantit_ja_proteesit-implantti_paikkaa_puuttuvan_hampaan_pysyvasti>. Luettu 20.1.2018.
- 6 Osku Sundqvist. 2018. Planmeca tuotekehityspäällikkö. Planmeca. Herttoniemi: 17.3.2018.
- 7 Kuva. Planmeca Oy Romexis – ohjelmisto implanttisuunnittelumoduuli. 2017.
- 8 Anni Suomalainen ja Seppo K. Koskinen. 2013. Kartiokeilatietokonetomografia ja sen kliiniset sovellukset. Aikakausikirja Duodecim.
<<http://www.duodecimlehti.fi/lehti/2013/10/duo10979>> Luettu 29.12.2017.
- 9 Marko Ahonen. 2015. Cerec Guide 2 täysin digitaalinen implanttiohjuri. Hammasväline Extra 6-2015.
<https://www.hammasvaline.fi/files/2541/Cerec_kayttajakokemuksia_Extra6-2015.pdf>. Luettu 2.3.2018.
- 10 VIEW-MASTER HISTORY. 20th century tereo viewers.<<http://www.viewmaster.co.uk/htm/history.asp>>. Luettu 4.1.2018.
- 11 Babak Arvanaghi & Lasse Skytt. 2016. Virtuaalitodellisuus -tulevaisuus on täällä tänään. Tieteen kuvalehti.
<<http://tieku.fi/teknologia/vempaimet/virtuaalitodellisuus>>. Luettu 20.12.2017.
- 12 Kevin Cheng & Paul A. Cairns. Behaviour, Realism and Immersion in Games.<https://static.aminer.org/pdf/PDF/000/087/897/behaviour_realism_and_immersion_in_games.pdf>. Luettu 3.2.2018.
- 13 Ronald T. Azuma. 1997. A Survey of Augmented Reality.
<<http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>>. Luettu 8.2.2018.

- 14 Vive Pre User Guide. HTC Vive. <https://www.htc.com/managed-assets/shared/desktop/vive/Vive_PRE_User_Guide.pdf>. Luettu 20.4.2018.
- 15 Tero Pänkäläinen. 2016. Miten Google Cardboard eroaa paremmista virtuaalilaseista. Virtuaaliodellisuus Suomessa. <<https://www.virtuaalimaailma.fi/google-cardboard-suomi/>>. Luettu 2.1.2018.
- 16 Sony PlayStation VR -virtuaalilasipakkaus, PS4. Verkkokauppa.com. <<https://www.verkkokauppa.com/fi/product/48823/jrcqk/Sony-PlayStation-VR-virtuaalilasipakkaus-PS4>>. Luettu 14.4.2018.
- 17 Oculus Rift -virtuaalilasit + Oculus touch -peliohjaimet. Verkkokauppa.com. <<https://www.verkkokauppa.com/fi/product/21616/jndxx/Oculus-Rift-virtuaalilasit-Oculus-touch-peliohjaimet>>. Luettu 14.4.2018.
- 18 HTC Vive -VR-järjestelmä. Verkkokauppa.com. <<https://www.verkkokauppa.com/fi/product/59720/gbqhx/HTC-Vive-VR-jarjestelma>>. Luettu 14.4.2018.
- 19 John Gaudiosi. 2015. How Ford goes further with virtual reality. Fortune. <<http://fortune.com/2015/09/23/ford-virtual-reality/>>. Luettu 20.3.2018.
- 20 Anthony G. Gallagher, E Matt Ritter, Howard Champion, Gerald Higgins, Marvin P. Fried, Gerald Moses, C Daniel Smith, and Richard M. Satava. 2005. Virtual Reality Simulation for the Operating Roomknkn. PMC. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1356924/>>. Luettu 12.1.2018.
- 21 Virve Rissanen. 2017. Virtuaaliodellisuus voi auttaa niin pelkoihin kuin aivojen kuntoutukseen – Näin VR-teknologiaa käytetään jo terveydenhuollossa. Helsingin sanomat. <<https://www.hs.fi/teknologia/art-2000005196401.html>>. Luettu 23.2.2018.
- 22 Virtual reality simulator for the rehabilitation of hemianopsia. Virtualware. <<http://virtualwaregroup.com/portfolio/virtual-reality-simulator-rehabilitation-hemianopsia>>. Luettu 4.4.2018.
- 23 Matti Seppänen. 2013. Silmät ja tietokone. Duodemic Terveyskirjasto. <https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00974>. Luettu 12.1.2018.
- 24 Thomas G. Plante. 2006. Psychological benefits of exercise paired with virtual reality: Outdoor exercise energizes while indoor virtual exercise relaxes. <https://www.researchgate.net/publication/232602617_Psychological_Benefits_of_Exercise_Paired_With_Virtual_Reality_Outdoor_Exercise_Energizes_Whereas_Indoor_Virtual_Exercise_Relaxes?enrichId=rgreq-485a6ae52df35adc424eabb25b28c84f-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIzMjYwMjYxNzI0ZmZlMDEyMzgwNTgyN>

Tg0NDRAMTQwMTE0ODQ0MzU1Mw%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf >. Luettu 19.3.2018.

- 25 Jukka Häkkinen. 2017. Estääkö pahoinvointi virtuaalitodellisuuden yleistymisen? Yle. <<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2017/04/13/estaako-pahoinvointi-virtuaalitodellisuuden-yleistymisen>>. Luettu 2.5.2018
- 26 Suomalainen VR-lasien kehittäjä Varjo keräsi 7 miljoonan rahoituksen – Mullistava teknologia vie virtuaalilasit uuteen aikaan. 2017. Talouselämä. <<https://www.talouselama.fi/uutiset/suomalainen-vr-lasien-kehittaja-varjo-kerasi-7-miljoonan-rahoituksen-mullistava-teknologia-vie-virtuaalilasit-uuteen-aikaan/f51098a7-76dd-3212-95b3-dd7eaedd3c6b>>. Luettu 4.4.2018.
- 27 Daniel Terdiman. 2015. VR and Augmented Reality Will Soon Be Worth \$150 Billion. Here Are The Major Players.Fast Company.<<https://www.fastcompany.com/3052209/vr-and-augmented-reality-will-soon-be-worth-150-billion-here-are-the-major-pla>>. Luettu 20.3.2018.
- 28 Joe Durbin. 2017. NVIDIA Estimates VR Is 20 Years Away From Resolutions That Match The Human Eye. Upload. <<https://uploadvr.com/nvidia-estimates-20-years-away-vr-eye-quality-resolution/>>. Luettu 19.4.2018.
- 29 OP Komonen. 2015. Virtuaalitodellisuus astetta todellisemmaksi – vedä käteen. Tivi. <https://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/2015-04-23/Virtuaalitodellisuus-astetta-todellisemmaksi-%E2%80%93-ved%C3%A4-k%C3%A4teen-3220402.html>. Luettu 6.3.2018.
- 30 Kuva. Planmeca Oy VR-implanttiprototyyppi. 2018.

Kysely

22.2.2018

Virtuaalitodellisuus implanttisuunnittelussa

Virtuaalitodellisuus implanttisuunnittelussa

Tässä lomakkeessa kysytään kysymyksiä liittyen vastaajan taustoihin sekä virtuaali-implantti demon käyttökokemukseen.

***Pakollinen**

Ikä *

- Alle 35
- 35-55
- Yli 55

Koulutus *

Erikoistumisala

Monta Implanttia laitit kuukaudessa *

- Muutamia
- 10-30
- Enemmän

22.2.2018

Virtuaalitodellisuus implanttisuunnittelussa

Käytätkö implanttisuunnitteluun *

- Panoraama röntgenkuva
- 2D tomografia röntgenkuva
- 3D-röntgenkuvaa / KKTT
- Intraoraali röntgenkuva
- Ei kuvaa ollenkaan
- Intraoraali optinen malli
- Muu:

Jos käytät implanttisuunnittelussa ohjelmistoa apuna, niin mitä ohjelmistoa?

Oletko käyttänyt virtuaalilaseja aikaisemmin *

- Kyllä
- En

Oletko katsonut elokuvia 3D-laseilla? *

- Kyllä
- En

22.2.2018

Virtuaalitodellisuus implanttisuunnittelussa

Uskotko että virtuaalitodellisuudesta voisi olla hyötyä potilaan motivoinnissa (Esimerkiksi esittämällä potilaalle tuleva toimenpide virtuaalitodellisuuden kautta) *

- Kyllä
- En
- En osaa sanoa

Mitkä työkalut tai ominaisuudet voisivat olla hyödyllisiä implanttisuunnittelussa virtuaalitodellisuudessa?

VR-implanttidemon etuja ja/tai haittoja?