

Juuso Jokinen

Silmäkuopan apeksin rekisteröinnin toistettavuus ja tarkkuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Terveys- ja hyvinvointiteknologia

Insinöörityö

15.4.2018

Tekijä Otsikko	Juuso Jokinen Silmäkuopan apeksin rekisteröinnin toistettavuus ja tarkkuus
Sivumäärä Aika	54 sivua + 4 liitettä 15.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintäteknikka
Ammatillinen pääaine	Terveys- ja hyvinvointiteknologia
Ohjaajat	Lehtori, Juha Havukumpu Pääsuunnittelija, Arto Poutala, Disior Oy
<p>Disior Oy ja Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri (HUS) ovat yhteistyössä aloittaneet tutkimusprojektin, jonka tarkoituksena on antaa tietoa silmäkuopan murtuman hoitokäytännöistä ja hoidon tuloksista. Insinööri työ on osa tätä tutkimusprojektia ja siinä etsitään tiettyjä maamerkkejä eli apeksipisteitä. Silmäkuopassa on monia hermoja, joista tärkein on näköhermo. Näköhermo kulkeutuu aivoihin samasta aukosta, jossa apeksipiste sijaitsee. Apeksi on näköhermokanavan silmäkuopan puoleinen pääty piste. HUS on yhteistyössä Disior Oy:n kanssa kehittänyt One Click -menetelmän silmäkuoppien tilavuuksien laskentaan. Kyseinen menetelmä tarvitsee lähtötiedoikseen käyttäjältä ainoastaan apeksien koordinaatit.</p> <p>Tämän työn tarkoituksena oli mitata silmänpohjan apeksipisteitä Disior Oy:n ja HUS:n tutkimusprojektia varten. Samalla arvioitiin tilastollisten menetelmien avulla sitä, millaisella tarkkuudella ja toistettavuudella apeksipisteitä on mahdollista löytää suuresta tietokonetomografiakuva-aineistosta.</p> <p>Mittausten ja tilastollisten analyysien perusteella voitiin arvioida apeksipisteiden löytyvän riittävällä tarkkuudella toistuvasti One Click -menetelmää varten x- ja z-suunnassa. Kuitenkin y-suunnassa virhe oli kaksinkertainen edellisiin suuntiin verrattuna. ParaView-ohjelma koettiin mielipidekyselyn perusteella hieman hankalaksi käyttää.</p> <p>Kuvasarjojen resoluutiota ja viipaleväliä tulisi parantaa. Kartiokeilakuvaus tuottaa tarkempaa kuvaa, ja kyseinen kuvantamislaitte soveltuu erinomaisesti pään alueen kuvantamiseen. TT-kuvat pitäisi myös saada aukeamaan jouhevasti, ilman ongelmia ja hitautta kuvien käsittelyssä. Manuaalisesti apeksipisteitä tutkittaessa axial-taso pitäisi pystyä määrittämään kolmen pisteen perusteella tarkasti ja symmetrisesti näköhermokanavan kohdalle. Sopivien pisteiden löytämiseksi vaadittaisiin lisätutkimusta ja lääketieteellistä näkökulmaa. Automatisoinnin avulla apeksipisteet saataisiin määriteltä ilman inhimillisiä virheitä.</p>	
Avainsanat	Silmäkuopan murtuma, Tietokonetomografia, Apeksi, One Click, ParaView, Tilastolliset menetelmät, Euklidinen normi, Varianssi-kovarianssimatriisi

Author Title	Juuso Jokinen Apex registration repeatability and accuracy in orbit
Number of Pages Date	54 pages + 4 appendices 15 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and communication technologies
Professional Major	Health technology
Instructors	Juha Havukumpu, Principal Lecture Arto Poutala, Principal Engineer, Disior Oy
<p>Disior Oy and hospital district of Helsinki and Uusimaa (HUS) have collaborated with a research project to provide information about blowout fractures and its treatment. The thesis is part of this research project and it searches for certain landmarks so called apex points. There are many nerves in the orbit and the most important is the optic nerve. The optic nerve is transmitted to the brain from the same cavity where the apex point is located. The apex is the end point of the optic nerve. HUS has collaborated with Disior Oy to develop a One Click method for calculating the volume of orbitals. This method requires only the apex coordinates from the user.</p> <p>The purpose of this study was to measure the apex points of the orbit based for Disior Oy's and HUS's research project. At the same time, statistical methods were used to evaluate the accuracy and repeatability of apex points in a large amount of computed tomography images.</p> <p>Based on measurements and statistical analyzes it can be estimated that apex can be reproduced with sufficient precision for One Click method in x- and z-directions. However, in y-direction the error was twice as compared to the previous one. Based on the opinion poll the ParaView program was a bit difficult to use.</p> <p>The resolution and slicing of CT-scans should be improved. Cone beam CT produces accurate images and this imaging device is ideally for scanning head. CT images should open smoothly without problems and slow picture processing. When examining apex points manually the plane should be determined by three points accurately and symmetrically on optic nerve canal. Finding these right points requires further investigations and a medical perspective. By means of automation apex points could be determined without human flaws.</p>	
Keywords	Blowout fracture, Computed tomography, Apex, One Click, ParaView, Statistics methods, Euclidean norm, Variance-Covariance matrix

Sisällys

Tiivistelmä

Sisällys

Alkusanat

Symbolit

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Silmäkuoppa	3
2.1	Luinen rakenne	3
2.2	Hermosto ja lihakset	4
2.3	Blowout murtuma	5
2.4	Murtuman diagnoosi	7
2.5	Murtuman hoito	8
2.6	One Click -menetelmä	9
3	Tutkimusmenetelmät	10
3.1	Tietokonetomografian kehitys	10
3.2	Tietokonetomografia menetelmänä	11
3.3	TT-laitteisto	11
3.4	Kuvantamistapa	14
3.5	Prosessointi ja visualisointi	15
3.6	Apeksipisteiden koordinaattien määrittäminen	18
3.7	Vertaileva käyttäjätesti ja mielipidekysely	20
3.8	Tilastolliset menetelmät	20
4	Tulokset	27
4.1	Tutkittava aineisto	27
4.2	Edustavien kuvasarjojen jatkotutkimus	28
4.3	Yhden kuvasarjan mittaukset ja niiden analysointi	31
4.4	Tutkimuksen ohjaajan vertailusarja	34
4.5	Testiryhmän mittaukset	37
4.6	Testiryhmän mielipidekyselytulokset	41

5	Johtopäätökset	44
6	Yhteenveto	49
	Lähteet	51
	Liitteluettelo	54
	Liite 1. Apeksipisteiden mittaustulokset tutkimusaineistosta	
	Liite 2. Testauksen ohje	
	Liite 3. Mieli­pide­kysely	
	Liite 4. Testiryhmän mittaustulokset	

Alkusanat

Tämä insinööriö on tehty Metropolian Ammattikorkeakoulua varten yhteistyössä Disior Oy:n kanssa. Työ on osa isompaa tutkimusta Disior Oy:n ja Helsingin Uudenmaan sairaanhoitopiirin välillä. Tässä yhteydessä haluan kiittää ensinnäkin Disior Oy:tä, joka antoi mahdollisuuden tämän insinööriöön toteuttamiseksi.

Haluan välittää kiitokseni insinööriöhön osallistuneille henkilöille. Kiitän insinööriön ohjaajaa diplomi-insinööriä Arto Poutalaa sekä diplomi-insinööri Sakari Soinia mielenkiintoisesta tutkimusaiheesta, toteutusmahdollisuuksista sekä saamastani tuesta insinööriön aikana. Lisäksi haluan kiittää filosofian lisensiaattia Pia Lainetta kommentoinista ja neuvonannosta sekä lääketieteen kandidaattia Mirko Maunulaa lääketieteellisestä tarkennuksesta. Disior Oy:n henkilökuntaa kiitän testin suorittamisesta, mittaustuloksista ja mielipidekyselyyn vastaamisesta. Metropolian ohjaaja lehtori Juha Havukumpu ansaitsee myös kiitokset ohjauksesta.

Kiitokset kuuluvat myös vanhemmilleni, perheelleni ja tyttöystävälleni tuesta opiskelun ja insinööriön tekemisen aikana.

Juuso Jokinen

Helsinki 15.4.2018

Symbolit

d_e	euklidinen normi, euklidinen etäisyys
e_x	absoluuttinen virhe
$f_x(x)$	normaalijakauman tiheysfunktio
Md_x	mediaani
Mo_x	moodi
n	mittausjoukon lukumäärä
s_x	keskihajonta
V	varianssi-kovarianssimatriisi
\bar{x}	keskiarvo
x_i	yksittäinen mittaustulos.
x_{max}	mittausjoukon maksimiarvo
x_{min}	mittausjoukon minimiarvo
x_n	keskihajonta kussakin sarjassa matriisilaskennassa
μ	lineaarinen vaimennuskerroin, odotusarvo
μ_{Air}	ilman lineaarinen vaimennuskerroin
μ_{Water}	veden lineaarinen vaimennuskerroin

Lyhenteet

2D	Kaksiulotteinen
3D	Kolmiulotteinen
Apex	Silmäkuopan kärki
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CBCT	Kartiokeilatietokonetomografia
DECT	Kaksoisenerginen tietokonetomografia
Dicom	Digitaalinen kuvaus ja kommunikaatio lääketieteessä
HU	Hounsfieldin yksikkö
HUS	Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri
MDCT	Monileiketietokonetomografia
PACS	Kuvien arkistointi ja kommunikaatio järjestelmä
SDCT	Yksileiketietokonetomografia
STL	Standardimallikirjasto
STP	Standardi lämpötila ja paine
TT	Tietokonetomografia
VTK	Visualisointikirjasto

1 Johdanto

Kasvoluiden murtumia tapahtuu Suomessa vuosittain noin 3000 kappaletta, pieni osa kasvoluiden murtumista on silmäkuopan murtumia. Silmäkuopan murtuman diagnosoinnin apuna on aikaisemmin käytetty röntgenkuvia, mutta nykyisin murtuman diagnosoinnissa tietokonetomografia (TT) on ensisijainen kuvantamistekniikka. Silmäkuopan murtumaa voidaan hoitaa leikkaamalla tai konservatiivisesti ilman leikkausta. Disior Oy ja Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri (HUS) ovat yhteistyössä aloittaneet tutkimusprojektin, jonka tarkoituksena on antaa tietoa silmäkuopan murtuman hoitokäytännöistä ja hoidon tuloksista. Kyseisessä tutkimusprojektissa verrataan mm. murtumapuolen silmäkuopan eli orbitan kokoa ehjän orbitan kokoon sekä sitä, kuinka hyvin mahdollinen korjausleikkaus palautti orbitan tilavuutta. Tämä insinööri työ on osa tutkimusprojektia ja tiettävästi vastaavaa ei ole aikaisemmin julkaistu. Insinööri työssä etsitään tiettyjä maa-merkkejä eli apeksipisteitä suuresta päin TT-kuva-aineistosta. Silmäkuopassa on monia hermoja, joista tärkein on näköhermo. Näköhermo kulkeutuu aivoihin samasta luisesta kanavasta, jossa apeksipiste sijaitsee. Apeksi on näköhermokanavan silmäkuopan puoleinen pääty piste.

Tutkimusta varten HUS on yhteistyössä Disior Oy:n kanssa kehittänyt uudenlaisen menetelmän silmäkuoppien tilavuuksien laskentaan. Kyseinen menetelmä on niin sanottu One Click -menetelmä, joka tarvitsee lähtötiedoikseen käyttäjältä ainoastaan apeksien koordinaatit.

Insinööri työn tarkoitus on löytää luotettavasti silmän pohjan apeksipisteet Disior Oy:n ja HUS:n tutkimusprojektia varten. Samalla tutkitaan, millaisella tarkkuudella ja toistettavuudella apeksipisteitä on mahdollista löytää TT-kuvista. Työn kirjallisuuskatsauksessa perehdytään silmäkuopan rakenteisiin luuston, lihaksiston ja hermojen osalta. Katsauksen tavoitteena on selvittää apeksipisteen sijainti silmäkuopassa ja perehtyä silmäkuopan murtumiseen sekä murtuman nykyisiin hoitokäytäntöihin. Lisäksi perehdytään TT-kuvauslaitteiden toimintaan, tarkkuuteen ja kuvien prosessointiin.

Työn aineisto kattaa 428 TT-kuvaa, ja jokaisesta kuvasta analysoidaan molemmat silmät empiirisillä mittauksilla. Sen lisäksi työssä kerätään muutamasta hyvin valitusta kuvasarjasta insinööri työn tekijän ja eri käyttäjien mittaamia apeksipisteitä. Menetelmän käyttäjävälisyyttä kartoitetaan testiryhmän mielipidekyselyllä. Tilastollisten menetelmien

lisäksi tutkimuksessa käytetään myös euklidista normia, normaalijakaumaa ja varianssi-kovarianssimatriisia havainnoimaan ja arvioimaan mittaustuloksien tarkkuuksia. Työn käytännön kokeet suoritetaan HUS:n toimittamien kuvasarjojen pohjalta Disior Oy:n tiloissa. One Click -menetelmän tilavuuslaskennat on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

2 Silmäkuoppa

Kasvoluiden murtumia tapahtuu Suomessa vuosittain noin 3000 kappaletta, joista 30 % vaatii leikkaushoitoa (Aho). Tavallisimpia murtumia ovat nenäluun, silmänpohjan, alaleuan, poskiluun ja hampaiden murtumat. Noin kolmasosa iskuvammoista aiheuttaa lisäksi muita vakavia silmävaurioita kuten verkkokalvon irtauman, verkkokalvon verenvuodon, keskeisen näköalueen turvotuksen, lävistävän silmävamman tai silmäkuopan murtuman.

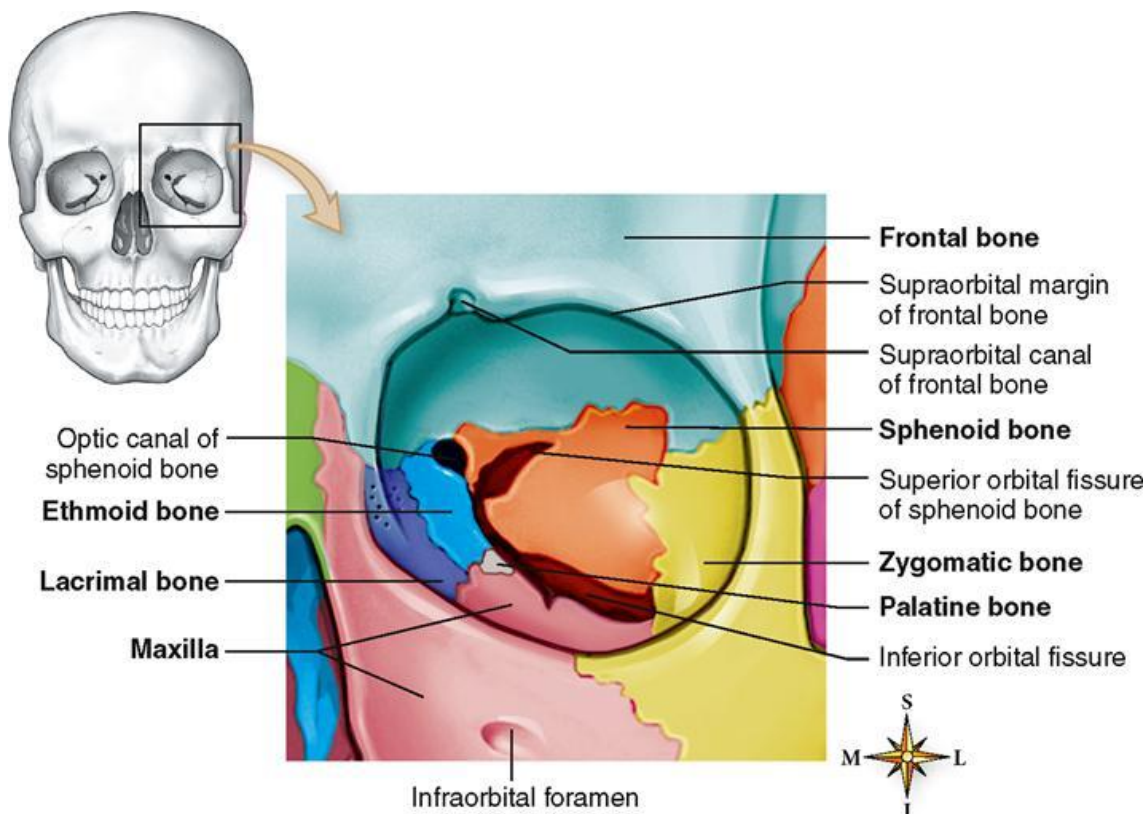
Suomessa esiintyy vuosittain 50 000 silmätapaturmaa (Ikäheimo ja Sorri 2007). Puolet näistä tapahtuu vapaa-ajalla, liikenteessä tai urheilua harrastaen. Varsinkin pallopelit ja pahoinpitelyt aiheuttavat silmä- ja kasvovammoja. Silmävammat ovat selkeästi yleisempiä miehillä kuin naisilla. Koska vähäiseltäkin näyttävät silmävammat voivat vaurioittaa pysyvästi silmän näkökykyä, on silmävammat aina otettava vakavasti. Lievien silmävammojen hoito kuuluu ensisijaisesti terveyskeskuslääkärin hoidettavaksi. Tarvittaessa silmätauteihin erikoistuneen lääkärin konsultaatiota pyydetään, ja potilas voidaan ohjata silmälääkärin vastaanotolle. Poikkeuksena on silmäkuopan murtuma, jonka hoito kuuluu ensisijaisesti korva-, nenä- ja kurkkutautien erikoislääkärille. Eli vaikka kyseessä onkin silmävamma, ei sen hoito välttämättä vaadi silmälääkärinä (Ikäheimo ja Sorri 2007).

2.1 Luinen rakenne

Luinen silmäkuoppa eli orbita (kuva 1) sisältää silmän lisäksi ulkoiset silmälihaksen, hermoja, verisuonia, kyynelrauhanen ja kyynelpussin. Näiden lisäksi silmäkuopassa on sidekudoskalvoja ja rasvaa helpottamassa silmälihasten sekä silmän liikkeitä. Muodoltaan silmäkuoppa on nelikulmainen pyramidi, jossa on pohja, neljä seinää ja apeksi. Kummankin silmäkuopan sisäseinämät ovat yhdensuuntaiset, ja niiden väliin jää nenäontelo. Ulkoseinämät ovat 90°:n kulmassa toisiinsa nähden. Silmäkuopan pohja rajoittuu poski-onteloon ja silmäkuopan kärki (apex) sijaitsee silmäkuopassa posteriorisesti mediaalisen luomikulman tasolla. (Kivelä ym. 2011.)

Orbitan etureunan luut (kuva 1) ovat lujia ja suojaavat hyvin silmäkuopan sisäosan rakenteita. Silmäkuopan katto on suurimmilta osin otsaluun (os frontale) muodostama. Vain pieni osa siitä on peräisin kitaluusta (os sphenoidale). Ulkoseinämuodostuu kahdesta luusta: etuosan poskiluu (os zygomaticum) on vahvin orbitan luista; takaosan

ohut seinä on peräisin kitaluusta. Silmäkuopan pohja muodostuu vain yhden millimetrin paksuisesta yläleukaluusta (maxilla), joka on ohuutensa ja anatomisen sijaintinsa takia yleisimmin murtuva silmäkuopan luu. Sisäseinämä sisältää osia useasta luusta: seula- luusta (os etmoidale), kyynelluusta (os lacrimale), kitaluusta, otsaluusta ja yläleukaluusta (Aine ym. 2011).

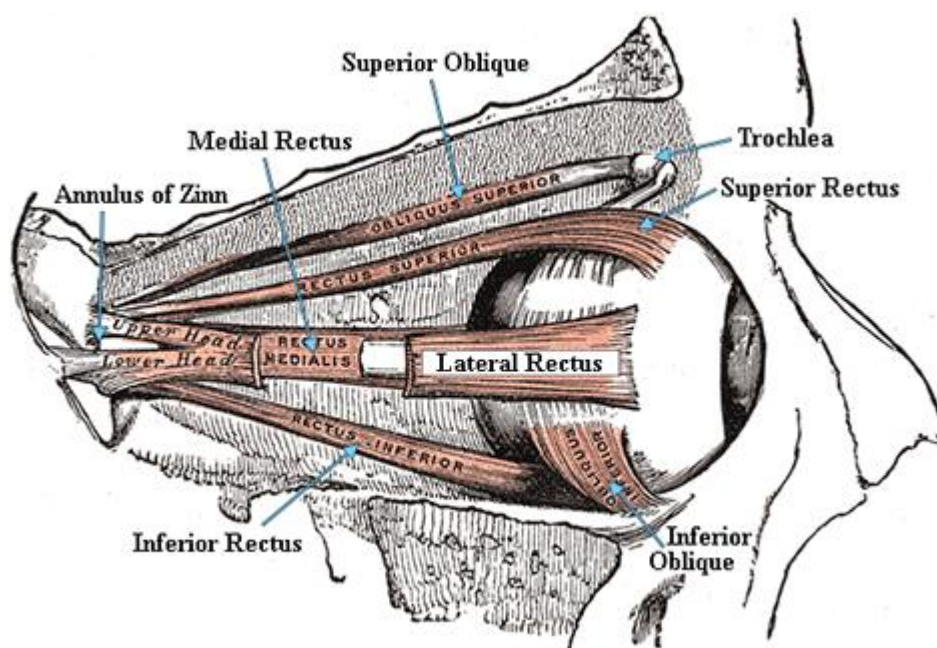


Kuva 1. Vasemman silmäkuopan luut. (Basicmedical Key 2018).

2.2 Hermosto ja lihakset

Täysikasvuisen ihmisen silmäkuopan tilavuus on mittaustavasta riippuen noin 29-30 millilitraa, josta silmän osuus on noin viidennes. Muu osa on silmää liikuttavia lihaksia ja rasvaa (Aine ym. 2011). Silmäkuopassa on monia hermoja, joista tärkein on näköhermo (nervus opticus). Näköhermo kulkeutuu aivoihin samasta luisesta aukosta, jossa apeksipiste sijaitsee. Tätä aukkoa kutsutaan foramen opticum:ksi. Samasta aukosta kulkee näköhermon lisäksi silmävaltimo. Lisäksi silmäkuopassa on muita aukkoja, joista kulkee pehmytrakenteita suonittavia verisuonia ja silmälihaksia hermottavia aivohermoja. Silmää liikuttaa kuusi lihasta (kuva 2), joiden toinen pää kiinnittyy silmän kovakalvon etuosaan ja toinen pää joko silmäkuopan luisen seinämään tai silmäkuopan takanurkassa

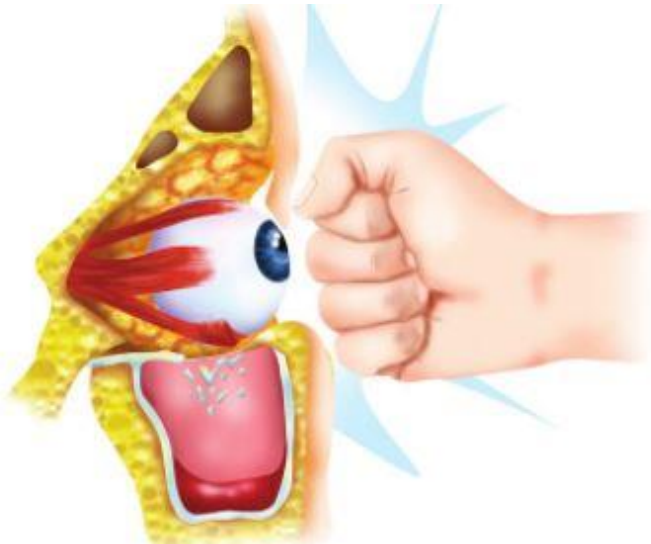
näköhermonpään ympärillä olevaan jännerenkaaseen. Normaalisti silmät toimivat niin, että niiden liikkeet ovat täsmälleen samansuuntaiset, esimerkiksi katseen seurataessa jotain liikkuvaa esinettä tai luettaessa. Lähelle tai kauas katsottaessa silmien välinen kulma muuttuu tasaisesti kummankin silmän kääntyessä sisään tai ulospäin. (Kivelä ym. 2011.)



Kuva 2. Silmänliikuttajalihakset. (Vestib 2018)

2.3 Blow out -murtuma

Silmäkuopan murtumaa kutsutaan englanniksi joko orbital floor fractureksi tai blowout fractureksi. Murtumalla on kaksi erilaista mekanismia (Desai ym. 2015). "Hydraulisessa" teoriassa silmämuna työntyy iskun seurauksena sisäänpäin, jolloin paine orbitassa eli silmäkuopassa kasvaa nopeasti. Paineen takia silmäkuopan ohut luupohja murtuu ja työntää murtuneen luun ja rasvakudoksen alaspäin poskionteloon (Saari ym. 2011).



Kuva 3. "Hydraulinen" teoria, isku suoraan kohti silmää. (Desai ym. 2015)

"Nurjahdus"-teorian mukaan tylppä isku poskipäähän välittää paineaallon silmäkuopan pohjaan, joka nurjahtaa ja murtuu. Tässä teoriassa murtuman suunta voi olla joko ylös silmäkuoppaan tai alas poskionteloon päin, riippuen iskun voimasta ja suunnasta.



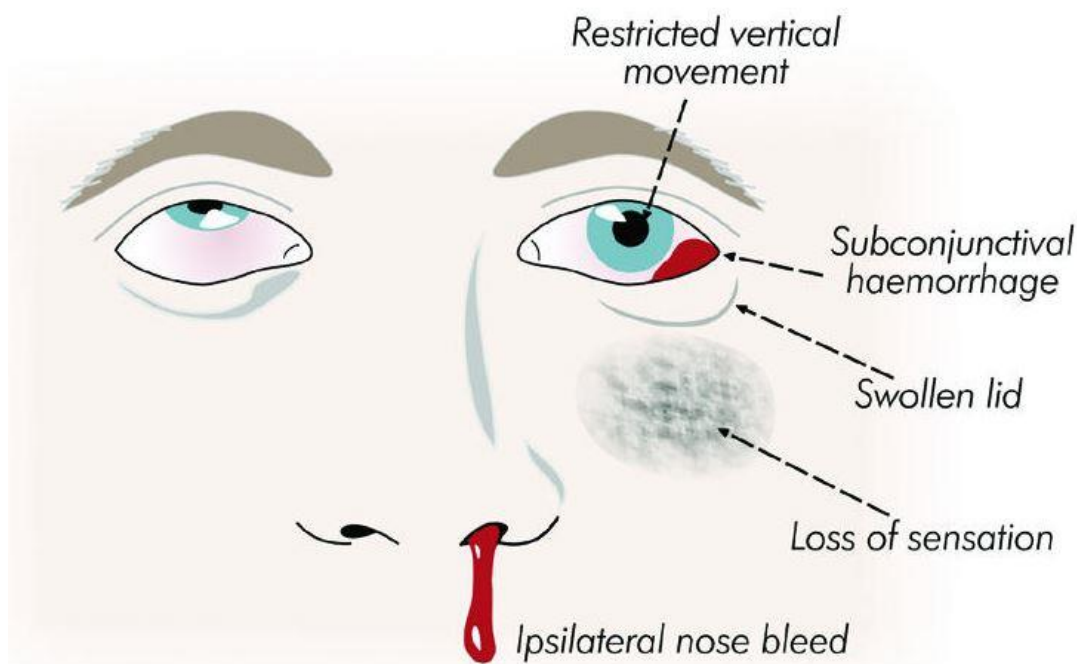
Kuva 4. "Nurjahdus"-teoria isku kohti poskipäätä. (Desai ym. 2015)

2.4 Murtuman diagnoosi

Silmään kohdistunut isku voi aiheuttaa silmänpohjan murtumisen. Murtumaa epäiltäessä tarkistetaan mustuaisreaktiot, silmien liikkeet, silmänpohja, silmänpaine ja alaluomen ihotunto (Jousimaa ym. 2011). Joissakin tapauksissa ihon tunnottomuus voi ulottua ikeeniin asti. Blowout murtumaa voidaan epäillä, jos potilaalla esiintyy seuraavia oireita (Khaw ym. 2004):

- voimakas turvotus
- diplopia eli kaksoiskuvien näkemistä
- tunnottomuus alaluomen alueella
- hypo-/hypertropia eli silmät katsovat eri suuntiin
- silmien liikeratojen vajavaisuus
- enoftalmus eli sisäänpäin työntynyt silmämuna
- ylös-alas katsomisen vaikeus.

Silmän liikeratojen laajuuden tutkiminen on yksi tärkeimmistä diagnostisista toimenpiteistä, jonka tutkiva lääkäri potilaalle tekee. Murtuneen puolen silmä ei vastaa liikkeeseen samalla tavalla kuin ehjän puolen silmä (Tapiovaara 2003). Vajaa liike voi selittyä silmän lihasten, erityisesti alasuoran lihaksen (kuva 2 inferior rectus), hakautumisesta murtumarakoon (Saari ym. 2011). Epätavallista on, että muut lihakset tarttuisivat murtumarakoon sijainneistaan huolimatta (Folkestad. 2006). Mikäli silmälihaksen selkeä hakautuminen murtumarakoon todetaan, tulisi murtuma hoitaa operatiivisesti mahdollisimman nopeasti. Muissa tapauksissa operatiivinen hoito tulisi suorittaa kahden viikon kuluessa murtumasta. Lapsilla silmäkuopan murtumat on korjattava mahdollisimman nopeasti. Kriittisenä aikana on pidetty 4-5 vuorokautta (Kwon ym. 2005). Lasten elastisemmän luurakenteen vuoksi murtuma ei fragmentoidu eli pirstaloidu kuten aikuisilla (Hopsu ym. 2008). Lapsilla on todettu myös aikuisia enemmän huonovointisuutta sekä oksentelua murtuman yhteydessä. Blow out -murtuma varmistetaan radiologisella tutkimuksella, joko röntgen- tai TT-kuvilla, nykyään kuitenkin lähes aina TT-kuvauksella.



Kuva 5. Blow out -murtuman diagnosointi. (Khaw ym. 2004)

2.5 Murtuman hoito

Varhainen diagnoosi ja hoito ovat tärkeitä hyvän hoitotuloksen saavuttamiseksi. Ajan kuluessa murtuman korjaaminen hankaloituu arpeutumisen ja pehmytkudoksen vähenemisen seurauksena. Todennäköisyys pysyvän oireen kehittymiseen kasvaa, mitä myöhemmin operaatio suoritetaan leikkaushoitoa vaativalle murtumalle. Kirurginen hoito on usein välttämätöntä seuraavissa tapauksissa (Tapiovaara 2003):

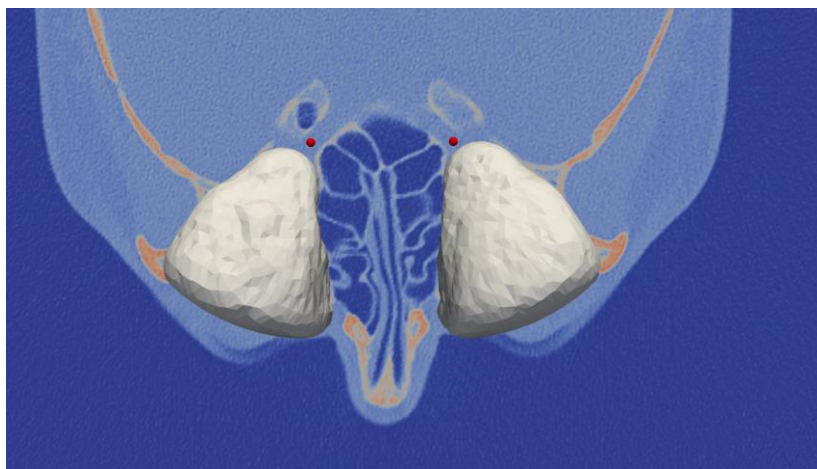
- Orbitan pohjan murtuma on suurempi kuin 2 cm tai suurempi kuin 50 % pohjan pinta-alasta.
- Enoftalmus (silmän "sisäänpäin" työntyminen) on suurempi kuin 2 mm.
- Alasuoralihaksen haurastuminen murtumarakoon.

Jos merkkiä isosta murtumasta ei ole, tilanne tarkistetaan poskiontelon kautta ja tarvittaessa reponoidaan eli palautetaan luut, lihakset, rasva- ja pehmytkudokset paikalleen ja tuetaan tamponoimalla (Tapiovaara 2003). Laajemmassa murtumassa leikkaus tehdään suoraan orbitan pohjan kautta. Orbitan pohja korjataan joko luusiirteiden, titaniumlevyjen

tai muiden keinotekoisien verkkojen avulla (Tapiovaara 2003). Näiden levyjen ja verkkojen asettelussa on oltava tarkka, jotta tuki pehmytkudoksiin saavutetaan alkuperäisen rakenteen mukaisesti (Danielsson ym. 2014). Erilaiset 3D-tekniikat ovat yleistyneet silmänpohjan murtumien korjauksissa. Nämä tekniikat mahdollistavat hoidon paremman suunnittelun sekä operaation tehokkuuden.

2.6 One Click -menetelmä

Disior Oy:n ja HUS:n kehittämä One Click -menetelmä määrittää orbitaalin tilavuuden merkitsemällä koordinaattipisteen eli apeksipisteen näköhermokanavan uloimman aukon kärkeen. Tämä kohta valitaan kahdesta syystä. Ensinnäkin hermokanavan sijainti on muuttumaton ja toiseksi se on helposti tunnistettavissa TT-kuvasta. Apeksipisteen (x, y, z) tarkkaa sijaintia säädetään edelleen algoritmilla käyttäen kanavan ennalta määritettyä muotoa. Orbitaalisen ontelon keskelle lisätään automaattisesti sijoitettu virtuaalinen pallo, joka alkaa laajentua silmäkuopassa. Sen tilavuuden määrittävän kiertoradan rajat muodostuvat näköhermokanavasta ja silmän rengasreunasta etupuolelta. (Soini 2018.)



Kuva 6. Silmäkuopan tilavuuden laskentaa. (Disior Oy 2018)

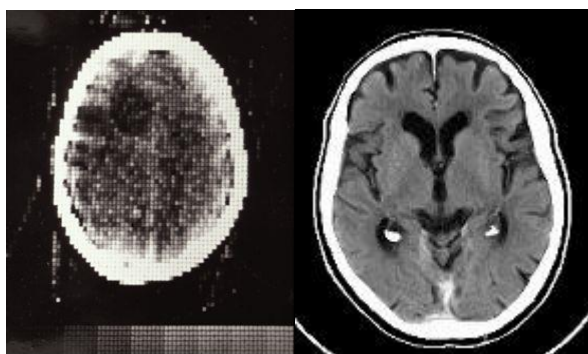
Pallon laajenemisen on pysähdyttävä todellisen kiertoradan rajalla. Tämä suoritetaan soveltamalla tiettyjä pysäytyskriteerejä, jotka perustuvat suoraan ennalta annettuihin DICOM-tietoihin. (Soini 2018.)

3 Tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa perehdytään tietokonetomografiaan, sen kehitykseen, eri kuvantamislaitteisiin sekä kuvaamistapaan. Lisäksi TT-kuvien prosessointia tutkitaan, kuinka raakadatasta luodaan kolmiulotteinen malli. Tutkimuksessa käytettävät mittaus- ja testausmenetelmät esitetään luvuissa 3.6 ja 3.7. Erilaisiin tilastollisiin menetelmiin paneudutaan luvun lopussa seikkaperäisesti.

3.1 Tietokonetomografian kehitys

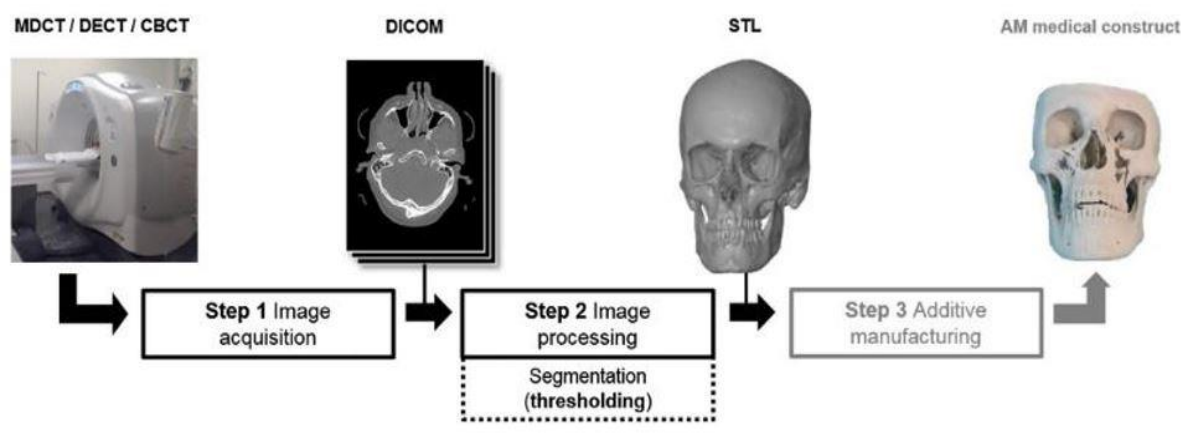
TT-kuvauksen kehittäjinä voidaan pitää englantilaista insinööriä Godfrey Hounsfieldiä ja amerikkalaista fyysikkoa Allan Cormackia. Heidät palkittiin tästä kehitystyöstä Nobelin palkinnolla vuonna 1979. 1970-luvulla ensimmäiset TT-kuvauslaitteiden prototyytit julkaistiin. Säteilyannokset olivat suuria kuvantamiseen käytetyn ajan takia ja kuvien tarkkuus oli heikkoa pienen pikselimäärän johdosta (80x80 pikseliä). Edellä mainittu pikselimäärä tarkoitti, että yksi pikseli vastasi noin 3 mm x 3 mm -kokoista aluetta, joten kuvat olivat syystäkin melko epätarkkoja. Tuolloin TT-kuvan ottamiseen kului aikaa tyypillisesti viisi minuuttia, ja kaksi ja puoli tuntia kuvan prosessointiin tietokoneella. 1980-luvulla kuvauslaitteistot olivat jo kehittyneempiä ja ensimmäiset kaupalliset laitteistot tulivat markkinoille. Nykyään TT-kuvauslaitteistot ovat nopeita, neljästä kymmeneen kuvaa sekunnissa, ja hyvin tarkkoja (1024x1024 pikseliä). Yksittäisen viipalekuvan sijaan otetaan peräkkäisiä kuvasarjoja spiraalin muotoisella liikeradalla. Yksi kuvaussarja kestää 5-15 sekuntia, eikä säteilyannoksesta ole katsottu olevan merkittävää haittaa (Kaukua ym. 2008).



Kuva 6. Kuvatarkkuuden kehitys 70-luvulta nykyaikaan verrattuna. (Impactscan 2018 & Imaginis 2018)

3.2 Tietokonetomografia menetelmänä

Tietokonetomografia (TT) eli viipalekuvaus on tutkimus, jossa röntgensäteiden avulla otetaan poikkileikekuvia halutulta alueelta. Kuvausalueeksi voidaan määrittää kohde niin pään, kaulan, vartalon kuin raajojenkin alueelta. Tutkimuksen aikana tutkittava makaa tutkimuspöydällä, ja pöytä liikkuu kuvauslaitteen sisään. Tärkeää on tutkittavan liikkumattomuus, koska kuvan tarkkuus kärsii herkästi. Leikekuvista saadaan eroteltua erilaisia yksityiskohtia, kuten esimerkiksi luita, rasvaa, ilmaa, sisäelimiä ja verisuonia käyttämällä erilaisia suodattimia ja muokkaamalla kuvia jälkikäteen. Tarpeeksi ohuina leikkeinä otetuista kuvista saadaan koottua kolmiulotteisia kuvamalleja. TT-kuvausmenetelmän vaiheet ovat varsinainen kuvaus, kuvien prosessointi, 3D-mallin luonti ja fyysisen mallin valmistus. Näistä vaiheista tarkemmin seuraavissa luvuissa, pois lukien fyysisen mallin valmistus, mikä ei ole tutkimuksen kannalta oleellinen. Fyysistä mallia voidaan kuitenkin käyttää hyödyksi esimerkiksi titaanilevyn sovittamisessa, jolloin voidaan varmistaa levyn istuvuus potilaan silmäkuoppaan.



Kuva 7. TT-kuvauksen vaiheet. (Forouzanfar 2016)

3.3 TT-laitteisto

TT-kuvaus on hyvin pitkälti samanlaista kuin tavallinen röntgenkuvaus, mutta siinä missä röntgenkuvaus rekisteröidään filmille, TT-kuvauksessa filmi on korvattu kaaren muotoisella vastaanottimella, joka mittaa röntgensäteiden profiilia. Tietokone laskee läpipäässeeseen säteilyyn, ja laitteisto tuottaa yhden kuvan jokaisen potilaan ympäri tehdyn kierroksen perusteella. Yhdessä tällaisessa kuvassa nähdään siis ikään kuin poikkileikkaus ku-

vauskohteesta. Tietokoneen ruudussa ja valmistetuissa kuvissa tasoa katsotaan alhaalta päin, jolloin ihmisen oikea puoli on kuvassa vasemmalla. Vierekkäisiä kerroksia peräkkäin katsomalla voidaan saada kolmiulotteinen käsitys alueesta. Kuvauslaitteiston kehitys on mahdollistanut erilaisia kuvantamismenetelmiä, joita käytetään lääketieteen alasta riippuen.

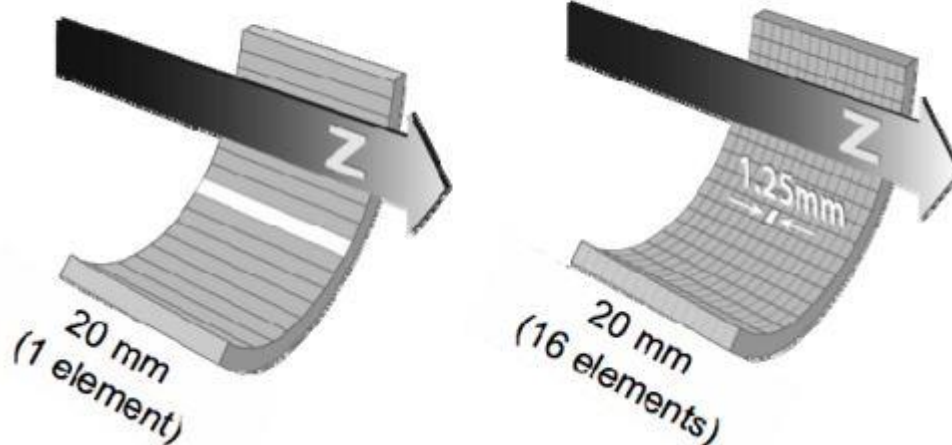
Tyypillisimmät menetelmät ovat:

- SDCT = Single-Detector row Computed Tomography
- MDCT = Multi-Detector row Computed Tomography
- DECT = Dual-Energy Computed Tomography
- CBCT = Cone-Beam Computed Tomography.

Nimensä mukaisesti SDCT-kuvantamislaitteessa on yksi ilmaisinerivi (detector). Tästä kehittyneempänä voidaan pitää MDCT-laitetta, jossa ilmaisimia on useammassa rivissä pituussuunnassa (ts. potilaan suunnassa). Kuvassa 8 MDCT-laitteet hyödyntävät kolmannen sukupolven CT-geometriaa, jossa sekä ilmaisinkaari että röntgenputki pyörivät yhdessä (Kalra ym. 2006). Näiden laitteiden ensisijainen etu on kyky skannata useampi kuin yksi viipale (slice) samanaikaisesti ja siten tehokkaammin käyttää säteilyä röntgenputkesta. Vertailun vuoksi taulukko 1 käsittelee saman valmistajan SDCT- ja MDCT-laitteiden eroavaisuuksia.

Taulukko 1. SDCT ja MDCT vertailu. (Fishman 2018)

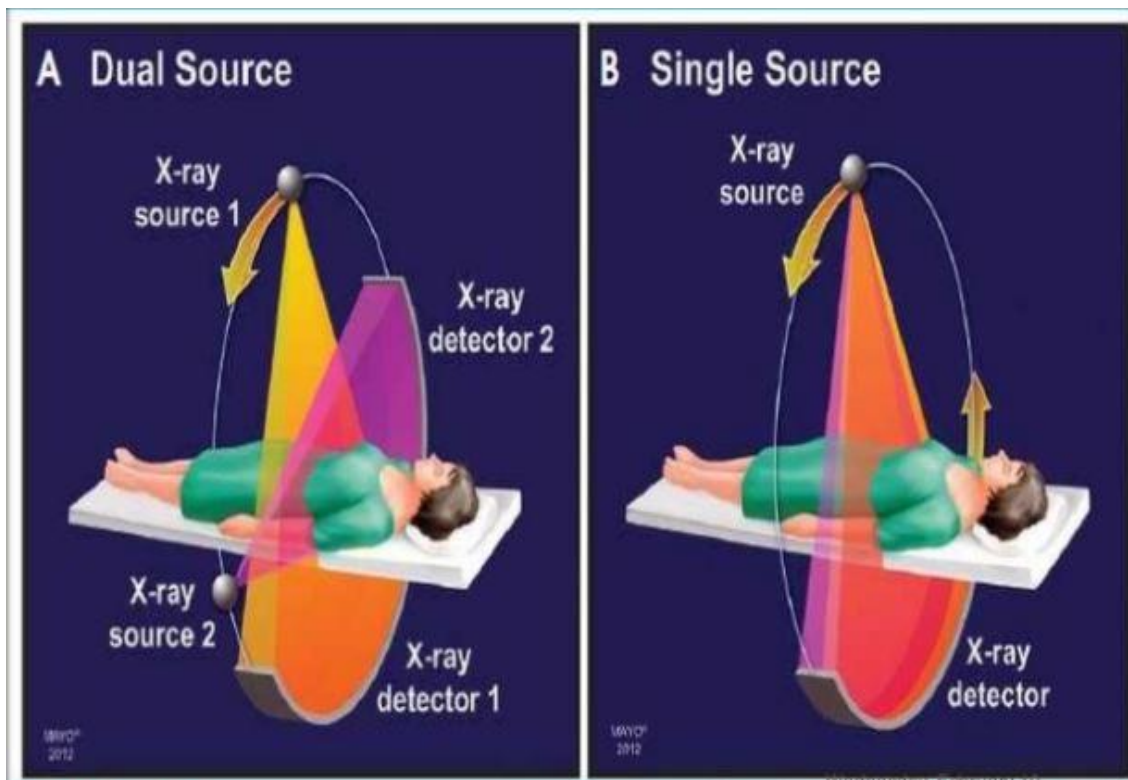
Siemens Plus – 4 (SDCT)	Siemens Volume Zoom (MDCT)
1 ilmaisinerivi	8 ilmaisineriviä
750 ms skannaus	500 ms skannaus
1.33 viipaletta/s	8 viipaletta/s
1 mm viipaleveys	0.5 mm viipaleveys
50 sekunnin spiraalitutkimus	100 sekunnin spiraalitutkimus
17 linjaparin resoluutio	24 linjaparin resoluutio

Single Detector Row CT**Multiple Detector Row CT**

Kuva 8. Viipaleen paksuus SDCT- ja MDCT-menetelmissä. (Kalra ym. 2006)

Kuten kuva 8 esittää molemmissa menetelmissä viipaleen paksuus on z-akselin (ts. potilaan) suunnassa 20 mm. SDCT-menetelmässä on yksi elementti kahdenkymmenen millimetrin matkalle. Kuvatussa, yhden kierroksen aikana, saadaan noin 900 elementtiä. Kuvan tapauksessa MDCT-menetelmässä viipaleen paksuus koostuu kuudestatoista elementistä, jossa yksi elementti on 1,25 mm. Nelikanavaisessa järjestelmässä mahdolliset viipalepaksuudet ovat 1,25 mm, 2,5 mm, 3,75 mm ja 5 mm. (Kalra ym. 2006.)

DECT-menetelmä on kohtalaisen uusi kuvantamistapa. Sen erikoisuutena on, että yhdessä laitteessa on kaksi toisistaan erillistä röntgenputkea ja näille vastaanottimet, kuten kuva 9 esittää (Koshy 2016). Kahden röntgenputken käyttö mahdollistaa röntgensäteille eri jännitteen. Jännite taas määrittää ihmiskehon eri osien mm. jänteiden ja kudoksien näkyvyyden (Johnsson ym. 2012). DECT-menetelmä sopeutuu hyvin vatsan- ja rinnan alueen TT-kuvauksiin, koska niissä on paljon pehmytkudosta ja luurakennetta (GE Healthcare 2018).



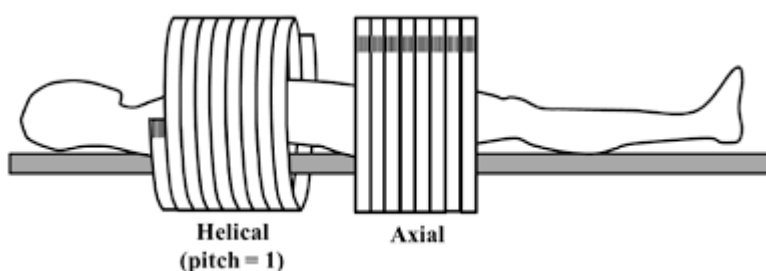
Kuva 9. DECT- ja MDCT-menetelmä. (Koshy 2016)

CBCT eli tuttavallisemmin suomeksi kartiokeilatografia on varsinkin hampaiston, leu-kojen ja pään alueen kuvantamiseen suunniteltu yleinen menetelmä. Muihin menetelmiin verrattuna sen aiheuttama säteily määrä on alhainen ja etuudeksi voidaan laskea myös kovakudosrakenteiden tarkka kuvantaminen. Lisäksi laitetta voidaan käyttää niin, että kuvauksen aikana potilas joko seisoo, istuu tai makaa. Kartion muotoinen röntgensäteilykeila ottaa 180–360 asteen pyörähdyksen aikana lukuisia kaksitasoprojektiokuvia eli röntgenkuvia. Kartiokeilakuvauksessa ei siis oteta poikkileikekuvia niin kuin muissa TT-kuvauksmenetelmissä. Matemaattisen esikäsittelyn jälkeen päästään kuitenkin samanlaiseen lopputulokseen eli vokselidataan. (Koskinen ym. 2013.)

3.4 Kuvantamistapa

Kuvauksmenetelmien lisäksi on olemassa kaksi hallitsevaa kuvaustekniikkaa tai -tapaa, joilla TT-kuvia otetaan. Puhutaan akselikuvauksesta ja spiraali-/helikaalikuvauksesta. Nämä tekniikat tarkoittavat siis sitä, miten kuvausputkea liikutetaan potilaan ympärillä.

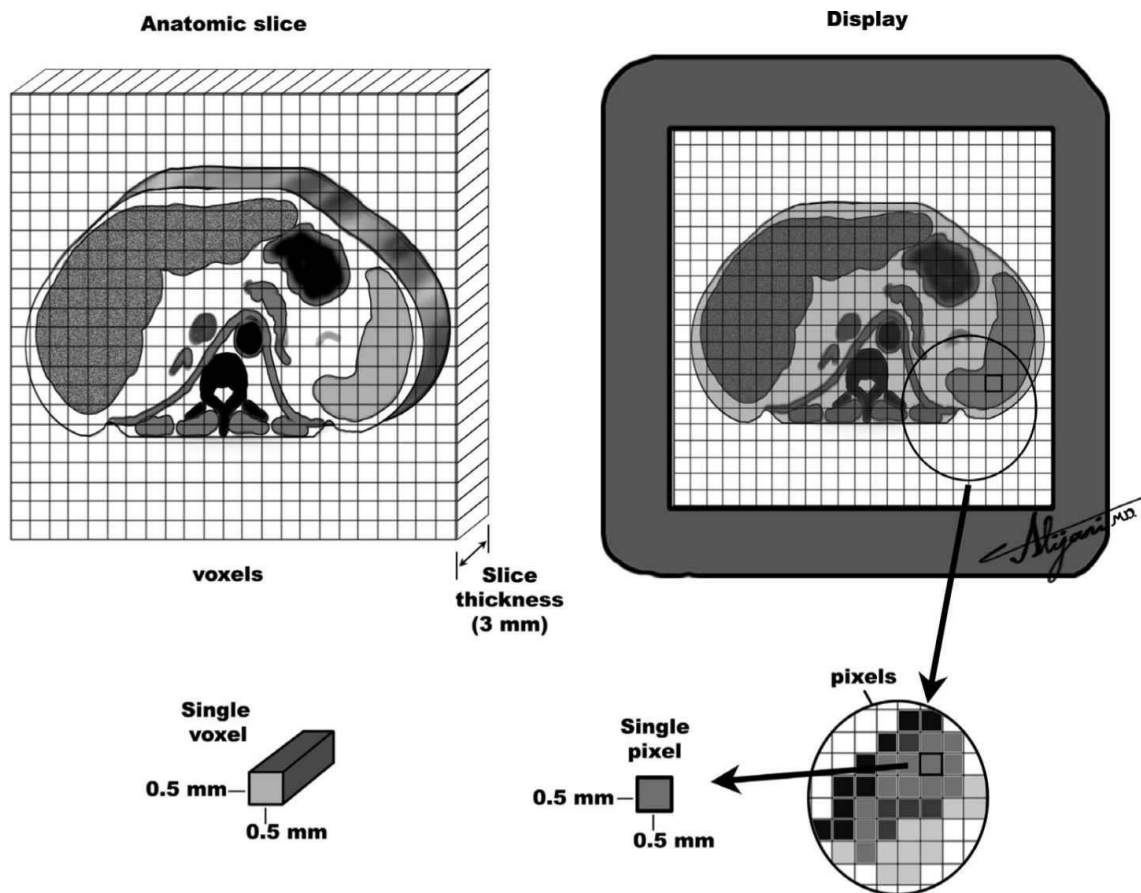
Akselikuvauksessa kuvausputki pyörähtää kerran potilaan ympäri, jolloin syntyy yksi leikekuva. Tämän jälkeen TT-laitteen pöytä liikkuu valittuun suuntaan leikepaksuuden verran. Tätä toistetaan niin kauan, kunnes kuvattava kehon osa on kokonaan kuvattu. Ongelmana tässä kuvantamistavassa on hitaus ja se, että leikkeiden paksuus ja kuvaussuunta on etukäteen päätettävä, eivätkä ne ole jälkikäteen muutettavissa. Spiraali- ja helikaalikuvauksessa TT-laitteen pöytä liikkuu tasaisesti ja jatkuvasti samalla, kun kuvausputki pyörii. Verrattuna akselikuvantamisen yksittäisiin leikkeisiin helikaalikuvauksessa saadaan spiraalin muotoinen tilavuus, josta voidaan laskea leikkeiden suunta ja paksuus halutulla tavalla. (Jauhiainen 2007.)



Kuva 10. Akseli- ja helikaalikuvauksen ero. (Cody ym. 2016)

3.5 Prosessointi ja visualisointi

TT-laitteesta saadusta raakadatasta muodostetaan digitaalinen kuvamatriisi. Lääketieteessä puhutaan DICOM:sta. Käsitteenä DICOM on kansainvälinen standardi, joka koostuu monesta osasta esimerkiksi kuvista, tekstitiedostoista ja niin edelleen. Yleisesti ottaen DICOM-kuvat ovat 2D-kuvia, eli ne sisältävät pikseleitä. Näitä päällekkäin kasaessa saadaan vokseleita eli ns. kolmiulotteisia pikseleitä, joilla on harmaita arvoja (Poutala 2018). TT-kuvien tapauksessa käytetään 12 bittiä, jolloin käytössä on $2^{12}=4096$ harmaasävyä. TT-asteikolla absorptiokertoimen arvot on sijoitettu välille $-1000 \dots +3096$ yhteensä siis 4096 (Jauhiainen 2007).



Kuva 11. Pikseli 2D ja Vokseli 3D. (Radiology Key 2018)

Nämä harmaat arvot ovat verrannollisia vaimennuskertoimeltaan potilaan vastaavassa tilavuudessa. MDCT-menetelmässä nämä harmaat arvot skaalataan Hounsfield-yksiköiden mukaan, ilma $HU = -1000$ (STP) ja vesi $HU = 0$ (STP), taulukko 2. Referenssivetenä käytetään tislattua vettä STP:ssä (Standard Temperature and Pressure). CBCT-menetelmässä röntgensäteilyn vaimennusaste skaalataan harmailla arvoilla, ja tämän menetelmän arvot ovat usein mielivaltaisia eivätkä vastaa MDCT-arvoja. Lisäksi eri CBCT-skannereiden välillä on raportoitu harmaiden alueiden suuria vaihteluja. Vokselin keskimääräinen lineaarinen vaimennuskerroin on μ . Ilmassa ja vedessä vastaavat lineaariset vaimennuskertoimet ovat μ_{Air} ja μ_{Water} (Forouzanfar ym. 2016).

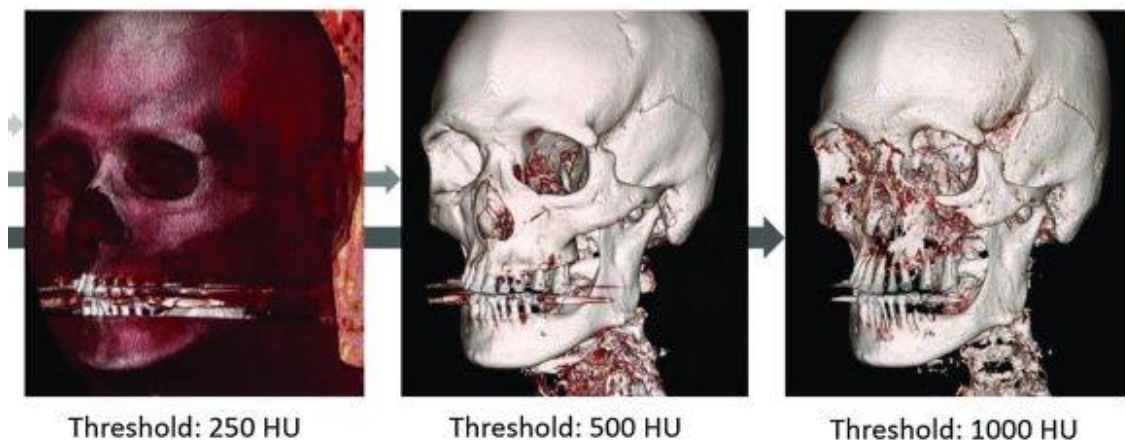
Hounsfield HU määritellään alla olevan kaavan mukaisesti

$$HU = \frac{\mu - \mu_{Water}}{\mu_{Water} - \mu_{Air}} \times 1000 \quad (1)$$

Yhden Hounsfieldin yksikön muutos edustaa 0,1 %:n muutosta veden vaimennuskertoimesta, koska ilman vaimennuskerroin on lähes nolla. Tämän takia TT-skannerit kalibroidaan veden vaimennuskertoimen mukaan.

Taulukko 2. Hounsfieldin arvoja eri aineissa.

Aine	HU-arvo
Ilma	-1000
Vesi	0
Rasvakudos	-120...-90
Pehmytkudos	+100...+300
Luu	+200...+700
Lihäs	+35...+55



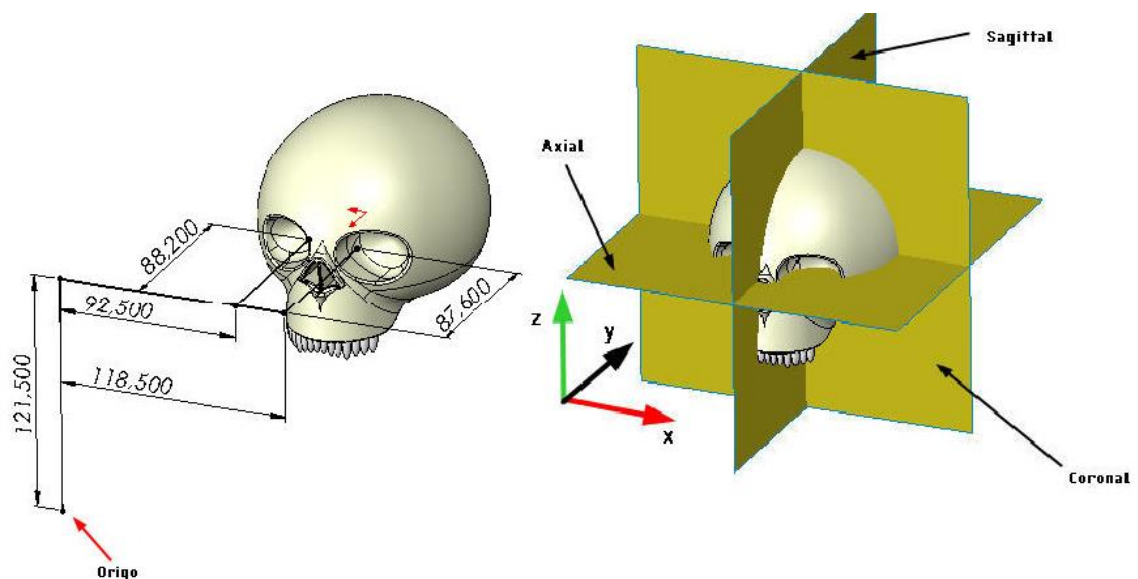
Kuva 12. Pään visualisointi eri Hounsfield-arvoilla. (Forouzanfar 2016).

3.6 Apeksipisteiden koordinaattien määrittäminen

Kehitysvaiheessa olevan menetelmän työvaiheet koostuvat seuraavasti:

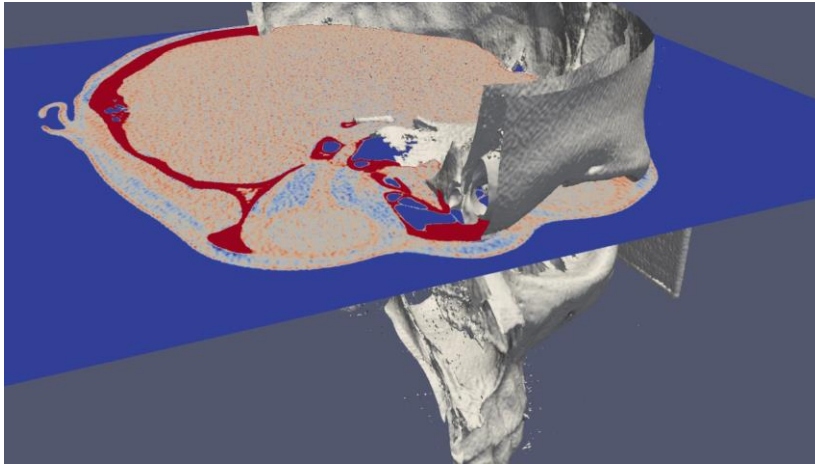
Ensimmäisessä vaiheessa VTK-tiedosto (Visualization Toolkit) avataan ParaView-ohjelmistolla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että vokselidata syötetään ohjelman muistiin. Ohjelmassa olevalla apply-painikkeella ohjelma luo STL-mallille kehyksen.

Toisessa vaiheessa pään STL-malli (Stereolithography) tuodaan contour-toiminnolla kehyksen sisään. Hounsfield-arvoja säätämällä näkyvyyttä voidaan parantaa (kuva 12), jolloin mm. silmähermokehän hahmottaminen STL-mallista helpottuu. Kuvassa 13 on esitetty mittauksissa käytettävät lääketieteelliset tasot ja koordinaattisuunnat apeksipisteille. Sagittal-taso liikkuu x-akselin suunnassa, coronal-taso y-akselin ja axial-taso z-akselin suunnassa.



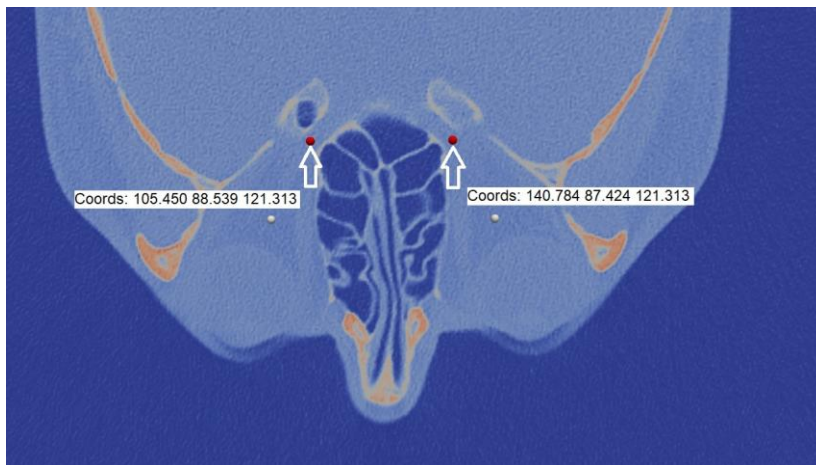
Kuva 13. Apeksipisteiden havainnollistaminen sekä axial-, sagittal- ja coronal-suunnat.

Kolmannessa vaiheessa STL-mallin lisäksi avataan halutussa tasossa viipalekuva ohjelman slice-toiminnolla. Tasoja hienosäädetään x- ja y-suunnissa sekä joissakin tapauksissa myös z-suunnassa. Tason säätämällä poikkileikkaus saadaan symmetrisesti ja tarkasti silmähermokehän kohdalta (kuva 14).



Kuva 14. Tason määrittäminen. (Disior Oy 2018)

Neljännessä vaiheessa viipalekuvasta määritetään apeksikoordinaatit molemmille silmille (kuva 15). Koordinaatit saadaan "hover points on" -toiminnolla. Kuvan punaiset pisteet kuvaavat apeksipisteitä. Tulokset kerätään tekstitiedostoon, koska se on nopein tapa kirjata ne tilavuuslaskennan algoritmia varten.



Kuva 15. Apeksipisteet ja niiden koordinaatit. (Disior Oy 2018)

Viimeinen vaihe on siirtää tekstitiedostossa olevat koordinaatit Excel-taulukointiohjelmaan. Excel-ohjelmassa datan käsittely on vaivatonta, sekä erilaisten matemaattisten laskutoimitusten ja tilastollisten arvojen määrittäminen on helpompaa. Tulokset on esitetty luvussa 4 sekä liitteissä 1 ja 4.

3.7 Vertaileva käyttäjätesti ja mielipidekysely

Vertailutesti ja mielipidekysely suoritettiin, jotta koordinaatteja saadaan muiltakin kuin vain tutkimuksen tekijältä ja että One Click -menetelmän luotettavuutta voitiin todentaa. Testiryhmä koostui Disior Oy:n työntekijöistä. Testiä varten laadittiin ohje, joka on esitetty liitteessä 2. Ohjeessa käytiin seikkaperäisesti luvun 3.6 vaiheet läpi. Lisäksi kysyttiin käyttäjien mielipiteitä ohjelman käytöstä ja yleisesti menetelmästä. Kysely on esitetty liitteessä 3. Testiin valittiin tietoisesti kymmenen laadukasta kuvasarjaa, joilla testattavia testattiin.

3.8 Tilastolliset menetelmät

Empiirisen tutkimuksen aineisto tai numeerisessa muodossa oleva tutkimusaineisto käsitellään yleensä tilastollisesti. Tutkimuksessa on päätettävä, millä tavalla tutkimusaineistoa käsitellään ja mikä on tutkimuksen kannalta sopivin otantamenetelmä. Kokonais-tutkimukseksi kutsutaan tutkimusta, jossa kohteina ovat kaikki mahdolliset kohteet, eli niin kutsuttu perusjoukko. Otantatutkimuksessa kohteiksi poimitaan osa tutkimuksen perusjoukosta, tätä osaa kutsutaan osajoukoksi. Osajoukosta tehdyt johtopäätökset pyritään yleistämään koko perusjoukkoon. Näitä kahta edellä mainittua periaatetta käytettiin tutkimuksessa sekä tutkimuksessa syntyneiden tulosten analysoinnissa. (Mellin 2006.)

Osajoukon valitsemista kutsutaan otannaksi. Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään ositettua otantaa. Ositetussa otannassa perusjoukosta valitaan ominaisuuksien osalta osajoukko. Ositetun otannan avulla pyritään varmistamaan, että otos on mahdollisimman edustava tutkimuksen kannalta merkittävien ryhmien osalta. Edustavassa otoksessa tärkeät ryhmät ovat edustettuina otoksessa samassa suhteessa kuin perusjoukossa. (KvantiMOTV 2003.)

Tilastollisissa menetelmissä keskeinen merkitys perustuu siihen, että toistettaessa mitä tahansa satunnaiskoetta tarpeeksi monta kertaa, virhe pienenee, muttei häviä. Tilastoiden tarkoituksena on osoittaa, millä todennäköisyydellä muuttujien välillä vallitsee eroja.

Tässä työssä laskettiin seuraavia tilastollisia arvoja:

Euklidinen normi ja euklidinen etäisyys. Euklidinen geometria on geometrian osa-alue, jolla tarkoitetaan yleensä tasoa ja kolmiulotteista avaruutta tutkivaa geometriaa. Euklidisiksi kutsutaan myös useampiulotteisia avaruuksia, joilla on samat ominaisuudet (Ruohonen 2006). Euklidisessa koordinaattigeometriassa tason kahden pisteen (x_1, y_1, z_1) ja (x_2, y_2, z_2) välinen etäisyys d_e määritellään Pythagoraan lauseen avulla

$$d_e = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (2)$$

Keskiarvo \bar{x} on tilastoaineiston jakaumien aritmeettinen keskiarvo

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

missä n on mittausten lukumäärä ja x_i on yksittäinen mittaustulos.

Aritmeettinen keskiarvo lasketaan, kun halutaan vertailtavuutta aineistojen, ryhmien tai muiden joukkojen kesken. Se yleensä vaihtelee varsin vähän otoksesta toiseen, jos vertailtavat kohteet on valittu samasta perusjoukosta sattumanvaraisesti. Keskiarvo sinänsä ei ole kovin mielenkiintoinen tilastollinen tunnusluku. Siksi aineiston tulkinnessa käytetään myös muita tunnuslukuja kuten mediaania ja moodia. Aritmeettinen keskiarvo on herkkä aineistossa esiintyville poikkeaville havainnoille, joten myös tästä syystä muita tunnuslukuja on syytä käyttää.

Virhearviointiin voidaan käyttää monia menetelmiä ja hypoteeseja kuten t-testiä tai z-testiä. Oleellista näille kuitenkin on, että ne perustuvat erilaisiin olettamuksiin kuten nol-lahypoteesiin tai vaihtoehtoiseen hypoteesiin. Tämä esimerkiksi tarkoittaa oletta-mukseksi sitä, että nollahypoteesin mittaustuloksissa ei oleteta olevan eroja, kun taas vaihtoehtoisessa hypoteesissa niitä on.

Virhettä voidaan myös arvioida hyvin yksinkertaisella menetelmällä, kuten alla on esi-tetty

$$e_x = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| \right) \quad (4)$$

missä e_x on absoluuttinen virhe.

Mittausjoukon **pienin** ja **suurin** arvo haluttiin myös selvittää. Nämä arvot lasketaan oheisten muuttujien x_{min} ja x_{max} mukaan.

Mediaani (Md_x) on se muuttujan arvo, jonka kummallekin puolelle jää 50 % kaikista tapauksista. Mediaani on siis järjestetyn joukon keskimäinen alkio. Mediaani lasketaan, kun jakaumat ovat huomattavan vinot. Esimerkiksi kun jokin mittaustulos on jakaumakentän toisessa laidassa.

Moodi eli (Mo_x) tyyppi-arvo on yksinkertaisin keskiluku. Se on eniten esiintyvä muuttujan arvo, eli siis se, jonka frekvenssi on suurin. Moodi lasketaan, kun halutaan tietää, mikä on aineistossa esiintyvä tyypillisin tapaus.

Keskihajonta s_x lasketaan, kun halutaan tietää mittausten sisäinen hajonta, tai edetä pidemmälle tilastollisissa laskutoimituksissa, esimerkiksi silloin, kun halutaan laskea muuttujien välisiä korrelaatioita tai niiden sisäisiä ja välisiä variansseja. Keskihajonnan neliötä kutsutaan varianssiksi. Keskihajonta antaa jo varsin luotettavan kuvan ryhmien välisistä eroista. Keskihajonta lasketaan alla olevan kaavan mukaisesti

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Normaalijakauma on yksi tärkeimpiä todennäköisyyslaskennan ja tilastotieteen jatkuvista jakaumista. On osoitettu, että sellaiset satunnaismuuttujat, joiden arvoon vaikuttavat useat eri tekijät, noudattavat usein normaalijakaumaa keskeisen raja-arvolauseen nojalla. Käytännössä siis esimerkiksi ihmisen henkiset ja fyysiset ominaisuudet ja havaintovirheet, missä tahansa mittauksessa, ovat likimain normaalisti jakautuneita (Sarpola 2018).

Normaalijakautuneille aineistoille pätee 68-95-99.7 -sääntö:

- 68 % havainnoista on yhden keskihajonnan mitan päässä keskiarvosta, eli 68 % havainnoista on välillä $(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$.
- 95 % havainnoista on kahden keskihajonnan mitan päässä keskiarvosta, eli 95 % havainnoista on välillä $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$.

- 99,7 % havainnoista on kolmen keskihajonnan mitan päässä keskiarvosta, eli 99,7 % havainnoista on välillä $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$.

Tämä sääntö perustuu seuraaviin normaalijakauman taulukkoarvoihin (Mannila ym. 2014):

- 95 % havainnoista on välillä, jonka alaraja on 0,025 ja yläraja 0,975.
- Taulukosta katsottuna $0,975 = \Phi(1,960)$, joka on noin kaksi.
- Vastaavasti $0,840 = \Phi(0,994)$ ja $0,9985 = \Phi(2,968)$, jotka ovat lähellä yhtä ja kolmea.

Tähän sääntöön perustuu se, että jotkut käyttävät testeissä tai luottamusvälejä laskiessaan arvoa 2 oikeamman arvon 1,960 sijasta (Hyhkö 2013).

Normaalijakauman tiheysfunktio $f_x(x)$ on muotoa

$$f_x(x) = \frac{1}{s_x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{x}-\mu)^2}{s_x^2}} \quad (6)$$

missä s_x on keskihajonta, \bar{x} on keskiarvo ja μ on odotusarvo.

Varianssi-kovarianssimatriisi

Varianssi-kovarianssimatriisi on neliömatriisi, joka sisältää useita muuttujia sisältäviä variansseja ja kovariansseja. Matriisin diagonaaliset elementit sisältävät muuttujien varianssit, ja off-diagonaaliset elementit sisältävät puolestaan kaikki mahdollisten muuttujaparien kovarianssit. Varianssi-kovarianssimatriisi on symmetrinen, koska kovarianssi muuttujien x ja y välillä on sama kuin muuttujien y ja x välinen kovarianssi. Varianssi-kovarianssimatriisi katsottiin soveltuvan hyvin apeksipisteiden koordinaattien vertailuun.

Tilastollisissa malleissa käytetään varianssi-kovarianssimatriisia estimaattoreiden tai estimaattoreiden vakioarvojen laskemiseen. Tämä tarkoittaa siis sitä, että matriisin kertoimien välisiä variansseja ja kovariansseja voidaan tarkastella kaikkien mahdollisten parien välillä. Kertoimien suuruus ja suunta parien välillä kertovat näiden riippuvuudesta ja vaikutuksesta toisiinsa nähden. Varianssi-kovarianssimatriisi V lasketaan seuraavasti

$$V = \begin{bmatrix} \sum \frac{x_1^2}{n} & \sum \frac{x_1 x_2}{n} \dots & \sum \frac{x_1 x_c}{n} \\ \sum \frac{x_2 x_1}{n} & \sum \frac{x_2^2}{n} \dots & \sum \frac{x_2 x_c}{n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum \frac{x_c x_1}{n} & \sum \frac{x_c x_2}{n} \dots & \sum \frac{x_c^2}{n} \end{bmatrix} \quad (7)$$

missä x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) on keskipoikkeama kussakin summasarjassa, $\sum \frac{x_i^2}{n}$ on i-sarjan elementtien varianssi ja $\sum \frac{x_i x_j}{n}$ on i- ja j-sarjojen elementtien kovarianssi (Kao & Zeng 1997).

Varianssi-kovarianssimatriisi lasketaan siten, että vasemman ja oikean silmän tulokset käsitellään erikseen. Kummastakin silmästä otetaan riittävän monta mittausta. Tässä esimerkissä käytetään viittä eri mittausta yhdelle silmälle. Silmän apeksipisteen koordinaatit ovat mittausarvoja x, y ja z.

Taulukko 3. Esimerkki varianssi-kovarianssin muodostamisesta mielivaltaisilla arvoilla.

Mittaus	x	y	z
1	90	60	90
2	90	90	30
3	60	60	60
4	60	60	90
5	30	30	30

Muodostetaan mittaustulosmatriisi

$$A = \begin{bmatrix} 90 & 60 & 90 \\ 90 & 90 & 30 \\ 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 90 \\ 30 & 30 & 30 \end{bmatrix}$$

Ratkaisu on kolmivaiheinen:

Ensimmäisessä vaiheessa transformoidaan matriisin A raakapisteet matriisiin a poikkeamispisteisiin käyttäen transformaatiokaavaa. Se kuvaa, kuinka raakapisteet muunnetaan poikkeamispisteiksi seuraavan kaavan mukaan

$$a = A - 11'A \left(\frac{1}{n}\right) \quad (8)$$

missä $11'$ on 5×5 ykkösmatriisi, a on poikkeama-arvojen matriisi $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{53}$, A on mittausmatriisi $A_{11}, A_{12}, \dots, A_{53}$ ja n = mittausten lukumäärä.

$$a = \begin{bmatrix} 90 & 60 & 90 \\ 90 & 90 & 30 \\ 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 90 \\ 30 & 30 & 30 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 90 & 60 & 90 \\ 90 & 90 & 30 \\ 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 90 \\ 30 & 30 & 30 \end{bmatrix} \left(\frac{1}{5}\right)$$

$$a = \begin{bmatrix} 90 & 60 & 90 \\ 90 & 90 & 30 \\ 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 90 \\ 30 & 30 & 30 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 66 & 60 & 60 \\ 66 & 60 & 60 \\ 66 & 60 & 60 \\ 66 & 60 & 60 \\ 66 & 60 & 60 \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} 24 & 0 & 30 \\ 24 & 30 & -30 \\ -6 & 0 & 0 \\ -6 & 0 & 30 \\ -36 & -30 & -30 \end{bmatrix}$$

Toiseksi lasketaan neliösummamatriisin poikkeamispistemäärät $a'a$, kuten alla on esitetty.

$$a'a = \begin{bmatrix} 24 & 24 & -6 & -6 & -36 \\ 0 & 30 & 0 & 0 & -30 \\ 30 & -30 & 0 & 30 & -30 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 24 & 0 & 30 \\ 24 & 30 & -30 \\ -6 & 0 & 0 \\ -6 & 0 & 30 \\ -36 & -30 & -30 \end{bmatrix}$$

$$a'a = \begin{bmatrix} 2520 & 1800 & 900 \\ 1800 & 1800 & 0 \\ 900 & 0 & 3600 \end{bmatrix}$$

Kolmanneksi luodaan varianssi-kovarianssimatriisi, kuten alla on esitetty.

$$V = \frac{a'a}{n} \quad (9)$$

$$V = \begin{bmatrix} 2520/5 & 1800/5 & 900/5 \\ 1800/5 & 1800/5 & 0 \\ 900/5 & 0 & 3600/5 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} \mathbf{504} & 360 & 180 \\ 360 & \mathbf{360} & 0 \\ 180 & 0 & \mathbf{720} \end{bmatrix}$$

Yllä olevan matriisin diagonaalissa näkyy **lihavoituna** kunkin mittauksen (x, y ja z) varianssi. Siitä näemme, että z-mittauksilla on suurin vaihtelu (720) ja y-mittauksilla pienin (360). Voimme siis sanoa, että z-mittauksien tulokset ovat muuttuvampia kuin y-mittausten tulokset. Näiden edellisten välissä on x-mittauksien varianssi (504). Kovarianssiarvot näkyvät matriisin diagonaalin ympärillä, ja ne ovat siis matriisissa symmetrisiä.

Kovarianssi x- ja y-mittausten välillä (360) sekä x- ja z-mittausten välillä (180) on positiivinen. Tämä tarkoittaa, että tulokset kovarioivat positiivisella tavalla. Kun x-mittausten tulokset nousevat, y-mittausten ja z-mittausten tulokset ovat myös taipuvaisia nousemaan ja päinvastoin. Kuitenkin kovarianssi y-mittausten ja z-mittausten välillä on nolla. Tämä tarkoittaa, että y-mittausten ja z-mittausten välillä ei ole ennustettavissa olevaa suhdetta. Jos mittausten välinen kovarianssi olisi ollut negatiivinen, olisi se tarkoittanut, että mittaustulokset näissä mittauksissa pyrkivät liikkumaan vastakkaiseen suuntaan. Eli kun toinen mittaus nousee, niin toinen laskee ja päinvastoin. (Stattrek 2018.)

4 Tulokset

Tässä tutkimuksessa etsittiin etukäteen määriteltäviä maamerkkejä eli apeksipisteitä, jotka edellisessä luvussa kuvattiin. Aineistona olivat HUS:n toimittamat pään TT-kuvasarjat, joiden joukossa oli terveitä ja mekaanisen murtuman kokeneita tapauksia. Jokainen kuvasarja oli anonymisoitu. Yhteensä näitä kuvasarjoja oli 428 kappaletta, joista molemmat silmät tutkittiin. Tämä aineisto oli tutkimuksen perusjoukko. Keskimäärin yhden kuvasarjan tutkimiseen kului aikaa noin 5 minuuttia. Mitä suurimmalla todennäköisyydellä kuvasarjat on otettu MDCT-kuvauslaitteella siitä syystä, että kyseinen kuvauslaite on yleisimmin käytetty ja sen soveltuvuus pään TT-kuvantamiseen on hyvä. Perusjoukosta saatujen koordinaattien perusteella Disior Oy laski tilavuuden muutokset. Koordinaatit ovat liitteessä 1.

Perusjoukosta valittiin tarkempia tutkimuksia varten osajoukko. Osajoukoksi valikoitui lopulta kahdeksantoista kuvasarjaa. Näille tehtiin kaksi erillistä, toisistaan riippumatonta mittausta. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 4. Koordinaatit keskenään eri kuvasarjojen välillä eivät ole vertailukelpoisia.

Edellä mainitusta kahdeksastatoista kuvasarjasta valittiin yksi kuvasarja, joka oli laadukain, tiedostokooltaan pienin ja näin ollen nopeimmin käsiteltävissä. Tästä yhdestä kuvasarjasta tehtiin mittaukset, jotka on esitetty luvussa 4.3. Tutkimuksen ohjaajan toimesta tehtiin vertailusarja, joka on esitetty luvussa 4.4. Näiden lisäksi testiryhmä arvioi osajoukosta kymmenen kuvasarjaa (luku 4.5) ja vastasi testin jälkeen mielipidekyselyyn (luku 4.6).

4.1 Tutkittava aineisto

Tutkittavasta aineistosta määritetään silmäkuoppien niin kutsuttuja apeksipisteitä luvussa 3.6 esitetyn menetelmän mukaisesti. HUS on yhteistyössä Disior Oy:n kanssa kehittänyt uudenlaisen One Click -menetelmän silmäkuoppien tilavuuksien laskentaan. Lähtötiedoikseen tämä menetelmä tarvitsee ainoastaan apeksien koordinaatit. Osa tutkittavista perusjoukon kuvista oli laadullisesti huonoja tai resoluutioltaan karkeita, joten niistä ei saatu tämän tutkimuksen tekijän osalta apeksikoordinaatteja, tai ne olivat muuten kelvottomia. Liitteessä 1 on esitetty koko tutkimusaineiston kuvasarjojen vasemman

ja oikean silmän apeksikoordinaatit. Taulukossa 4 on esitetty liitteen 1 kymmenen ensimmäistä mittausta.

Taulukko 4. Esimerkki liitteen 1 kymmenestä ensimmäisestä mittauksesta.

Kuvasarja	Vasen apeksipiste [mm]			Oikea apeksipiste [mm]			Jatkoon
[#]	X _{vi}	y _{vi}	Z _{vi}	X _{oi}	Y _{oi}	Z _{oi}	[x]
11059	142,444	77,436	112,533	114,242	78,392	116,085	
11185	148,926	89,3554	52,7507	119,141	87,4023	52,155	x
11186	140,625	92,2851	71,4691	104,980	93,750	72,8949	x
11203	118,826	105,094	115,285	88,0829	104,748	116,208	x
11207	141,601	99,121	63,1922	110,840	99,6093	63,1922	
11214	144,434	100,107	37,3411	113,555	100,605	40,9035	
11216	104,765	81,2108	110,102	74,8827	81,2108	110,401	
11217	117,188	86,7188	65,2501	89,4531	85,5469	64,9912	
11218	138,672	96,1914	40,683	111,816	96,6796	40,683	
11219	111,328	79,6875	47,9005	83,2031	79,2969	47,4786	

Taulukon 4 ensimmäisessä sarakkeessa esiintyvä numerosarja on kuvasarjan anonyyminumero. Vasen ja oikea apeksipiste ovat luvun 3.6 mukaisesti esitettyjä koordinaatteja. Mittaustarkkuus määrittyi annettuiden ohjeiden mukaan niin, että mittaukset oli otettava vähintään kolmen desimaalin tarkkuudella. Jatkoon-sarakkeeseen merkittiin kuvasarjan sopivuus tarkempiin jatkomittauksiin ja näiden tulosten käsittelyyn. Kriteerit tähän jatkotutkimukseen olivat kuvasarjan laatu, tiedoston koko ja niiden seurauksena käsiteltävyys. Liitteen 1 tutkimusdata toimitettiin Disior Oy:lle tekstitiedostona desimaalimerkin olleessa desimaalipiste. Disior Oy laski omilla algoritmeillaan tilavuuden vasemmalle ja oikealle silmälle. Tämän tutkimuksen tekijällä ei ole tietoa, miten laskenta on suoritettu. Laskennallisen tilavuuden määrittäminen ei kuulu tähän tutkimukseen. Osa tuloksissa esiintyvistä tilavuuksista on otettu mukaan havainnollistamistarkoituksessa.

4.2 Edustavien kuvasarjojen jatkotutkimus

Koko tutkittavasta aineistosta valikoitui kahdeksantoista kappaletta edustavia kuvasarjoja (taulukko 5). Näistä kuvasarjoista otettiin kaksi erillistä, toisistaan riippumatonta mittausta kummastakin silmästä. Toisistaan riippumattomat mittaukset tehtiin ajallisesti eri aikoina, jolloin tekijällä ei ollut muistikuvaa edellisestä mittauksesta ja sen tuloksista.

Kahden eri mittauksen eroja laskettiin silmäkohtaisesti, koska vain samasta potilaasta ja samasta silmästä saadut koordinaatit ovat vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Taulukon 5 sarake d_e kertoo samasta silmästä saatujen kahden mittaustuloksen apeksikoordinaattien euklidisen normin millimetreinä. Tässä työssä virheen merkitys katsottiin olevan pieni, jos mittausten välinen euklidinen normi on alle yhden millimetrin (< 1 mm). Kohtalainen virhe saavutetaan, jos mittausten välinen euklidinen normi on välillä 1...1,5 mm. Ne, jotka ovat suurempia kuin 1,5 mm, ovat merkitykseltään suuria virheitä.

Taulukko 5. Kahden mittauksen erot ja virheen merkitys.

Kuvasarja [#]	Mittaus1			Mittaus2			d _e norm(1-2)	Virheen merkitys
	x1	y1	z1	x2	y2	z2		
11185v	148,926	89,355	52,751	148,437	89,844	53,070	0,761	virhe pieni
11185o	119,141	87,402	52,155	119,629	87,891	52,350	0,717	virhe pieni
11186v	140,625	92,285	71,469	140,137	91,797	72,518	1,256	virhe kohtalainen
11186o	104,980	93,750	72,895	105,469	94,238	73,211	0,760	virhe pieni
11203v	118,826	105,094	115,285	119,171	104,402	115,002	0,823	virhe pieni
11203o	87,7374	104,402	116,197	88,0829	104,748	116,208	0,489	virhe pieni
11517v	118,422	87,781	121,582	118,836	86,953	122,329	1,190	virhe kohtalainen
11517o	92,750	88,195	121,582	91,922	87,367	122,329	1,389	virhe kohtalainen
11522v	133,793	91,471	80,388	133,793	91,471	80,601	0,214	virhe pieni
11522o	101,027	91,926	80,388	101,027	91,471	80,274	0,469	virhe pieni
11564v	128,570	74,820	134,006	129,000	73,960	134,521	1,091	virhe kohtalainen
11564o	97,610	76,110	133,078	96,320	74,390	133,541	2,199	virhe suuri
11604v	115,234	104,297	116,618	115,234	104,297	116,714	0,096	virhe pieni
11604o	81,250	105,469	117,977	81,641	105,469	117,722	0,466	virhe pieni
11648v	130,389	88,430	105,531	130,840	87,979	105,836	0,707	virhe pieni
11648o	98,356	89,783	105,531	97,904	89,332	105,836	0,707	virhe pieni
11673v	140,137	87,891	74,306	140,625	86,914	74,491	1,107	virhe kohtalainen
11673o	105,469	87,402	73,612	105,469	86,914	73,437	0,519	virhe pieni
11685v	127,129	93,887	84,269	128,027	92,988	84,135	1,277	virhe kohtalainen
11685o	98,828	92,090	83,703	97,930	91,192	84,135	1,342	virhe kohtalainen
11697v	141,601	97,656	67,709	141,113	98,145	67,578	0,703	virhe pieni
11697o	106,445	99,121	69,115	106,934	98,633	69,971	1,100	virhe kohtalainen
11716v	117,188	61,328	46,179	117,188	61,328	45,816	0,362	virhe pieni
11716o	85,156	60,547	46,179	85,547	60,938	45,816	0,661	virhe pieni
11718v	144,531	114,258	79,584	144,531	114,746	79,361	0,537	virhe pieni
11718o	115,234	113,281	79,584	115,723	114,258	80,225	1,267	virhe kohtalainen
11722v	100,273	83,939	77,026	99,609	84,603	76,550	1,053	virhe kohtalainen
11722o	72,051	83,276	77,794	72,383	84,271	76,550	1,628	virhe suuri
11727v	117,578	94,952	77,881	117,969	93,780	78,301	1,305	virhe kohtalainen
11727o	84,766	95,343	76,897	83,984	94,171	77,621	1,584	virhe suuri
11740v	103,008	99,492	112,793	103,008	99,492	112,708	0,085	virhe pieni
11740o	73,125	98,086	111,896	73,125	98,086	111,812	0,084	virhe pieni
11764v	123,486	97,998	125,402	123,486	97,998	124,692	0,710	virhe pieni
11764o	91,406	96,680	124,119	91,846	96,680	123,427	0,820	virhe pieni
11821v	125,130	77,830	128,586	125,130	77,830	127,844	0,742	virhe pieni
11821o	95,030	79,120	127,683	95,460	79,550	127,250	0,747	virhe pieni

4.3 Yhden kuvasarjan mittaukset ja niiden analysointi

Osajoukosta tutkimuksen tekijä valitsi yhden edustavan kuvasarjan (#11517), jonka virhe oli merkitykseltään kohtalainen molemmissa silmissä. Lisäkritereinä oli, että virheen merkitys vasemman ja oikean silmän välillä ei ole liian suuri. #11517-kuvasarja valikoitiin, koska se parhaiten edustaa keskimääräistä virhettä, niin vasemman kuin oikean silmän suhteen, ja oli siis laadultaan, tiedostokooltaan ja käsiteltävyydeltään sopivin. Toinen edustava kuvasarja olisi ollut #11648, mutta siinä virheen merkitys oli euklidisen normin mukaan pieni, joten tätä ei katsottu sopivaksi.

Kuvasarjasta #11517 otettiin 20 toisistaan riippumatonta mittausta (taulukko 5). Taulukoissa 6 ja 8 on esitelty koordinaatit vasemman ja oikean silmän apeksipisteille. Taulukoissa 7 ja 9 on laskettu vasemman ja oikean silmän apeksikoordinaateista erilaisia tilastollisia arvoja. Arvot ja niiden laskutavat on esitetty luvussa 3.9.

Taulukko 6. Vasemman silmän 20 mittausta (tutkimuksen tekijä).

Mittaus vasen	x	y	z
1	118.422	87.781	121.453
2	118.422	88.195	121.453
3	118.422	87.781	121.611
4	118.422	87.781	121.456
5	118.836	87.367	121.976
6	118.422	87.781	121.976
7	118.422	87.781	121.321
8	118.422	88.195	121.321
9	118.422	87.781	121.726
10	118.422	88.195	121.126
11	118.422	87.781	121.421
12	118.422	88.195	121.212
13	118.836	87.367	121.212
14	118.422	87.781	121.304
15	118.422	84.781	121.563
16	118.836	87.781	121.135
17	118.736	87.696	121.513
18	118.516	87.949	121.513
19	118.836	86.953	122.069
20	118.836	87.781	121.016

Taulukko 7. Vasemman silmän tilastollista analyysiä taulukon 6 mittauksista.

	x	y	z
Keskiarvo	118.546	87.635	121.469
Virheen suuruus	0.164	0.407	0.220
Min. Arvo	118.422	84.781	121.016
Max. Arvo	118.836	88.195	122.069
Mediaani	118.422	87.781	121.453
Moodi	118.422	87.781	121.453
Keskihajonta	0.186	0.737	0.291
Odotusarvo yläraja	118.732	88.372	121.760
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	118.360	86.898	121.177
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683
	x	y	z
Varianssi-	0.033	-0.017	0.002
kovarianssi-	-0.017	0.516	-0.060
matriisi	0.002	-0.060	0.081

Taulukon 7 virheen suuruus y-suunnassa on lähes kaksinkertainen muihin suuntiin verrattuna. Keskihajonnan y-arvo on liki kolminkertainen, ja myös varianssi-kovarianssimatriisi todentaa tämän. Suurin vaihtelu on siis y-arvon varianssilla (0,516). Kovarianssi x-mittausten ja y-mittausten välillä on negatiivinen (-0,017), ja x-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on lähes nolla (0,002). Kun x-mittausten tulokset nousevat, niin y-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Kun x-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on lähes nolla, niin se tarkoittaa, että näiden mittausten välillä ei ole ennustettavissa olevaa suhdetta. Kovarianssi y-mittausten ja z-mittausten välillä on negatiivinen (-0,060). Kun y-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Normaalijakauman 68 % säännön perusteella etsittiin normaalijakauman odotusarvon ylä- ja alarajat luvun 3.9 mukaisesti.

Taulukko 8. Oikean silmän 20 mittausta (tutkimuksen tekijä).

Mittaus oikea	x	y	z
1	92.336	88.195	121.453
2	93.164	89.023	121.453
3	92.336	88.195	121.611
4	92.750	88.195	121.456
5	92.336	87.781	121.976
6	92.336	87.781	121.976
7	92.336	87.781	121.842
8	92.336	87.781	121.842
9	92.336	87.781	121.726
10	93.164	88.609	121.126
11	92.750	88.195	121.421
12	92.750	88.609	121.212
13	92.336	87.781	121.212
14	92.750	88.195	121.304
15	92.750	88.609	121.563
16	92.336	88.195	121.135
17	92.489	88.683	121.513
18	92.712	88.580	121.513
19	91.922	87.367	122.069
20	92.336	88.195	121.016

Taulukko 9. Oikean silmän tilastollista analyysiä taulukon 8 mittauksista.

	x	y	z
Keskiarvo	92.528	88.177	121.521
Virheen suuruus	0.257	0.318	0.244
Min. Arvo	91.922	87.367	121.016
Max. Arvo	93.164	89.023	122.069
Mediaani	92.336	88.195	121.485
Moodi	92.336	88.195	121.453
Keskihajonta	0.310	0.416	0.307
Odotusarvo yläraja	92.838	88.593	121.828
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	92.218	87.760	121.214
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683

	x	y	z
Varianssi-	0.091	0.100	-0.044
kovarianssi-	0.100	0.165	-0.070
matriisi	-0.044	-0.070	0.090

Taulukon 9 virheen suuruus on y-suunnassa hieman suurempi kuin muissa suunnissa. Keskihajonnan y-arvo on noin kolmanneksen suurempi, eli suurin vaihtelu (varianssi-kovarianssimatriisi) tässäkin tapauksessa on y-arvon varianssilla (0,165). Taulukosta näemme, että x- ja z-mittausten varianssi on lähes sama (0,091 ja 0,090). Nämä todentavat sen, että kyseiset arvot ovat yhtä muuttuvia. Mittausten välinen kovarianssi on positiivinen x:n ja y:n välillä (0,100), ja x-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on negatiivinen (-0,044). Kun x-mittausten tulokset nousevat, niin myös y-mittausten tulokset nousevat ja päinvastoin. Kun x-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Kovarianssi y-mittausten ja z-mittausten välillä on negatiivinen (-0,070). Kun y-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Normaalijakauman 68 % säännön perusteella etsittiin normaalijakauman odotusarvon ylä- ja alarajat luvun 3.9 mukaisesti.

4.4 Tutkimuksen ohjaajan vertailusarja

Työn kuvauksessa määriteltiin tavoitteeksi apeksipisteen toistettavuus ja tarkkuus. Tämän vuoksi tutkimuksen ohjaaja teki vertailusarjan. Samasta tutkittavasta kuvasarjasta #11517 tutkimuksen ohjaaja teki 20 apeksimittausta ja toimitti nämä tutkimuksen tekijälle. Ohjaajan koordinaateille suoritettiin niin ikään luvun 3.9 mukaiset tilastolliset analyysit. Vertailusarja mahdollisti tilastollisten arvojen vertailun keskenään, mikä on esitetty luvun 5 johtopäätöksissä.

Taulukko 10. Vasemman silmän 20 mittausta (tutkimuksen ohjaaja).

Mittaus vasen	x	y	z
1	119.054	87.460	121.365
2	119.376	86.286	122.003
3	119.201	86.927	121.667
4	119.137	86.944	121.637
5	119.008	86.796	121.713
6	118.873	87.285	121.539
7	118.941	87.059	121.783
8	118.861	87.405	121.671
9	118.836	87.067	121.764
10	119.034	86.867	121.828
11	119.099	87.127	121.568
12	118.964	87.452	121.293
13	119.021	87.557	121.279
14	119.153	87.225	121.608
15	118.976	87.356	121.656
16	119.225	86.983	121.610
17	118.962	87.373	121.702
18	119.076	87.223	121.372
19	119.120	87.174	121.547
20	118.884	87.214	121.332

Taulukko 11. Vasemman silmän tilastollista analyysiä taulukon 10 mittauksista.

	x	y	z
Keskiarvo	119.040	87.139	121.597
Virheen suuruus	0.108	0.220	0.148
Min. Arvo	118.836	86.286	121.279
Max. Arvo	119.376	87.557	122.003
Mediaani	119.028	87.194	121.624
Moodi	-	-	-
Keskihajonta	0.138	0.293	0.191
Odotusarvo yläraja	119.178	87.432	121.788
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	118.902	86.846	121.406
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683

	x	y	z
Varianssi-	0.018	-0.023	0.007
kovarianssi-	-0.023	0.081	-0.040
matriisi	0.007	-0.040	0.035

Taulukon 11 virheen suuruus on y-suunnassa hieman suurempi kuin muissa suunnissa. Keskihajonnan y-arvo on noin puolet suurempi kuin z-arvo ja lähes kaksinkertainen x-arvoon nähden. Moodia mittaustuloksista ei löytynyt kolmen desimaalin tarkkuudella. Suurin vaihtelu varianssi-kovarianssimatriisissa on tässäkin tapauksessa y-arvon varianssilla (0,081). Kovarianssi x:n ja y:n välillä on negatiivinen (-0,023), ja x-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on lähes nolla (0,007). Kun x-mittausten tulokset nousevat, niin y-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Kun x-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on lähes nolla, niin se tarkoittaa, että näiden mittausten välillä ei ole ennustettavissa olevaa suhdetta. Y-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on negatiivinen (-0,040). Kun y-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Normaalijakauman 68 % säännön perusteella etsittiin normaalijakauman odotusarvon ylä- ja alarajat luvun 3.9 mukaisesti.

Taulukko 12. Oikean silmän 20 mittausta (tutkimuksen ohjaaja).

Mittaus oikea	x	y	z
1	91.613	87.469	121.640
2	91.301	86.838	122.283
3	91.853	87.667	121.667
4	91.770	87.106	121.911
5	91.554	87.386	121.713
6	91.954	88.064	121.539
7	91.806	87.379	121.783
8	91.776	87.558	121.671
9	91.741	87.445	121.764
10	91.479	87.295	121.828
11	91.635	87.268	121.843
12	91.887	87.546	121.699
13	91.863	87.826	121.550
14	91.963	87.960	121.619
15	91.412	86.871	121.932
16	91.925	87.811	121.610
17	92.096	87.797	121.702
18	91.883	87.849	121.479
19	91.953	87.941	121.547
20	91.873	87.698	121.602

Taulukko 13. Oikean silmän tilastollista analyysiä taulukon 12 mittauksista.

	x	y	z
Keskiarvo	91.767	87.539	121.719
Virheen suuruus	0.163	0.279	0.131
Min. Arvo	91.301	86.838	121.479
Max. Arvo	92.096	88.064	122.283
Mediaani	91.829	87.552	121.685
Moodi	-	-	-
Keskihajonta	0.207	0.348	0.182
Odotusarvo yläraja	91.974	87.886	121.901
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	91.560	87.191	121.537
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683
	x	y	z
Varianssi-	0.041	0.059	-0.027
kovarianssi-	0.059	0.115	-0.054
matriisi	-0.027	-0.054	0.031

Taulukon 13 virheen suuruus on y-suunnassa lähes kaksinkertainen verrattuina muihin suuntiin. Moodia ei myöskään tässä tapauksessa ole kolmen desimaalin tarkkuudella. Keskihajonnan y-arvo on noin kolmanneksen suurempi, eli suurin vaihtelu (varianssi-kovarianssimatriisi) tässäkin tapauksessa on y-arvolla (0,115). X-mittausten ja y-mittausten välinen kovarianssi on positiivinen (0,059), ja x-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on negatiivinen (-0,027). Kun x-mittausten tulokset nousevat, niin y-mittausten tulokset niin ikään nousevat ja päinvastoin. Kun x-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Y-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on negatiivinen (-0,054). Kun y-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Normaalijakauman 68 % säännön perusteella etsittiin normaalijakauman odotusarvon ylä- ja alarajat luvun 3.9 mukaisesti.

4.5 Testiryhmän mittaukset

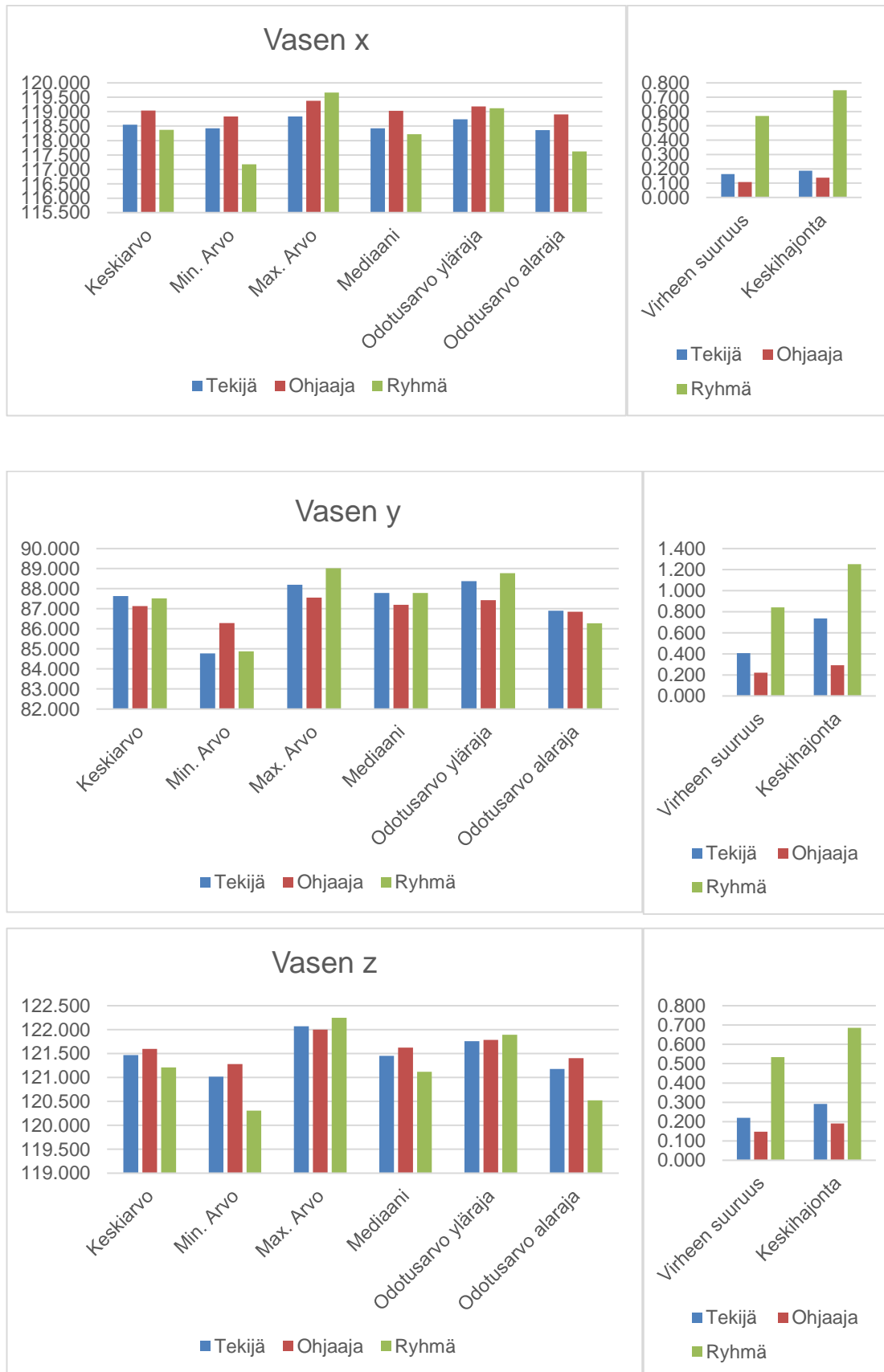
Laaditun ohjeen (liite 3) perusteella testiryhmä teki mittaukset osajoukosta valituista kymmenestä kuvasarjasta. Laajuuden vuoksi testin kaikki tulokset on esitetty liitteen 4 taulukoissa. Taulukossa 14 on esitetty saman kuvasarjan #11517 mittauksien tulokset kuin tutkimuksen tekijän ja ohjaajan välisessä vertailusarjassa. Taulukkoon 14 on lisätty tulosten tilastollista analyysiä sekä vasemman ja oikean silmän laskennalliset tilavuudet.

Taulukko 14. Esimerkki liitteen 4 testiryhmän mittauksesta (#11517).

11517	Vasen				Oikea			
Mittaja	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	118.836	87.367	120.959	27.906	92.336	88.195	120.959	26.551
B	119.664	84.883	122.250	30.946	90.680	85.711	122.250	29.941
C	118.008	87.781	121.046	27.057	92.750	88.609	121.046	25.858
D	118.836	86.953	121.187	28.423	92.750	88.195	121.870	26.296
E	118.008	88.609	120.310	26.072	92.750	88.609	120.310	25.927
F	118.422	87.781	121.928	27.101	92.750	88.195	121.928	26.277
G	118.008	87.781	121.584	26.909	92.750	88.609	121.584	25.738
H	117.180	89.023	120.406	25.153	92.750	88.609	121.138	25.830

Keskiarvo	118.370	87.522	121.209	27.446	92.439	88.092	121.386	26.552
Virheen suuruus	0.569	0.841	0.534	-	0.466	0.595	0.552	-
Min. Arvo	117.180	84.883	120.310	25.153	90.680	85.711	120.310	25.738
Max. Arvo	119.664	89.023	122.250	30.946	92.750	88.609	122.250	29.941
Mediaani	118.215	87.781	121.117	27.079	92.750	88.402	121.361	26.102
Moodi	118.008	87.781	-	-	92.750	88.609	-	-
Keskihajonta	0.748	1.251	0.685	1.737	0.726	0.984	0.636	1.398
Odotusarvo yläraja	119.119	88.773	121.894	29.183	93.165	89.075	122.022	27.950
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	117.622	86.272	120.524	25.709	91.714	87.108	120.750	25.154
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

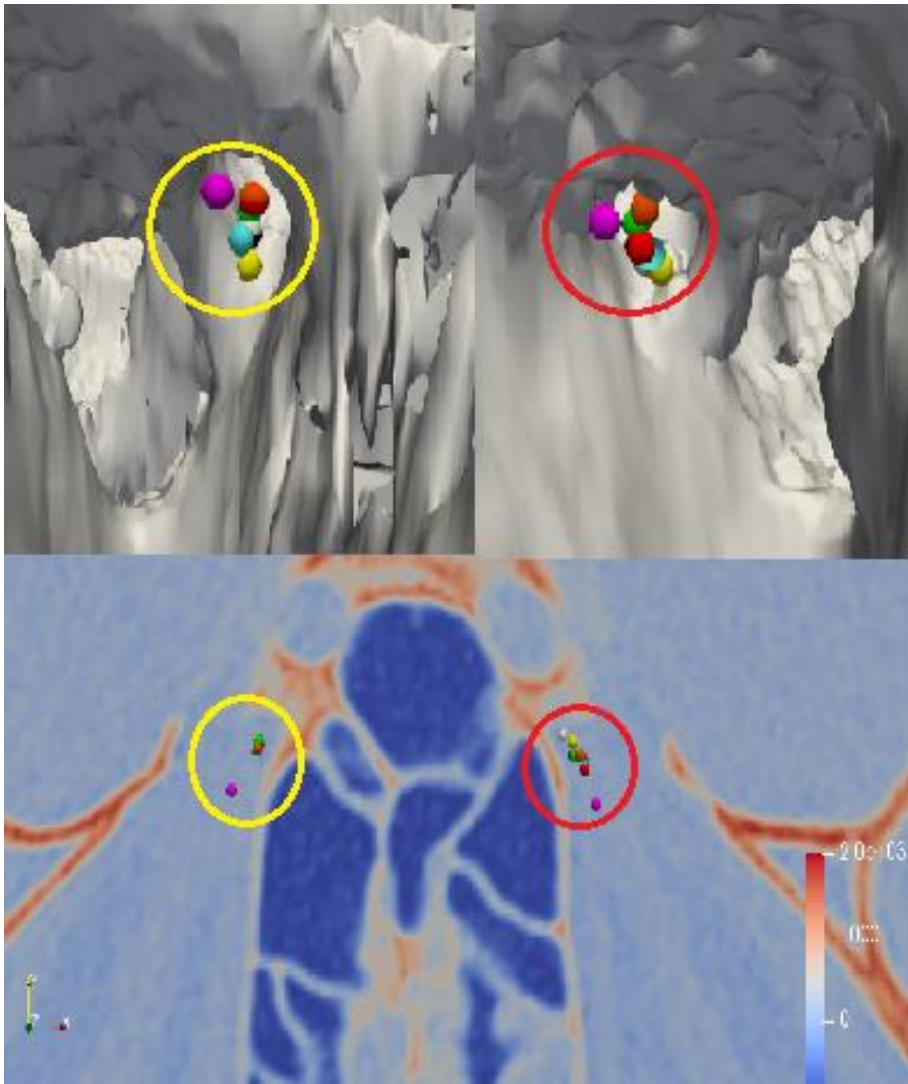
Vertailussa mittaajien tulosten keskiarvot noudattivat samaa linjaa kuin aikaisempien mittauksien keskiarvot. Virheen suuruus on testiryhmällä kohtalainen. Minimi- ja maksimiarvot vaihtelivat rajusti ja keskihajonta on suurta. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty graafisesti tilastollisten arvojen analyysiä. Kuviin on lisätty tutkimuksen tekijän ja ohjaajan vastaavasta kuvasarjasta tehdyt arvoanalyysit. Kuvassa 18 on esitetty testiryhmän kuvasarjan #11517 apeksin rekisteröinnit avaruudessa ja tasossa. Edellä mainitun kuvan avulla pystytään hahmottamaan ja esittämään, miten apeksipisteet tyypillisesti jakautuvat samassa kuvasarjassa käyttäjien kesken.



Kuva 16. Vasemman silmän mittaustulosten graafista arvoanalyysiä.



Kuva 17. Oikean silmän mittaustulosten graafista arvoanalyysiä.



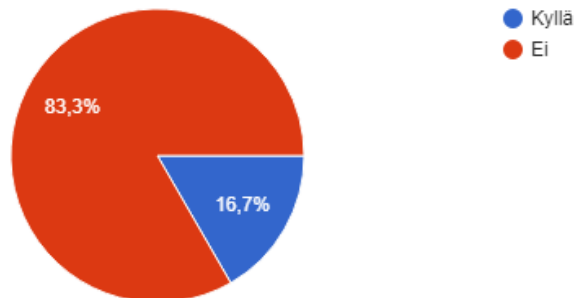
Kuva 18. Testiryhmän apeksipisteiden määitykset avaruudessa ja tasossa (keltaisella ympyröidyt on oikeasta silmästä ja punaisella vasemmasta silmästä).

4.6 Testiryhmän mielipidekyselyn tulokset

Alla on esitetty mielipidekysymykset (liite 3) ja testiryhmän vastaukset. Kahdeksasta testiaajasta kuudelta saatiin vastaukset monivalintakysymyksiin, ja näistä kuudesta kolmelta vastaus avokysymykseen. Vastaukset monivalintoihin annettiin Likertin asteikolla 1-5, jossa yksi tarkoitti täysin eri mieltä ja viisi täysin samaa mieltä. Avokysymyksessä vastaajat saivat omin sanoin kertoa kehitysideita mittausprosessille.

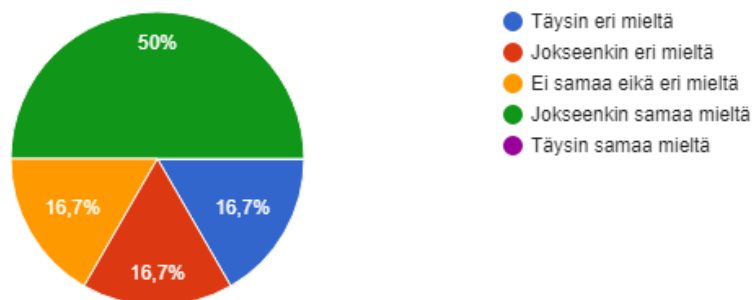
Onko aikaisempaa kokemusta Apexin määrittämisestä?

6 vastausta



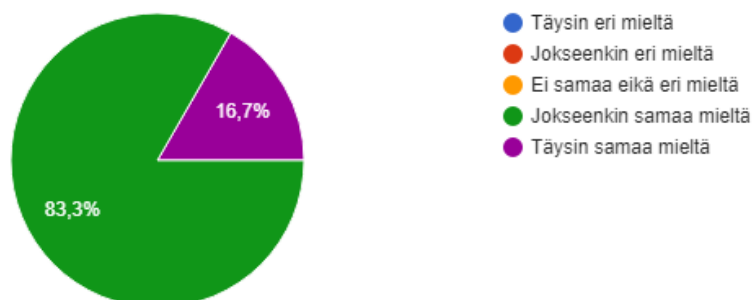
Koitko ParaView ohjelman hankalaksi?

6 vastausta



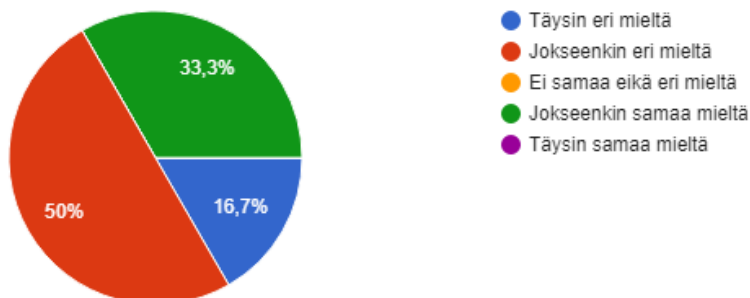
Oliko TT-kuvasarja/viipalekuva mielestäsi selkeä?

6 vastausta



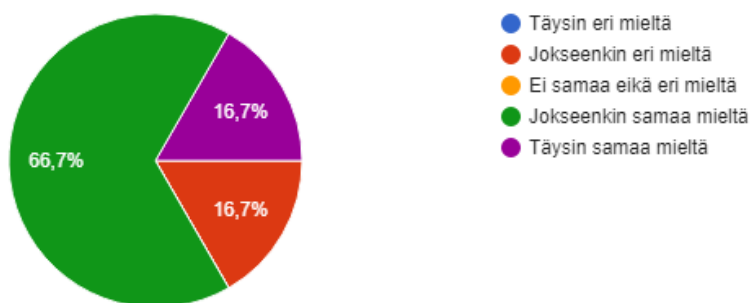
Viipalekuvan tason määrittäminen silmähermokanavan kohdalle symmetrisesti, oliko hankalaa?

6 vastausta



Onnistuiko Apex- koordinaattien määrittäminen hyvin?

6 vastausta



Miten kehittäisit systeemiä?

Käyttöliittymän parantaminen

Datan eri valmisteluvaiheiden ja tulosten raportoinnin/keräämisen automatisointi

Olisi hienoa, jos apex löytyisi helpommin ja jos kuvan resoluutio olisi parempi.

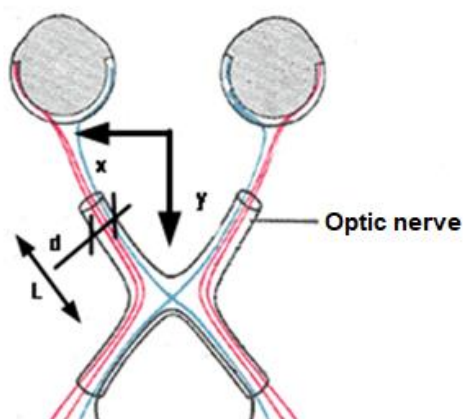
5 Johtopäätökset

Koko perusjoukosta eli 428 kuvasarjasta (liite 1) noin 10 % oli kelvottomia tuloksia, joista ei apeksipisteitä voinut mitata. Syy oli useimmiten joko TT-kuvan laadussa tai liian suurissa viipalevälissä. Esimerkiksi PACS-arkistosta (Picture Archiving and Communication Systems) aineistoon otetut kuvat ovat viipaleväiltään harvennettuja (Malinen ja Soini 2018). Eli näissä kuvissa ei ole käytössä koko kuvaustietoa, ja tämä tietojen uupuminen taas tarkoittaa suurempaa viipaleväliä. Tämänkaltaisista tapauksista saatuja tuloksia pystyy kuitenkin korjaamaan algoritmeja säätämällä, mutta se teettää lisätyötä. Hyvän apeksipisteen määrittämiseen vaaditaan tarkkaresoluutioinen kuva mahdollisimman pienellä viipaleväliellä kuten luvussa 3.3 on kerrottu nelikanavaisesta järjestelmästä. Loput noin 90 % kuvasarjoista olivat kelvollisia apeksipisteiden osalta, ja näiden mittausdataa käytetään hyödyksi Disior Oy:n ja HUS:n tutkimusprojektissa, jonka tarkoituksena on antaa tietoa silmäkuopan murtuman hoitokäytännöistä ja hoidon tuloksista.

Perusjoukosta valikoidut 18 edustavaa kuvasarjaa (taulukko 5) muodostivat osajoukon hyvien ominaisuuksiensa perusteella. Näitä olivat laatu, tiedostokoko ja käsiteltävyys. Näille kuvasarjoille tehtiin kaksi toisistaan riippumatonta mittausta vasemmalle ja oikealle silmälle. Näin euklidinen normi voitiin laskea ja tämän seurauksena virheen merkitystä voitiin arvioida. Suuren virheen merkityksen saaneita tuloksia oli kolme kappaletta, kohtalaisia tapauksia oli yksitoista kappaletta ja lopuissa (22 kpl) virhe oli pieni. Tämän perusteella voidaan päätellä, että riittävän tarkkuuden saavuttaminen mittauksissa on mahdollista. Jos osajoukon käyttäytymistä peilataan perusjoukkoon, voidaan olettaa, että samantyyppinen jakauma saavutetaan perusjoukolle.

Tutkimuksen tekijä valitsi osajoukosta yhden edustavan kuvasarjan (#11517), jonka virhe oli merkitykseltään kohtalainen kummassakin silmissä. Kyseisestä kuvasarjasta (#11517) tutkimuksen tekijä ja ohjaaja ottivat 20 toisistaan riippumatonta apeksin mittausta. Kun mittaustuloksista verrataan toisiinsa keskiarvoa, virhettä, keskihajontaa ja mediaania (taulukot 7, 9, 11 ja 12), niin tulokset ovat marginaalisia tutkimuksen tekijän ja ohjaajan välillä. Voidaan kuitenkin sanoa, että tutkimuksen ohjaajan mittaukset olivat hieman tarkempia (virhe ja keskihajonta). Vasemman ja oikean silmän keskiarvoissa x- ja y-suunnissa oli noin 0,5 mm:n pysyvä ero, joka säilyi samansuuruisena koko mittauksen ajan. Tämä voidaan selittää sillä, että apeksipisteen arviointi näissä suunnissa on hieman haasteellista, koska mittaajan määrittämä apeksi määritellään kokemuspäisesti.

Virheen suuruudesta tekijän ja ohjaajan välillä näkee, että x-suunnassa virhe on pienin ja y-suunnassa suurin. Kuvitellaan, että näköhermo on vinoissa kulmassa oleva ohut putki, jonka pituus (L) on suurempi suhteessa halkaisijaan (d). Suuremman lukuarvon takia y-pisteen määrittämisessä on haasteita (kuva 19). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että apeksin määrittäjällä on suurempi vapaus y-pisteen kuin x-pisteen valinnassa. Tämä näkyi kaikissa mittaustuloksissa. Tasokuvassa syvyys suunnassa eli y-suunnassa tapahtuva koordinaattien muutos vaikuttaa suuresti laskennalliseen tilavuuteen jopa monia millilitroja. Tosin tästä tilavuuslaskennan algoritmista tekijällä ei ole tietoa.



Kuva 19. Näköhermon kuvitteellisen putken halkaisija, pituus ja suunnat kuvaan muokattuna. (Radiopaedia 2018)

Virhe z-suunnassa selittyy tason määrittämisen vaikeutena. Taso muuttuu aina uutta mittausta tehdessä, ja tason määrittäminen näköhermokanavan kohdalle toistuvasti ja tarkasti on lähes mahdotonta. Lisäksi hyvin usein vasemman ja oikean silmän näköhermokanavat eivät ole samalla tasolla. Virheen voisi välttää standardoimalla vasemman ja oikean näköhermokanavan keskikohdat sekä jonkun kolmannen pisteen. Kuten tiedetään, kolme pistettä avaruudessa määrittää tason yksikäsitteisesti. Tässä tarvittaisiin jatkotutkimuksia ja lääketieteellistä näkökulmaa sopivien pisteiden löytämiseksi TT-kuvasta. Tutkimuksen tekijän ja ohjaajan väliset z-arvot vasemman ja oikean silmän suhteen (keskiarvot, virhe, hajonta, mediaani) olivat erittäin lähellä toisiaan, joten tason määrittäminen oli ilmeisen samantapainen kummallakin.

Varianssi-kovarianssimatriisin diagonaalien varianssi käyttäytyy samansuuntaisesti tutkimuksen tekijän ja ohjaajan välillä vasemman ja oikean silmän suhteen. Lisäksi arvot oli-

vat hyvin samankaltaisia ja etumerkiltään samoja. Ainoastaan vasemman silmän y-suunnan varianssiarvossa oli suurempaa eroa (0,516; 0,081), mutta suunta oli sama. Ensimmäinen arvo on tutkimuksen tekijän ja jälkimmäinen tutkimuksen ohjaajan. Matriisien diagonaaleista nähdään siis kunkin mittauksen (x-, y- ja z-) varianssi. Kautta linjan sekä vasemman, että oikean silmän y-mittauksilla on suurin vaihtelu (vasen 0,516, 0,081 ja oikea 0,165; 0,115). Voidaan siis sanoa, että y-mittauksien tulokset ovat muuttuvampia kuin x- ja z-mittausten tulokset. Varianssit x- ja z-mittausten välillä olivat selkeästi pienempiä y-mittaukseen nähden sekä tekijällä että ohjaajalla.

Vasemman silmän kovarianssi x:n ja y:n välillä on negatiivinen (-0,017; -0,023). Kun x-mittausten tulokset nousevat, niin y-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Yllättävää oli kuitenkin se, että x-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on lähes nolla (0,002; 0,007) tekijällä kuin ohjaajallakin. Tämä tarkoittaa, että näiden mittausten välillä ei ole ennustettavissa olevaa suhdetta. Tämä johtunee siitä, että x- ja z-suunnissa ei ole suoranaista mahdollisuutta tehdä kovinkaan suurta mittausvirhettä. Kovarianssi y-mittausten ja z-mittausten välillä on negatiivinen (-0,060; -0,040). Kun y-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Tämä on täysin ymmärrettävää, koska y-suunnan herkkyys apeksikoordinaattien suhteen on mittauksissa suurta.

Oikean silmän x-mittausten ja y-mittausten välinen kovarianssi oli molemmilla positiivinen (0,100; 0,059). Kun x-mittausten tulokset nousevat, niin y-mittausten tulokset niin ikään nousevat ja päinvastoin. Kovarianssi x-mittausten ja z-mittausten välillä negatiivinen (-0,044; -0,027), toisin sanoen kun x-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin. Y-mittausten ja z-mittausten välinen kovarianssi on negatiivinen (-0,070, -0,054). Kun y-mittausten tulokset nousevat, niin z-mittausten tulokset laskevat ja päinvastoin.

Kun tekijän ja ohjaajan tulosten varianssi-kovarianssimatriiseja verrataan keskenään, niin huomataan yllättävä seikka. Vasen kovarianssi käyttäytyy etumerkiltään erilailla oikeaan kovarianssiin verrattuna. Vasemman silmän x- ja y-kovarianssit ovat negatiivisia. Oikeassa silmässä ne ovat kuitenkin positiivisia. Vastaavasti vasemman silmän x- ja z-kovarianssit ovat positiivisia ja oikeassa silmässä ne ovat negatiivisia. Molemmissa silmissä y- ja z-kovarianssit ovat etumerkiltään samoja. Todennäköisesti tämä johtuu siitä, että vasemman apeksin x-suunnan etäisyys origoon on pidempi kuin oikean vastaava. Etäisyyden takia x-suunnan lukuarvo koordinaatistossa on suurempi, joten kyseessä voi

olla virheen kertaantuminen ja matriisin matemaattinen ominaisuus. Tämän käyttäytymisen selvittämiseksi vaadittaisiin kuitenkin lisätutkimusta.

Mittaustulokset noudattavat tyypillistä normaalijakaumaa erittäin hyvin, eli tekijän ja ohjaajan mittaustulokset mahtuivat suunnilleen 68 % säännön sisään. Tähän sääntöön perustuen voidaan todeta, että esimerkiksi inhimilliset havaintovirheet ja satunnaismuuttujat ovat likimain normaalisti jakautuneita, toistuivat ne sitten missä tahansa mittauksessa.

Testiryhmän mittaukset kaikista kymmenestä kuvasarjasta (liite 4) eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, koska kuvat ovat eri potilaista. Varovasti voidaan arvioida ainoastaan virheen suuruutta, keskihajontaa ja normaalijakaumaa. Kun mittaustuloksia katsotaan tarkemmin, niin yllättävästi huomaa, että samoja mittauservoja esiintyy eri mittaajilla. Tämä selittyy kuvasarjan resoluutiolla, joka rajoittaa tarkan apeksipisteem valintaa. Tarkastelemalla mittaustuloksia voidaan todeta, että mittaajien kesken vallitsi tasoja kokemuseroja. Edellä mainituilla tilastollisilla arvoilla havaitaan melkoisia heittoja keskenään. Virheen suuruus vaihteli välillä 0,293...2,667 mm ja keskihajonta välillä 0,362...4,367 mm. Tarkemmin dataa tukittaessa huomataan seuraavia seikkoja:

- Kuvasarjassa #11604 mitaaja C oli epäonnistunut vasemman ja oikean silmän y- ja z-koordinaateissa.
- Kuvasarjassa #11648 mitaaja D oli epäonnistunut oikean silmän x-koordinaateissa.
- Kuvasarjassa #11685 mitaaja C oli epäonnistunut vasemman ja oikean silmän y- ja z-koordinaateissa.
- Kuvasarjassa #11718 mitaaja G oli epäonnistunut vasemman ja oikean silmän z-koordinaateissa.

Jos edellä mainitut kuvasarjat poistetaan, virhe vaihtelee välillä 0,293...1,203 mm ja keskihajonta välillä 0,362...1,509 mm, jolloin päästään hieman parempiin tarkkuuksiin. Kun vertaillaan saman kuvasarjan (#11517) apeksimittausten tuloksia tekijän, ohjaajan ja testiryhmän toimesta, niissä näkyy yhtäläisyyksiä sekä poikkeamia kuvien 16 ja 17 mukaisesti. Testiryhmän mittaukset vasemman ja oikean silmän suhteen olivat minimiarvoiltaan selkeästi pienempiä kuin tutkimuksen tekijän tai ohjaajan. Yllättävästi maksimiarvot olivat huomattavasti lähempänä tekijän ja ohjaajan arvoja. Virheen suuruus ja keskihajonta olivat kautta linjan lähes kaksinkertaisia tekijän ja ohjaajan vastaaviin tuloksiin. Tämäkin varmasti selittyy hajonnan suuruudella ja sillä, että osa mitaajista (83,3 %) oli suhteellisen kokemattomia, mihin saatiin palautelomakkeen kautta varmistus.

Mielipidekyselyn perusteella ainoastaan yhdellä vastanneista oli aikaisempaa kokemusta apeksipisteiden määrittämisestä. Hieman yli puolet vastaajista piti TT-kuvankäsittelyohjelmaa jokseenkin hankalana käyttää. Kuitenkin vastaajat olivat erittäin tyytyväisiä valittujen kuvasarjojen laatuun. Viipalekuvan tason määrittäminen jakoi vastaajien mielipiteitä. Toisten mielestä se oli haastavaa ja toisten mielestä helppoa. Apeksikoordinaatien määrittäminen onnistui testiryhmän mielestä kuitenkin hyvin. Avokysymykseen saatiin kolme vastausta. Vastauksissa ehdotettiin käyttöliittymän parantamista, datan eri valmisteluvaiheiden ja tulosten raportoinnin tai keräämisen automatisointia. Lisäksi toivottiin parempaa kuvan resoluutiota, jolloin apeksi olisi helpommin havaittavissa. Parannuskohta tähän viimeiseen vastaukseen olisi esimerkiksi kartiokeilakuvauslaite. Tämä aiheuttaa teknisesti ongelmia ja pohdittavia pulmia, mutta todennäköisesti kuvien laatu paranee ja viipaleväli tihentyy, jolloin pisteen määrittäminen olisi helpompaa.

Tuloksista nähdään että One Click -menetelmä on toimiva, mutta sen luotettavuus kärsii y-suunnan herkkyyden takia. Vertailusarja tutkimuksen tekijän ja ohjaajan välillä sekä käyttäjätesti todistavat sen, että apeksin määrittäminen tarkasti on mahdollista eikä se ole käyttäjästä suuresti riippuvainen. Erot apeksipisteiden välillä syntyvät poikkeuksetta y-suunnassa, koska tässä suunnassa käyttäjällä on eniten vapauksia koordinaatin määrittämisessä. Toisaalta tiedetään, että tällä y-suunnalla on suurin vaikutus laskennalliseen tilavuuteen, joten pienentämällä y-mittauksen virhettä saadaan myös tarkempia tilavuuksia laskettua. Tällä hetkellä apeksipisteen määrittäminen on silmähermokeilan silmän puoleinen päätypiste. Tämä y-suunnan aiheuttama virhe voitaisiin poistaa automatisoimalla koko prosessi. Esimerkiksi käyttäjälle voitaisiin suositella jotain parhaiten sopivaa apeksipistettä laskennallisen tilavuuden toteuttamiseksi. Tämä automatisoitu piste voisi perustua joihinkin ennakkotietoihin, esimerkiksi kuvasarjan vokselidataan tai DICOM-tietoihin.

6 Yhteenveto

Insinöörityössä etsittiin pään tietokonetomografiakuva-aineistosta tiettyjä maamerkkejä, tarkemmin sanottuna apeksipisteitä. Apeksi on silmäkuopan näköhermon silmänpuoleinen pääty piste. Tämä työ on osana Disior Oy:n ja HUS:in välistä tutkimusprojektia, jossa tarkastellaan silmäkuoppien tilavuuden muutoksia niin kutsutuissa blow-out murtumissa. Tutkimusta varten HUS on Disior Oy:n kanssa kehittänyt uudenlaisen One Click -menetelmän silmäkuoppien tilavuuksien laskentaan. Menetelmä tarvitsee lähtötiedoikseen käyttäjältä ainoastaan edellä mainitut apeksikoordinaatit. Tässä tutkimuksessa tutkittiin apeksikoordinaattien rekisteröinnin tarkkuutta ja sen toistettavuutta.

Työn aineisto kattaa 428 TT-kuvan perusjoukon ja jokaisesta kuvasarjasta analysoitiin molemmat silmät. Tästä perusjoukosta karsittiin ominaisuuksien, kuten tiedostokoon ja laadun, perusteella 18 TT-kuvan osajoukko. Osajoukon tuloksille tehtiin tarkempaa tutkimusta ja tätä pyrittiin peilaamaan koko aineistoon. Sen lisäksi työssä kerättiin muutamasta hyvin valitusta kuvasarjasta eri käyttäjien mittaamia apeksipisteitä, jotta saadaan näkemystä siitä, millaisella tarkkuudella apeksipisteitä on mahdollista TT-kuvista löytää. Kaiken kaikkiaan tutkittiin menetelmän tarkkuutta ja luotettavuutta.

Aineistosta saatuun dataan sovellettiin erilaisia tilastollisia menetelmiä, kuten keskiarvo, virheen suuruus, min- ja max-arvo, mediaani, moodi, keskihajonta, normaalijakauma ja varianssi-kovarianssimatriisi. Tutkimuksen tekijän ja ohjaajan apeksien mittaukset olivat lähellä toisiaan. Mittausvirheet ja keskihajonnat olivat x- ja z-suunnissa pienet ja y-suunnassa lähes kaksinkertaiset edellisiin verrattuna. Tekijän ja ohjaajan mittaustulosten varianssi-kovarianssimatriisi käyttäytyi edellä mainitun kaltaisesti, ollen y-suunnassa muuttuvien. Tekijän ja ohjaajan mittaustulosten kovarianssit vastasivat toisiaan, mutta yllättävästi käyttäytyivät vasemman ja oikean silmän suhteen erilailla. Tämän selvittämiseksi vaadittaisiin lisätutkimuksia. Mittaustulokset mahtuivat normaalijakauman 68 % säännön sisään.

Testiryhmän mittaukset kaikista kymmenestä kuvasarjasta eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, koska kuvat ovat eri potilaista. Mittauksista voidaan ainoastaan arvioida virheen suuruutta, keskihajontaa ja normaalijakaumaa. Tarkastelemalla mittaustuloksia voidaan todeta, että mittaajien kesken vallitsi taso- ja kokemuseroja. Mieli-pidekysely myös varmisti tämän. Poistamalla testiryhmän epäonnistuneita mittauksia saavutettiin kohtalainen tarkkuus. Voidaan siis päätellä, että riittävän tarkkuuden saavuttaminen

on mahdollista ja että One Click -menetelmä on toimiva, jos suoritetaan useita mittauksia.

Tämän tutkimuksen aikana nousi esiin jatkokysymyksiä ja kehitysideoita. Kuvasarjojen resoluutiota ja viipaleväliä voitaisiin parantaa. Esimerkiksi kartiokeilakuvaus tuottaa tarkempaa kuvaa ja kyseinen kuvantamislaitte soveltuu erinomaisesti pään alueen kuvantamiseen. Kuvat pitäisi myös saada aukeamaan jouhevasti, koska nykyiset suuret tiedostot tuottavat ongelmia ja hitautta kuvien käsittelyssä. Manuaalisesti apeksipisteitä tutkittaessa axial-taso pitäisi pystyä määrittämään kolmen pisteen perusteella tarkasti ja symmetrisesti näköhermokanavan kohdalle. Sopivien pisteiden löytämiseksi vaadittaisiin lisätutkimusta ja lääketieteellistä näkökulmaa. Jos koko prosessi voitaisiin automatisoida, niin apeksipisteet saataisiin määritettyä ilman inhimillisiä virheitä, mutta voidaanko tekoälyyn luottaa lääketieteessä.

Lähteet

Aho, M. Kasvojen alueen pahoinpitelyvammat. Luettu 2.12.2017. <http://www.sehl.fi/files/1220/Kasvojen_alueen_pahoinpitelyvammat.pdf>.

Aine, E., Kivelä, T. & Saari, M (toim.) 2011. Silmätautioppi. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy. 32, 348 & 447.

Basicmedical Key. Axial skeleton. Figure 9-7. Bones of the left orbit. Luettu 31.1.2018 < <https://basicmedicalkey.com/skeletal-system/>>.

Cody, D., Mathieu, K. & McNitt-Gray, M. 2016. The impact of x-ray tube stabilization on localized radiation dose in axial CT scans: initial results in CTDI phantoms. Institute of Physics and Engineering in Medicine. Figure.

Desai, U., Blass, W. & Kawamoto, H. 2015. Operative Procedures in Plastic, Aesthetic and Reconstructive Surgery. Orbital floor fracture. CRC Press. 123-133.

Disior Oy. Terkko Health Hub. Haartmaninkatu 4, 00290 Helsinki, Finland. Figures.

Fishman, E. Single Detector (SDCT) vs. Multidetector (MDCT) In CT Angiography. CTisus.

Folkestad, L. Orbital floor fractures - aspects of diagnostic methods, treatment and sequelae. Göteborg University.

Forouzanfar, T., Karhu, K., Koivisto, J., van Eijnatten, M. & Wolff, J. 2016. The impact of manual threshold selection in medical additive manufacturing.

Forouzanfar, T., Karhu, K., Koivisto, J., van Eijnatten, M. & Wolff, J. 2016. The impact of manual threshold selection in medical additive manufacturing. Fig 1. & Fig 2.

GE Healthcare. 2018. Kaksoisenergiakuvantaminen natiivitutkimuksessa. Luettu 24.2.2018. <<http://www.gehealthcare.fi/fi-fi/ajankohtaista/kaksienerginen>>.

Hopsu, E., Larinkari, J. & Kallio, T. 2008. Lapsen silmäkuopan sysäysmurtuma on usein hätätapaus. Duodecim;124:2473–5.

Hyhkö, H. 2013. Tilastotieteen johdantokurssi. Helsingin yliopisto. 6. Normaalijakauma. Luettu 19.03.2018. <<http://www.mv.helsinki.fi/hyhko/jo13kv/Kalvot2.pdf>> 139.

Ikäheimo, K. & Sorri, I. 2007. Silmävammat. Duodecim;123:1865–9.

Imaginis. Brief history of CT. Luettu 4.2.2018. <<http://www.imaginis.com/ct-scan/brief-history-of-ct>>.

Impactscan. A brief history of CT. Figure the first clinical scan. Luettu 25.1.2018 <<http://www.impactscan.org/CThistory.htm>>.

Jauhiainen, J. 2007. Röntgenkuvaus, digitaalinen kuvaus ja tietokonetomografia. OAMK Tekniikan yksikkö. 37-42.

Johnsson, C. & Thorsten, R. 2012. Dual-Energy CT: General Principles. American Journal of Roentgenology. 2012;199: S3-S8. 10.2214/AJR.12.9116.

Jousimaa, J., Alenius, H., Atula, S., Kattainen, A., Kunnamo, I. & Teikari, M. 2011. Lääkärin käsikirja. Hämeenlinna: Kariston kirjapaino Oy. 1297.

Kalra, M., McCollough, C., Nagel, H. & Rehani, M. 2006. Managing Patient Dose in Multi-Detector Computed Tomography (MDCT). 32/219/06 Dec vers.7-12 & Fig 1.1.

Kao, C & Zeng, Z. 1997. General Formulas for Obtaining the MLEs and the Asymptotic Variance- Covariance Matrix in Mapping Quantitative Trait Loci When Using the EM Algorithm. Published by: International Biometric Society. DOI: 10.2307/2533965. 658–661.

Kaukua, J. & Mustajoki, P. 2008. Tietokonekerroskuvaus. Duodecim Terveyskirjasto. snk04022 (004.022).

Khaw, P., Shah, P. & Elkington, A. 2004. Injury to the eye. BMJ; 328:36–8.

Khaw, P., Shah, P. & Elkington, A. 2004. Injury to the eye. Figure 11. BMJ; 328:36–8.

Koshy, A. 2016. Ct physics – II. Dual energy Ct. Luettu 12.2.2018. <https://www.sli-deshare.net/ArchanaKoshy/ct-physics-ii?next_slideshow=3>.

Koskinen, S. & Suomalainen, A. 2013. Kartiokeilatietokonetomografia ja sen kliiniset sovellukset. Aikakauskirja Duodecim 2013;129(10):1037-43.

KvantiMOTV. 2003. Luettu 07.03.2018. <<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/otos/otantamenetelmat.html>>.

Kwon, JH., Moon, JH., Kwon, MS. & Cho, JH. 2005. The differences of blowout fracture of the inferior orbital wall between children and adults. Arch Otolaryngol Head Neck Surg;131:723–7.

Malinen, K. System specialist. HUS. Stenbäckinkatu 9. 00029 Helsinki. & Soini, S. Disior Oy. Terkko Health Hub. Haartmaninkatu 4, 00290 Helsinki, Finland. Sähköpostikeskustelu 15.2.2018.

Mannila, L. & Seppänen, R. 2014. MAOL Taulukot. Normaalijakauman kertymäfunktion taulukko. Otava Kirjapaino Oy. 61.

Mellin, I. 2006. Tilastolliset menetelmät. TKK. Luettu 2.3.2018
<<https://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Johdanto.pdf>>.19.

Poutala, A. 2018. CTO. Disior Oy. Terkko Health Hub. Haartmaninkatu 4, 00290 Helsinki, Finland. Sähköpostikeskustelu. 21.2.2018.

Radiologykey. Computed tomography. Image Display. Figure 5.4. Luettu 18.2.2018
<<https://radiologykey.com/computed-tomography-12/>>.

Radiopaedia. Optic pathways. Figure. Luettu 5.4.2018 <<https://radiopaedia.org/cases/optic-pathways-grays-anatomy-illustration>>.

Ruuhonen, K. 2006. Luettu 10.3.2018. Epäeuklidista geometriaa
<<http://math.tut.fi/~ruuhonen/MJOS2/NE.pdf>>.

Sarpola, A. Luettu 18.03.2018. Todennäköisyyslaskennan perusteita. Internetix.
<<http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/5luonnontieteet/matematiikka/mb3/normaalijakauma>>.

Soini, S. 2018. CTO. Disior Oy. Terkko Health Hub. Haartmaninkatu 4, 00290 Helsinki, Finland. Haastattelu 14.3.2018.

Stattrek. Luettu 20.03.2018 <<http://stattrek.com/matrix-algebra/covariance-matrix.aspx>>.

Stoor, P., Suomalainen, A., Lindqvist, C., Mesimäki, K., Danielsson, D., Westermark, A. & Kontio, R. 2014. Rapid prototyped patient specific implants for reconstruction of orbital wall defects. Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery 42 1644e1649.

Tapiovaara, H., 2003. Kasvomurtumat. Luettu 1.12.2017.
<<http://personal.fimnet.fi/laakari/hannu.tapiovaara/kasvomurtumat.htm>>.

Vestib. Extraocular Muscles and Movements. Figure 1. Luettu 19.1.2018.
<<http://www.vestib.com/EOM-muscles-movements.html>>.

Liitteluettelo

Liite 1. Apeksipisteiden mittaustulokset tutkimusaineistosta. 7 sivua.

Liite 2. Testauksen ohje. 9 sivua.

Liite 3. Mielopidekysely. 2 sivua.

Liite 4. Testiryhmän mittaustulokset. 4 sivua.

Liite 1. Apeksipisteiden mittaustulokset tutkimusaineistosta

Taulukko 1. Vasemman ja oikean silmän apeksipisteiden koordinaatit.

Vasen apeksipiste [mm]			Oikea apeksipiste [mm]			Jatkoon
X_{vi}	Y_{vi}	Z_{vi}	X_{oi}	Y_{oi}	Z_{oi}	[X]
142,444	77,436	112,533	142,444	77,436	112,533	
148,926	89,355	52,751	148,926	89,355	52,751	x
140,625	92,285	71,469	140,625	92,285	71,469	x
118,826	105,094	115,285	118,826	105,094	115,285	x
141,601	99,121	63,192	141,601	99,121	63,192	
144,434	100,107	37,341	144,434	100,107	37,341	
104,765	81,211	110,102	104,765	81,211	110,102	
117,188	86,719	65,250	117,188	86,719	65,250	
138,672	96,191	40,683	138,672	96,191	40,683	
111,328	79,688	47,901	111,328	79,688	47,901	
126,231	75,020	61,449	126,231	75,020	61,449	
111,328	89,063	51,981	111,328	89,063	51,981	
135,252	110,448	119,272	135,252	110,448	119,272	
115,625	101,918	42,789	115,625	101,918	42,789	
140,625	97,656	67,431	140,625	97,656	67,431	
141,113	97,656	25,474	141,113	97,656	25,474	
124,043	80,975	123,000	124,043	80,975	123,000	
138,672	115,234	60,614	138,672	115,234	60,614	
98,033	70,307	113,155	98,033	70,307	113,155	
94,688	70,313	61,863	94,688	70,313	61,863	
148,926	98,144	70,464	148,926	98,144	70,464	
117,578	104,297	56,360	117,578	104,297	56,360	
131,976	100,620	110,489	131,976	100,620	110,489	
85,811	67,067	66,000	85,811	67,067	66,000	
116,194	79,488	108,629	116,194	79,488	108,629	
121,875	92,969	61,792	121,875	92,969	61,792	
114,063	73,828	61,072	114,063	73,828	61,072	
141,313	100,406	82,385	141,313	100,406	82,385	
116,406	78,125	59,194	116,406	78,125	59,194	
114,809	64,414	60,119	114,809	64,414	60,119	
122,656	89,844	55,209	122,656	89,844	55,209	
118,750	100,781	59,018	118,750	100,781	59,018	
142,090	101,562	71,187	142,090	101,562	71,187	
112,891	76,172	70,496	112,891	76,172	70,496	
93,220	61,304	116,578	93,220	61,304	116,578	
123,047	79,688	103,159	123,047	79,688	103,159	
86,906	68,625	65,890	86,906	68,625	65,890	
104,746	82,783	119,957	104,746	82,783	119,957	
115,625	98,047	70,333	115,625	98,047	70,333	
113,281	68,359	53,288	113,281	68,359	53,288	
140,868	96,876	141,727	140,868	96,876	141,727	
117,188	89,453	54,816	117,188	89,453	54,816	
120,520	88,453	86,025	120,520	88,453	86,025	
116,797	101,953	65,340	116,797	101,953	65,340	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
140,625	99,609	58,975	140,625	99,609	58,975	
104,701	81,217	119,589	104,701	81,217	119,589	
107,930	80,859	49,600	107,930	80,859	49,600	
117,188	78,119	79,913	117,188	78,119	79,913	
103,187	85,210	58,374	103,187	85,210	58,374	
116,016	86,328	66,600	116,016	86,328	66,600	
120,313	94,922	37,409	120,313	94,922	37,409	
93,620	73,688	121,334	93,620	73,688	121,334	
110,547	83,594	62,810	110,547	83,594	62,810	
137,207	103,516	57,659	137,207	103,516	57,659	
130,232	86,970	125,326	130,232	86,970	125,326	

114,844	88,281	78,166	114,844	88,281	78,166	
136,656	97,812	131,942	136,656	97,812	131,942	
119,922	93,359	71,325	119,922	93,359	71,325	
114,844	106,250	63,338	114,844	106,250	63,338	
141,147	121,506	66,278	141,147	121,506	66,278	
116,406	102,344	136,622	116,406	102,344	136,622	
116,797	84,766	109,034	116,797	84,766	109,034	
117,578	81,641	60,116	117,578	81,641	60,116	
120,703	78,516	66,327	120,703	78,516	66,327	
116,406	82,031	122,865	116,406	82,031	122,865	
146,973	106,934	60,983	146,973	106,934	60,983	
114,063	81,570	74,439	114,063	81,570	74,439	
116,016	101,563	85,644	116,016	101,563	85,644	
111,719	99,609	119,039	111,719	99,609	119,039	
113,281	107,031	55,262	113,281	107,031	55,262	
97,422	99,774	34,681	97,422	99,774	34,681	
116,797	116,797	71,645	116,797	116,797	71,645	
113,281	104,297	125,291	113,281	104,297	125,291	
129,375	59,844	64,733	129,375	59,844	64,733	
108,984	104,688	57,973	108,984	104,688	57,973	
119,922	85,938	78,755	119,922	85,938	78,755	
115,625	103,906	60,868	115,625	103,906	60,868	
99,666	90,513	110,034	99,666	90,513	110,034	
110,547	91,797	70,019	110,547	91,797	70,019	
127,615	75,785	119,517	127,615	75,785	119,517	
117,188	79,688	125,103	117,188	79,688	125,103	
117,188	98,047	57,674	117,188	98,047	57,674	
113,094	88,073	53,849	113,094	88,073	53,849	
117,188	99,609	70,298	117,188	99,609	70,298	
100,934	83,942	71,305	100,934	83,942	71,305	
117,188	106,250	46,768	117,188	106,250	46,768	
176,875	115,000	113,777	176,875	115,000	113,777	
117,188	82,031	42,415	117,188	82,031	42,415	
102,718	81,144	140,212	102,718	81,144	140,212	
118,750	89,063	82,551	118,750	89,063	82,551	
115,625	86,719	64,560	115,625	86,719	64,560	
140,137	87,402	75,766	140,137	87,402	75,766	
118,750	97,656	47,029	118,750	97,656	47,029	
112,332	91,525	136,406	112,332	91,525	136,406	
144,043	94,238	64,328	144,043	94,238	64,328	
116,797	64,453	57,319	116,797	64,453	57,319	
114,063	105,078	56,947	114,063	105,078	56,947	
119,316	82,031	68,507	119,316	82,031	68,507	
116,797	92,969	81,872	116,797	92,969	81,872	
116,797	107,031	68,391	116,797	107,031	68,391	
114,063	92,969	72,657	114,063	92,969	72,657	
117,969	79,297	69,109	117,969	79,297	69,109	
96,953	77,695	101,889	96,953	77,695	101,889	
112,109	88,281	120,743	112,109	88,281	120,743	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
134,766	86,699	130,029	134,766	86,699	130,029	
136,230	91,797	110,369	136,230	91,797	110,369	
121,875	96,875	58,510	121,875	96,875	58,510	
124,609	105,859	59,039	124,609	105,859	59,039	
139,160	102,051	83,242	139,160	102,051	83,242	
116,016	85,156	40,976	116,016	85,156	40,976	
117,188	98,047	65,201	117,188	98,047	65,201	
123,828	98,438	64,690	123,828	98,438	64,690	
112,500	70,703	57,688	112,500	70,703	57,688	
107,813	83,168	62,187	107,813	83,168	62,187	
113,672	80,078	67,487	113,672	80,078	67,487	
111,328	81,250	53,584	111,328	81,250	53,584	
117,578	97,266	75,232	117,578	97,266	75,232	
116,016	98,438	61,888	116,016	98,438	61,888	
99,941	64,082	118,297	99,941	64,082	118,297	

102,598	71,387	85,348	102,598	71,387	85,348	
121,738	83,555	66,028	121,738	83,555	66,028	
125,969	83,375	109,735	125,969	83,375	109,735	
128,926	84,004	124,648	128,926	84,004	124,648	
131,508	104,832	128,961	131,508	104,832	128,961	
126,680	80,781	124,456	126,680	80,781	124,456	
132,070	96,133	62,170	132,070	96,133	62,170	
107,939	90,250	132,017	107,939	90,250	132,017	
134,145	83,655	79,281	134,145	83,655	79,281	
138,672	94,238	105,262	138,672	94,238	105,262	
99,932	67,064	136,026	99,932	67,064	136,026	
112,070	86,065	47,784	112,070	86,065	47,784	
138,937	74,496	39,517	138,937	74,496	39,517	
139,648	95,215	69,673	139,648	95,215	69,673	
95,059	102,111	105,775	95,059	102,111	105,775	
114,844	70,313	33,416	114,844	70,313	33,416	
135,627	76,377	122,335	135,627	76,377	122,335	
135,742	102,539	119,384	135,742	102,539	119,384	
117,246	98,828	59,491	117,246	98,828	59,491	
114,352	110,367	135,535	114,352	110,367	135,535	
123,334	75,911	53,014	123,334	75,911	53,014	
127,328	84,281	137,926	127,328	84,281	137,926	
107,432	91,223	98,586	107,432	91,223	98,586	
114,844	70,313	33,638	114,844	70,313	33,638	
111,328	86,328	55,978	111,328	86,328	55,978	
139,648	91,309	59,684	139,648	91,309	59,684	
133,301	108,398	39,470	133,301	108,398	39,470	
100,273	82,012	100,615	100,273	82,012	100,615	
128,426	82,723	125,708	128,426	82,723	125,708	
118,549	64,183	37,584	118,549	64,183	37,584	
121,484	96,875	121,746	121,484	96,875	121,746	
129,824	91,641	69,819	129,824	91,641	69,819	
105,859	76,953	55,853	105,859	76,953	55,853	
126,231	81,758	46,829	126,231	81,758	46,829	
127,578	78,164	74,747	127,578	78,164	74,747	
112,500	72,656	67,880	112,500	72,656	67,880	
126,680	77,715	77,665	126,680	77,715	77,665	
96,705	91,035	97,296	96,705	91,035	97,296	
119,016	89,578	51,221	119,016	89,578	51,221	
117,969	88,672	67,032	117,969	88,672	67,032	
130,723	86,250	53,892	130,723	86,250	53,892	
141,113	97,656	51,739	141,113	97,656	51,739	
112,500	81,641	56,049	112,500	81,641	56,049	
96,414	63,102	111,985	96,414	63,102	111,985	
131,621	77,715	61,808	131,621	77,715	61,808	
108,731	91,660	31,807	108,731	91,660	31,807	
133,313	88,875	122,147	133,313	88,875	122,147	
116,406	86,328	63,007	116,406	86,328	63,007	
141,113	92,773	64,583	141,113	92,773	64,583	
111,719	108,594	62,776	111,719	108,594	62,776	
131,621	102,890	119,278	131,621	102,890	119,278	
119,055	95,253	43,299	119,055	95,253	43,299	
118,235	83,719	126,027	118,235	83,719	126,027	
103,008	91,406	55,163	103,008	91,406	55,163	
110,938	101,953	92,409	110,938	101,953	92,409	
123,535	89,844	54,596	123,535	89,844	54,596	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
135,664	86,699	63,396	135,664	86,699	63,396	
125,391	87,188	45,811	125,391	87,188	45,811	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
116,406	89,063	55,452	116,406	89,063	55,452	
138,705	93,393	54,641	138,705	93,393	54,641	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
120,703	68,359	45,813	120,703	68,359	45,813	
119,922	75,000	63,884	119,922	75,000	63,884	
100,110	86,672	113,515	100,110	86,672	113,515	

120,027	87,598	57,757	120,027	87,598	57,757	
126,231	104,219	54,501	126,231	104,219	54,501	
120,703	74,219	57,887	120,703	74,219	57,887	
100,273	80,352	130,243	100,273	80,352	130,243	
115,234	73,047	128,684	115,234	73,047	128,684	
134,766	94,727	72,034	134,766	94,727	72,034	
90,110	78,692	108,629	90,110	78,692	108,629	
129,375	87,149	80,319	129,375	87,149	80,319	
119,735	113,960	86,389	119,735	113,960	86,389	
126,231	86,250	47,502	126,231	86,250	47,502	
113,385	53,393	86,000	113,385	53,393	86,000	
101,156	90,457	115,946	101,156	90,457	115,946	
121,812	47,000	74,000	121,812	47,000	74,000	
124,434	88,047	60,675	124,434	88,047	60,675	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
124,434	85,352	77,144	124,434	85,352	77,144	
118,365	59,978	74,000	118,365	59,978	74,000	
156,801	121,320	114,416	156,801	121,320	114,416	
118,422	87,781	121,582	118,422	87,781	121,582	x
114,844	76,133	57,603	114,844	76,133	57,603	
128,926	88,945	70,705	128,926	88,945	70,705	
130,274	86,699	89,134	130,274	86,699	89,134	
120,840	74,570	44,655	120,840	74,570	44,655	
133,793	91,471	80,388	133,793	91,471	80,388	x
118,655	79,240	77,000	118,655	79,240	77,000	
127,129	93,438	91,044	127,129	93,438	91,044	
123,047	75,391	52,001	123,047	75,391	52,001	
130,840	88,881	113,755	130,840	88,881	113,755	
127,682	85,272	64,385	127,682	85,272	64,385	
123,984	94,336	59,888	123,984	94,336	59,888	
107,813	76,563	38,717	107,813	76,563	38,717	
131,621	84,902	66,298	131,621	84,902	66,298	
119,141	89,482	68,829	119,141	89,482	68,829	
114,844	86,328	117,155	114,844	86,328	117,155	
133,277	87,545	117,341	133,277	87,545	117,341	
129,375	84,004	84,787	129,375	84,004	84,787	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
139,160	128,906	71,273	139,160	128,906	71,273	
111,719	92,188	111,115	111,719	92,188	111,115	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
108,405	68,160	92,000	108,405	68,160	92,000	
130,723	82,207	71,128	130,723	82,207	71,128	
128,570	74,820	134,006	128,570	74,820	134,006	x
127,578	82,207	72,040	127,578	82,207	72,040	
149,309	113,889	107,459	149,309	113,889	107,459	
111,470	61,996	76,000	111,470	61,996	76,000	
131,049	80,508	126,534	131,049	80,508	126,534	
128,027	87,149	79,803	128,027	87,149	79,803	
138,184	87,402	124,323	138,184	87,402	124,323	
130,621	87,391	96,840	130,621	87,391	96,840	
109,380	53,846	70,000	109,380	53,846	70,000	
110,156	86,328	131,375	110,156	86,328	131,375	
112,500	91,797	118,962	112,500	91,797	118,962	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
121,920	52,449	76,000	121,920	52,449	76,000	
132,070	80,410	85,339	132,070	80,410	85,339	
108,172	95,594	118,201	108,172	95,594	118,201	
140,625	88,379	111,011	140,625	88,379	111,011	
130,723	103,320	50,243	130,723	103,320	50,243	
128,926	87,598	79,459	128,926	87,598	79,459	
125,281	83,658	56,772	125,281	83,658	56,772	
125,281	83,658	56,772	125,281	83,658	56,772	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
115,234	104,297	116,618	115,234	104,297	116,618	x
141,113	97,656	86,446	141,113	97,656	86,446	

108,930	104,453	57,152	108,930	104,453	57,152	
112,236	48,208	76,000	112,236	48,208	76,000	
134,277	93,262	52,749	134,277	93,262	52,749	
127,877	99,662	129,042	127,877	99,662	129,042	
137,695	92,773	80,824	137,695	92,773	80,824	
104,923	34,129	88,000	104,923	34,129	88,000	
117,216	54,329	88,000	117,216	54,329	88,000	
130,274	92,090	80,276	130,274	92,090	80,276	
108,022	39,425	78,000	108,022	39,425	78,000	
87,305	96,387	109,532	87,305	96,387	109,532	
114,453	82,813	64,247	114,453	82,813	64,247	
130,389	88,430	105,531	130,389	88,430	105,531	x
127,328	87,906	81,239	127,328	87,906	81,239	
93,301	75,703	117,195	93,301	75,703	117,195	
121,693	87,328	119,769	121,693	87,328	119,769	
127,441	94,727	123,739	127,441	94,727	123,739	
93,938	86,762	120,719	93,938	86,762	120,719	
136,523	86,920	76,201	136,523	86,920	76,201	
135,742	91,309	55,603	135,742	91,309	55,603	
120,313	88,281	42,581	120,313	88,281	42,581	
138,672	94,238	71,021	138,672	94,238	71,021	
125,332	95,168	69,984	125,332	95,168	69,984	
123,086	88,047	71,563	123,086	88,047	71,563	
109,766	84,014	34,734	109,766	84,014	34,734	
105,469	80,078	37,079	105,469	80,078	37,079	
137,705	75,621	129,300	137,705	75,621	129,300	
127,578	86,250	81,737	127,578	86,250	81,737	
111,719	104,297	113,790	111,719	104,297	113,790	
110,156	98,828	92,355	110,156	98,828	92,355	
127,578	86,250	62,410	127,578	86,250	62,410	
114,453	74,609	122,790	114,453	74,609	122,790	
121,875	113,115	125,736	121,875	113,115	125,736	
128,234	89,266	66,105	128,234	89,266	66,105	
122,188	80,410	84,933	122,188	80,410	84,933	
140,137	87,891	74,306	140,137	87,891	74,306	x
134,766	81,309	63,313	134,766	81,309	63,313	
113,002	51,311	84,000	113,002	51,311	84,000	
150,858	88,247	125,063	150,858	88,247	125,063	
109,158	101,807	123,212	109,158	101,807	123,212	
101,894	109,095	126,428	101,894	109,095	126,428	
111,470	51,913	76,000	111,470	51,913	76,000	
139,984	97,359	121,604	139,984	97,359	121,604	
123,590	76,693	98,000	123,590	76,693	98,000	
123,471	78,559	48,263	123,471	78,559	48,263	
127,129	93,887	84,269	127,129	93,887	84,269	x
128,047	85,938	115,457	128,047	85,938	115,457	
127,231	86,174	115,738	127,231	86,174	115,738	
129,824	89,844	66,912	129,824	89,844	66,912	
114,917	61,090	90,000	114,917	61,090	90,000	
113,768	49,500	80,000	113,768	49,500	80,000	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
139,004	75,019	74,921	139,004	75,019	74,921	
146,811	95,180	80,332	146,811	95,180	80,332	
141,601	97,656	67,709	141,601	97,656	67,709	x
108,881	48,196	90,000	108,881	48,196	90,000	
112,317	62,435	86,000	112,317	62,435	86,000	
151,836	120,351	128,873	151,836	120,351	128,873	
129,824	87,149	67,582	129,824	87,149	67,582	
114,594	101,400	124,908	114,594	101,400	124,908	
144,043	96,679	73,067	144,043	96,679	73,067	
140,625	96,680	67,256	140,625	96,680	67,256	
145,996	99,121	67,871	145,996	99,121	67,871	
123,680	61,694	94,000	123,680	61,694	94,000	
135,215	93,887	119,338	135,215	93,887	119,338	
125,781	93,438	107,100	125,781	93,438	107,100	
107,813	86,719	82,249	107,813	86,719	82,249	

0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
132,240	77,064	87,304	132,240	77,064	87,304	
120,703	87,891	21,427	120,703	87,891	21,427	
133,867	88,496	106,281	133,867	88,496	106,281	
135,734	96,135	86,719	135,734	96,135	86,719	
117,188	61,328	46,179	117,188	61,328	46,179	x
131,836	94,727	98,522	131,836	94,727	98,522	
144,531	114,258	79,584	144,531	114,258	79,584	x
103,295	86,854	114,490	103,295	86,854	114,490	
119,922	89,453	75,183	119,922	89,453	75,183	
146,973	93,750	125,338	146,973	93,750	125,338	
100,273	83,939	77,026	100,273	83,939	77,026	x
102,867	81,463	113,802	102,867	81,463	113,802	
113,002	49,658	88,000	113,002	49,658	88,000	
116,797	96,875	73,466	116,797	96,875	73,466	
117,578	94,952	77,881	117,578	94,952	77,881	x
115,875	87,750	108,920	115,875	87,750	108,920	
135,254	94,727	100,853	135,254	94,727	100,853	
136,719	81,055	110,620	136,719	81,055	110,620	
135,254	98,633	64,877	135,254	98,633	64,877	
122,383	87,080	89,660	122,383	87,080	89,660	
132,324	94,727	75,266	132,324	94,727	75,266	
90,625	80,000	120,539	90,625	80,000	120,539	
132,070	84,902	80,153	132,070	84,902	80,153	
116,406	76,563	60,512	116,406	76,563	60,512	
109,101	70,957	128,768	109,101	70,957	128,768	
133,418	83,555	60,164	133,418	83,555	60,164	
103,008	99,492	112,793	103,008	99,492	112,793	x
125,516	85,641	126,695	125,516	85,641	126,695	
103,537	46,735	84,000	103,537	46,735	84,000	
132,324	90,332	101,775	132,324	90,332	101,775	
125,781	85,352	59,418	125,781	85,352	59,418	
139,160	101,562	78,789	139,160	101,562	78,789	
126,231	85,352	95,418	126,231	85,352	95,418	
140,325	83,496	96,598	140,325	83,496	96,598	
134,766	96,191	103,348	134,766	96,191	103,348	
122,808	89,016	137,208	122,808	89,016	137,208	
115,254	85,312	117,650	115,254	85,312	117,650	
118,115	83,682	126,665	118,115	83,682	126,665	
118,754	92,320	117,124	118,754	92,320	117,124	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
101,865	95,519	119,672	101,865	95,519	119,672	
129,824	88,945	85,329	129,824	88,945	85,329	
117,578	85,547	68,455	117,578	85,547	68,455	
114,432	83,328	87,954	114,432	83,328	87,954	
89,532	32,951	76,000	89,532	32,951	76,000	
126,231	102,422	137,996	126,231	102,422	137,996	
102,881	79,297	113,641	102,881	79,297	113,641	
123,486	97,998	125,402	123,486	97,998	125,402	x
126,231	102,422	138,485	126,231	102,422	138,485	
127,781	79,750	131,557	127,781	79,750	131,557	
91,246	80,707	105,824	91,246	80,707	105,824	
141,601	100,098	64,333	141,601	100,098	64,333	
107,578	106,523	107,574	107,578	106,523	107,574	
106,512	98,649	96,370	106,512	98,649	96,370	
141,601	99,609	60,999	141,601	99,609	60,999	
95,145	40,498	74,000	95,145	40,498	74,000	
137,207	84,961	71,365	137,207	84,961	71,365	
117,758	123,438	62,751	117,758	123,438	62,751	
112,231	78,633	119,181	112,231	78,633	119,181	
134,316	79,063	82,025	134,316	79,063	82,025	
146,973	96,191	116,825	146,973	96,191	116,825	
139,648	86,426	66,402	139,648	86,426	66,402	
131,621	96,582	79,814	131,621	96,582	79,814	
143,066	109,863	78,516	143,066	109,863	78,516	
100,898	90,703	106,595	100,898	90,703	106,595	

133,453	89,121	109,433	133,453	89,121	109,433	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
136,719	101,562	110,275	136,719	101,562	110,275	
116,797	74,219	72,665	116,797	74,219	72,665	
125,130	77,830	128,586	125,130	77,830	128,586	x
145,508	95,215	81,462	145,508	95,215	81,462	
101,953	86,484	130,575	101,953	86,484	130,575	
117,188	133,203	80,540	117,188	133,203	80,540	
114,525	76,102	135,590	114,525	76,102	135,590	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
129,375	93,438	131,019	129,375	93,438	131,019	
116,797	121,094	83,961	116,797	121,094	83,961	
126,231	97,481	109,684	126,231	97,481	109,684	
116,797	122,266	74,685	116,797	122,266	74,685	
141,601	112,793	72,617	141,601	112,793	72,617	
147,949	101,562	81,586	147,949	101,562	81,586	
116,016	85,938	133,140	116,016	85,938	133,140	
142,578	103,516	78,498	142,578	103,516	78,498	
137,695	100,098	77,724	137,695	100,098	77,724	
113,600	109,766	81,840	113,600	109,766	81,840	
114,063	75,000	118,949	114,063	75,000	118,949	
115,234	75,000	112,100	115,234	75,000	112,100	
104,414	89,946	134,954	104,414	89,946	134,954	
97,518	59,898	131,068	97,518	59,898	131,068	
105,469	99,844	71,143	105,469	99,844	71,143	
112,891	112,891	74,676	112,891	112,891	74,676	
103,314	76,190	127,286	103,314	76,190	127,286	
119,531	113,672	72,167	119,531	113,672	72,167	
140,625	97,656	75,280	140,625	97,656	75,280	
144,531	98,144	108,451	144,531	98,144	108,451	
115,234	69,531	50,765	115,234	69,531	50,765	
120,703	99,609	86,781	120,703	99,609	86,781	
143,555	113,769	67,212	143,555	113,769	67,212	
121,429	47,847	88,000	121,429	47,847	88,000	
114,063	103,125	103,305	114,063	103,125	103,305	
116,797	75,391	68,102	116,797	75,391	68,102	
113,672	117,969	67,044	113,672	117,969	67,044	
137,695	94,238	98,464	137,695	94,238	98,464	
149,414	91,797	78,970	149,414	91,797	78,970	
112,500	111,719	87,597	112,500	111,719	87,597	
96,053	77,457	116,603	96,053	77,457	116,603	
111,328	104,297	72,358	111,328	104,297	72,358	

Liite 2. Testauksen ohje

VTK-data koneelle

- Muistitikulla on kymmenen ANONTapausta.
- Ladatkaa/kopioikaa ANONDATA tiedosto tikulta koneenne työpöydälle.
- ANONDATA tiedosto sisältää kaiken tarvitsemanne (VTK-datan, tekstitiedostot tuloksia varten ja tämän ohjeen.

VTK-tiedosto auki ParaViewillä

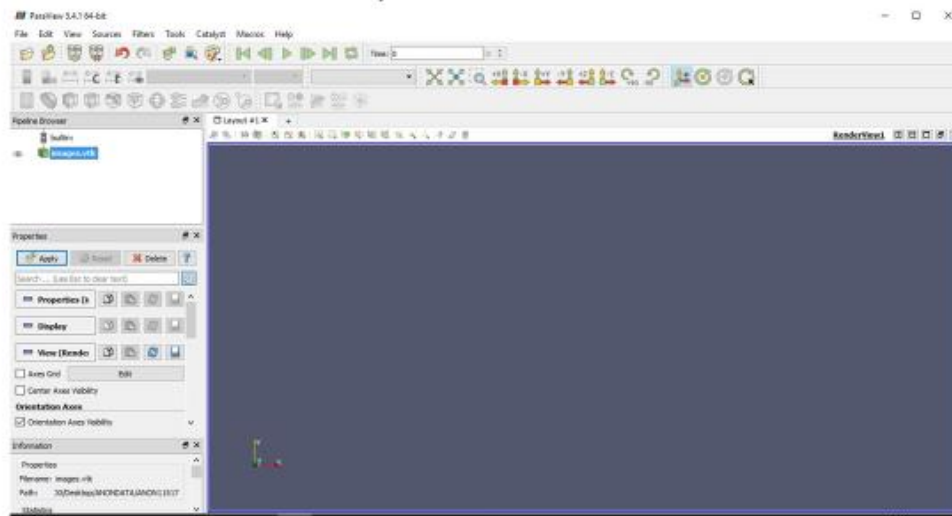
WORKFLOW

- ANONDATA
 - ANON-tapaus
 - images.vtk (Tuplaklikkaa aukeaa automaattisesti ParaView ohjelmassa)

USB-muistitikku (F:) > ANONDATA > ANON11517

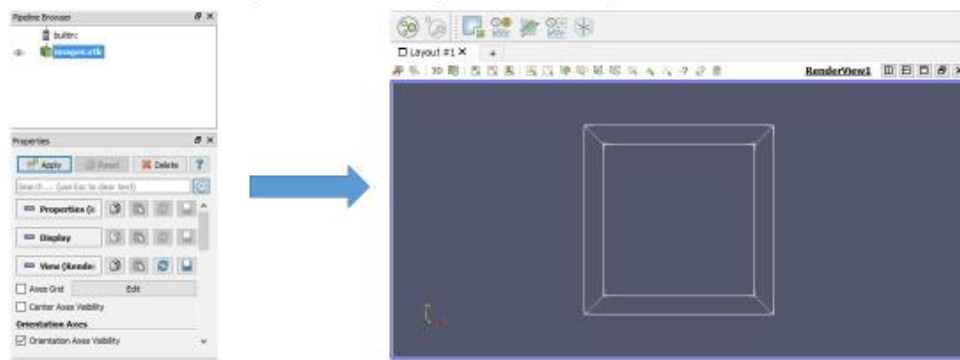
Nimi	Muokkauspäivä	Tyyppi	Koko
apex_oikea.txt	7.3.2018 14.04	Tekstitiedosto	0 kt
apex_vasen.txt	7.3.2018 14.03	Tekstitiedosto	0 kt
images.vtk	22.11.2017 18.06	VTK-tiedosto	113 588 kt

Ensimmäinen näkymä



STL-mallille "kehys"

- Apply painike vasemmassa reunassa Properties kohdassa
 - Paina sitä kerran ja odota että ohjelma luo "kehysten"



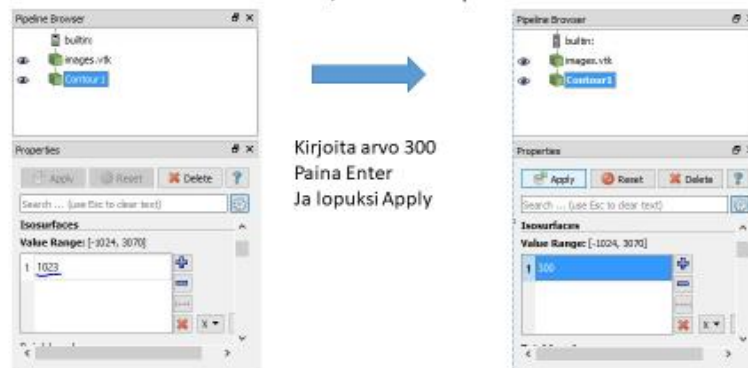
STL-malli kehykseen Contour toiminto

- Pipeline Browserin yläpuolelta Contour toiminto paina sitä



HU-arvon säätö

- Contour1 aktiivisena Properties valikosta löytyy kohta Value Range.
 - Säädä tämän arvoksi 300, tämä on optimaalisin arvo luiden näkyvyydelle.



Viipalekuvan lisäys

- Viipalekuva lisätään Slice toiminnolla (löytyy Pipeline Browserin yläpuolelta)
- HUOM! Tärkeätä on että Pipeline Browserissa images.vtk kohta on valittu aktiiviseksi

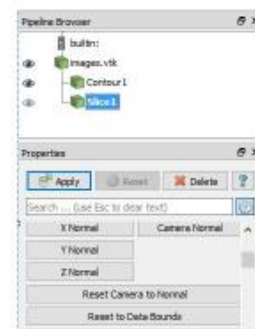
Viipalekuvan lisäys



images.vtk aktiiviseksi



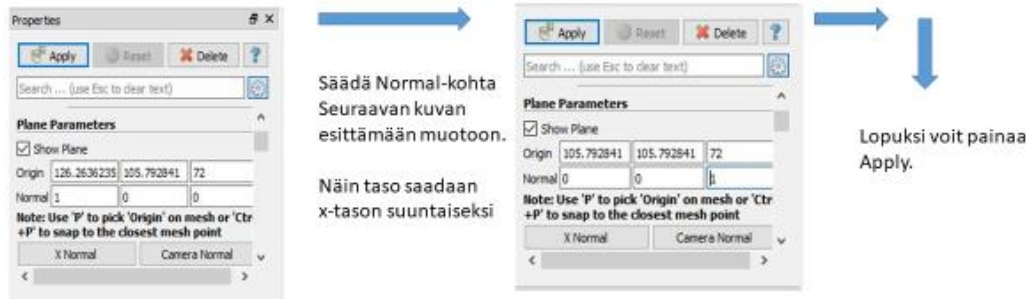
Klikkaa slice



Nyt näet Slice1 Pipeline Browserissa
Älä kuitenkaan paina Apply painiketta vielä

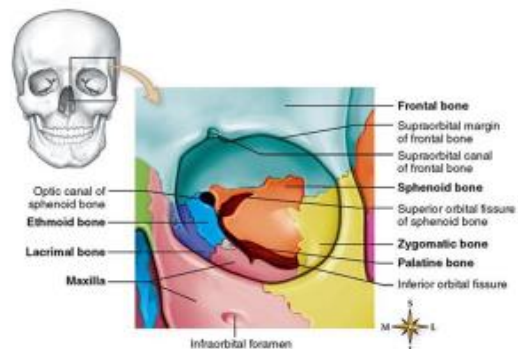
Slice/tasokuvan suunta ja sen säätäminen

- Säädä slice1 x-tason suuntaiseksi
- Slice1 aktiivisena Properties valikosta löytyy kohta Plane Parameters

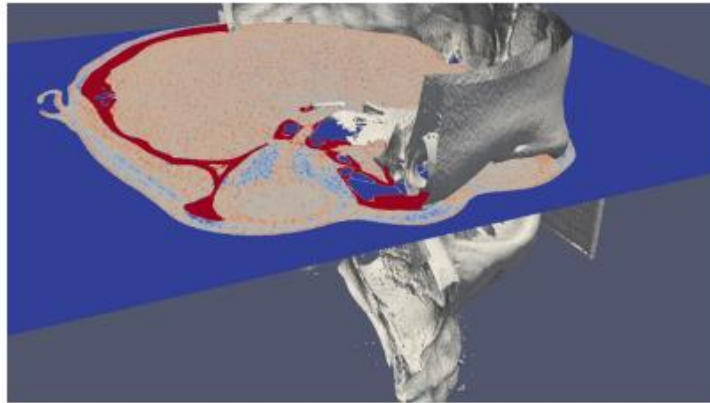


Silmähermokanava

- X-tason suuntaiseksi säädetty slice/viipalekuva pitäisi nyt saada silmähermokanavan kohdalle mahdollisimman symmetrisesti molempien silmien osalta.
- Viereinen kuva auttaa hahmottamaan hermokanavan sijainnin.
- Slice/viipalekuva on käsipelin liikutettava halutulle tasolle

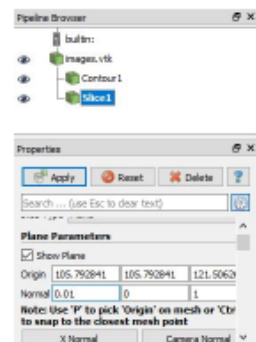


Tätä haetaan



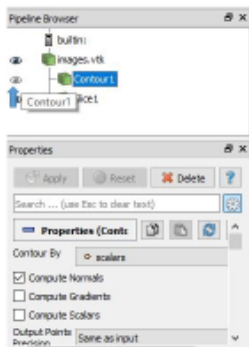
Taso symmetriseksi

- Joissakin tapauksissa potilas on saattanut liikahtaa kuvaushetkenä, jolloin STL-malli/pääkallo voi olla vinossa, eikä viipalekuva osu symmetrisesti molempien silmähermokanavien kohdalle.
- Tätä voidaan kuitenkin korjata. Pipeline Browserissa valitaan Slice1 aktiiviseksi, sitten Properties valikosta Plane Parameters kohdasta Normal ensimmäistä arvoa säädetään hiukan välillä +- 0.01...0.09. Lopuksi paina Apply.
- Suunta määräytyy sen mukaan mihin suuntaan pää on vinossa.



Apex koordinaatit tasokuvasta

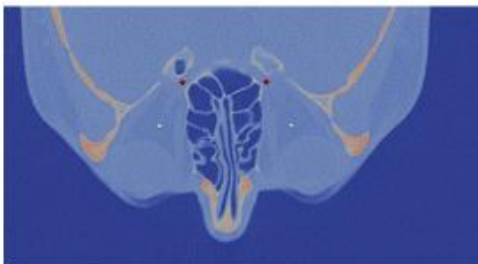
- Kun slice/viipalekuva on halutussa tasossa piilota STL-malli/pääkallo Pipeline Browserissa klikkaamalla silmän kuvaa.



Näin pelkkä viipalekuva jää ruudulle näkyviin.

Seuraavaksi

- Aktivoi built-in Pipeline Browserissa ja voit vapaasti pyöritellä tasoa.
- Pyöritä tasoa niin että katsot sitä ylhäältäpäin kuten kuva esittää.



Tasoa voi myös liikutella ParaViewistä löytyvillä säätimillä



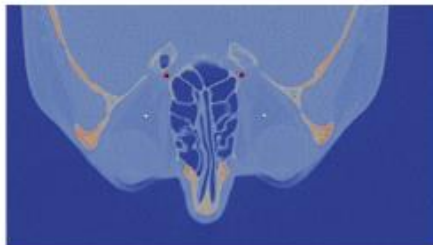
Apexin koordinaatit

- Apexin koordinaatit määritetään tasokuvasta.
- Tähän käytetään Hover Points On toimintoa.



”Kliksutus”

- Nyt kun Hover Points On on valittu, huomaat että hiiren kursoria liikuteltaessa tasokuvassa se näyttää pisteen koordinaatit.
- Vie hiiren kursori apexin kohdalle ja kirjaa ylös koordinaatit esim. käsin paperille tai matkapuhelinta hyödyntäen.



Klikattava apex-piste näkyy viereisessä kuvassa Suunnilleen punaisen pisteen kohdalla.

Tulokset ylös tekstitiedostoon

- ANON-tiedostoissa on lisäksi kaksi tekstitiedostoa apex_oikea ja apex_vasen. Kirjaa myös tulokset tänne alla olevan esimerkin mukaisesti, ja lisää oma nimesi perään. Tämä helpottaa tuloksien jatkokäsittelyä

 apex_oikea.bt – Muistio

Tiedosto Muokkaa Muotoile Näytä Ohje
92.7499 88.1952 121.506 Juuso|

 apex_vasen.bt – Muistio

Tiedosto Muokkaa Muotoile Näytä Ohje
118.422 87.7811 121.506 Juuso|

Liite 3. Mieliäidexy

Apeksin rekisteröinnin mietteet

*Pakollinen

1. Onko aikaisempaa kokemusta Apexin määrittämisestä? * Merkitse vain yksi soikio.

Kyllä

Ei

2. Koitko ParaView ohjelman hankalaksi? *
Merkitse vain yksi soikio.

Täysin eri mieltä

Jokseenkin eri mieltä

Ei samaa eikä eri mieltä

Jokseenkin samaa mieltä

Täysin samaa mieltä

3. Oliko TT-kuvasarja/viipalekuva mielestäsi selkeä? * Merkitse vain yksi soikio.

Täysin eri mieltä

Jokseenkin eri mieltä

Ei samaa eikä eri mieltä

Jokseenkin samaa mieltä

Täysin samaa mieltä

4. Viipalekuvan tason määrittäminen silmähermokanavan kohdalle symmetrisesti, oliko hankalaa? *

Merkitse vain yksi soikio.

- Täysin eri mieltä
- Jokseenkin eri mieltä
- Ei samaa eikä eri mieltä
- Jokseenkin samaa mieltä
- Täysin samaa mieltä

5. Onnistuiko Apex- koordinaattien määrittäminen hyvin? * Merkitse vain yksi soikio.

- Täysin eri mieltä
- Jokseenkin eri mieltä
- Ei samaa eikä eri mieltä
- Jokseenkin samaa mieltä
- Täysin samaa mieltä

6. Miten kehittäisit systeemiä? Vastaus ei pakollinen, mutta suotava.

Liite 4. Testiryhmän mittaustulokset

Taulukko 1. Testiryhmän vasemman ja oikean silmän apeksipisteiden koordinaatit.

Anon11517	Vasen				Oikea			
Mittaaja	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	118.836	87.367	120.959	27.906	92.336	88.195	120.959	26.551
B	119.664	84.883	122.250	30.946	90.680	85.711	122.250	29.941
C	118.008	87.781	121.046	27.057	92.750	88.609	121.046	25.858
D	118.836	86.953	121.187	28.423	92.750	88.195	121.870	26.296
E	118.008	88.609	120.310	26.072	92.750	88.609	120.310	25.927
F	118.422	87.781	121.928	27.101	92.750	88.195	121.928	26.277
G	118.008	87.781	121.584	26.909	92.750	88.609	121.584	25.738
H	117.180	89.023	120.406	25.153	92.750	88.609	121.138	25.830

Keskiarvo	118.370	87.522	121.209	27.446	92.439	88.092	121.386	26.552
Virheen suuruus	0.569	0.841	0.534	-	0.466	0.595	0.522	-
Min. Arvo	117.180	84.883	120.310	25.153	90.680	85.711	120.310	25.738
Max. Arvo	119.664	89.023	122.250	30.946	92.750	88.609	122.250	29.941
Mediaani	118.215	87.781	121.117	27.079	92.750	88.402	121.361	26.102
Moodi	118.008	87.781	-	-	92.750	88.609	-	-
Keskihajonta	0.748	1.251	0.685	1.737	0.726	0.984	0.636	1.398
Odotusarvo yläraja	119.119	88.773	121.894	29.183	93.165	89.075	122.022	27.950
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	117.622	86.272	120.524	25.709	91.714	87.108	120.750	25.154
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

Anon11522	Vasen				Oikea			
Mittaaja	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	133.338	91.926	80.086	26.003	101.482	91.471	80.086	32.468
B	134.248	90.105	80.416	28.532	99.662	90.105	80.416	34.409
C	133.793	91.926	79.856	26.216	101.027	92.381	79.856	31.387
D	134.248	91.471	80.384	26.906	101.027	91.926	80.384	-
E	132.428	93.291	79.161	23.984	102.393	94.201	79.161	28.737
F	133.338	91.926	80.759	25.893	100.572	91.471	80.759	32.197
G	132.883	92.381	79.641	25.239	102.393	94.201	76.641	29.442
H	133.338	91.926	79.783	26.004	101.027	91.471	80.106	32.389

Keskiarvo	133.452	91.869	80.011	26.097	101.198	92.153	79.676	31.576
Virheen suuruus	0.483	0.540	0.401	-	0.669	1.081	0.888	-
Min. Arvo	132.428	90.105	79.161	23.984	99.662	90.105	76.641	28.737
Max. Arvo	134.248	93.291	80.759	28.532	102.393	94.201	80.759	34.409
Mediaani	133.338	91.926	79.971	26.004	101.027	91.698	80.096	32.197
Moodi	133.338	91.926	-	-	101.027	91.471	-	-
Keskihajonta	0.632	0.892	0.508	1.302	0.908	1.418	1.314	1.937
Odotusarvo yläraja	134.084	92.761	80.519	27.399	102.106	93.572	80.990	33.513
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	132.820	90.977	79.503	24.796	100.290	90.735	78.362	29.638
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

Anon11604	Vasen				Oikea			
Mittaaja	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	116.016	103.125	116.026	31.479	80.859	104.688	117.080	31.492
B	116.016	103.125	116.995	31.471	79.608	103.906	110.175	31.180
C	113.672	93.750	122.091	-	81.641	98.047	123.834	-
D	116.016	103.516	117.176	31.114	81.250	105.078	118.158	31.105
E	115.625	103.906	115.789	30.661	80.469	104.297	117.358	31.834
F	115.625	103.906	117.017	30.560	80.859	105.078	117.713	31.299
G	115.234	104.297	116.514	30.059	80.859	105.469	117.545	30.962
H	116.016	103.516	116.746	31.118	80.859	105.078	117.097	31.243

Keskiarvo	115.528	102.393	117.294	30.923	80.801	103.955	117.370	31.302
Virheen suuruus	0.537	2.161	1.199	-	0.381	1.489	1.943	-
Min. Arvo	113.672	93.750	115.789	30.059	79.608	98.047	110.175	30.962
Max. Arvo	116.016	104.297	122.091	31.479	81.641	105.469	123.834	31.834
Mediaani	115.821	103.516	116.871	31.114	80.859	104.883	117.452	31.243
Moodi	116.016	103.125	-	-	80.859	105.078	-	-
Keskihajonta	0.802	3.515	1.999	0.521	0.592	2.439	3.674	0.286
Odotusarvo yläraja	116.330	105.908	119.293	31.444	81.393	106.394	121.044	31.588
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	114.725	98.877	115.295	30.402	80.208	101.516	113.696	31.016
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

Anon11648	Vasen				Oikea			
	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	129.938	88.881	105.218	26.411	98.356	90.234	105.218	25.062
B	131.291	87.076	106.052	28.689	97.002	88.430	106.052	27.430
C	130.389	88.430	105.031	27.020	98.356	89.783	105.031	25.440
D	130.840	87.979	104.856	27.631	91.453	89.783	104.856	27.819
E	129.938	88.881	104.799	26.414	97.904	89.783	104.799	25.640
F	130.840	88.430	106.056	27.254	97.453	89.332	106.056	26.326
G	129.938	88.881	105.482	26.427	97.904	89.783	105.485	25.685
H	131.742	87.527	105.384	28.376	98.356	88.881	105.718	26.399

Keskiarvo	130.615	88.261	105.360	27.278	97.098	89.501	105.402	26.225
Virheen suuruus	0.564	0.550	0.384	-	1.435	0.465	0.426	-
Min. Arvo	129.938	87.076	104.799	26.411	91.453	88.430	104.799	25.062
Max. Arvo	131.742	88.881	106.056	28.689	98.356	90.234	106.056	27.819
Mediaani	130.615	88.430	105.301	27.137	97.904	89.783	105.352	26.006
Moodi	129.938	88.881	-	-	98.356	89.783	-	-
Keskihajonta	0.682	0.679	0.489	0.895	2.331	0.588	0.506	0.974
Odotusarvo yläraja	131.296	88.940	105.849	28.173	99.429	90.089	105.908	27.199
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	129.933	87.581	104.870	26.382	94.767	88.914	104.896	25.251
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

Anon11673	Vasen				Oikea			
	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	139.160	89.355	73.063	29.132	105.957	88.379	73.063	26.781
B	140.625	86.426	74.001	32.932	103.516	84.961	74.001	31.445
C	140.137	87.402	74.014	29.509	104.492	86.426	74.014	31.917
D	140.137	86.914	74.306	32.254	104.492	86.426	74.306	29.523
E	140.137	87.402	74.325	31.740	104.492	86.426	74.325	29.513
F	139.648	87.891	74.119	30.862	104.980	86.914	74.119	28.805
G	140.137	87.891	74.799	31.181	104.980	86.426	74.799	29.294
H	140.137	86.914	73.925	32.322	104.980	86.426	73.257	29.272

Keskiarvo	140.015	87.524	74.069	31.242	104.736	86.548	73.986	29.569
Virheen suuruus	0.305	0.641	0.318	-	0.488	0.549	0.413	-
Min. Arvo	139.160	86.426	73.063	29.132	103.516	84.961	73.063	26.781
Max. Arvo	140.625	89.355	74.799	32.932	105.957	88.379	74.799	31.917
Mediaani	140.137	87.402	74.066	31.461	104.736	86.426	74.066	29.404
Moodi	140.137	87.402	-	-	104.492	86.426	-	-
Keskihajonta	0.433	0.895	0.493	1.357	0.690	0.932	0.571	1.584
Odotusarvo yläraja	140.448	88.419	74.562	32.599	105.427	87.480	74.556	31.153
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	139.582	86.630	73.576	29.884	104.046	85.616	73.415	27.985
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

Anon11685	Vasen				Oikea			
	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	126.680	94.336	83.493	23.130	99.277	92.988	82.671	24.484
B	128.477	92.090	84.279	26.857	97.031	90.742	84.279	28.373

C	139.707	85.352	73.500	33.848	92.988	87.149	73.500	36.563
D	128.477	92.539	84.756	26.210	97.930	91.641	84.756	26.648
E	127.129	93.887	83.449	23.909	98.828	92.539	83.449	23.909
F	127.578	93.438	84.356	24.640	97.930	91.192	84.356	27.352
G	126.680	94.785	83.433	22.559	99.277	93.438	83.433	23.889
H	127.578	92.539	83.441	25.790	98.828	92.539	83.441	25.210

Keskiarvo	129.038	92.371	82.588	25.868	97.761	91.528	82.485	27.054
Virheen suuruus	2.667	1.825	2.272	-	1.376	1.376	2.246	-
Min. Arvo	126.680	85.352	73.500	22.559	92.988	87.149	73.500	23.889
Max. Arvo	139.707	94.785	84.756	33.848	99.277	93.438	84.756	36.563
Mediaani	127.578	92.988	83.471	25.215	98.379	92.090	83.445	25.929
Moodi	126.680	92.539	-	-	99.277	92.539	-	-
Keskihajonta	4.367	2.989	3.709	3.557	2.079	1.991	3.691	4.180
Odotusarvo yläraja	133.405	95.360	86.297	29.425	99.840	93.519	86.177	31.234
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	124.671	89.382	78.880	22.311	95.683	89.537	78.794	22.873
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

Anon11697	Vasen			Oikea				
Mittaaja	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	140.625	99.121	66.620	29.863	106.934	99.609	68.642	31.570
B	142.578	96.980	67.833	33.563	104.920	97.656	70.000	34.909
C	143.555	96.191	69.769	-	106.445	98.145	69.769	33.617
D	142.090	96.680	67.741	33.819	106.445	98.145	69.404	33.588
E	141.113	98.633	67.315	30.779	105.957	99.121	69.010	32.670
F	141.601	97.656	68.150	32.254	105.469	97.656	70.682	34.562
G	141.601	98.145	68.146	31.618	105.496	98.633	68.146	33.536
H	141.601	97.168	67.292	32.946	104.980	97.656	70.222	34.865

Keskiarvo	141.846	97.572	67.858	32.120	105.831	98.328	69.484	33.665
Virheen suuruus	0.672	0.817	0.623	-	0.614	0.595	0.684	-
Min. Arvo	140.625	96.191	66.620	29.863	104.920	97.656	68.146	31.570
Max. Arvo	143.555	99.121	69.769	33.819	106.934	99.609	70.682	34.909
Mediaani	141.601	97.412	67.787	32.254	105.727	98.145	69.587	33.603
Moodi	141.601	-	-	-	106.445	97.656	-	-
Keskihajonta	0.904	1.005	0.924	1.461	0.735	0.735	0.850	1.146
Odotusarvo yläraja	142.750	98.577	68.783	33.582	106.566	99.063	70.334	34.811
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	140.941	96.566	66.934	30.659	105.096	97.592	68.634	32.518
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

Anon11716	Vasen			Oikea				
Mittaaja	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	115.625	62.891	44.464	24.968	85.547	61.328	45.066	27.938
B	117.188	60.938	45.568	28.033	84.766	60.547	45.568	29.085
C	117.969	60.938	45.896	28.450	84.766	60.547	45.896	28.976
D	117.188	61.328	45.630	27.558	85.547	60.938	45.630	28.273
E	116.016	62.891	44.760	25.193	85.547	61.328	44.760	27.966
F	116.797	61.719	45.833	26.857	85.547	60.547	45.833	28.725
G	115.625	62.891	45.037	24.913	85.547	61.328	45.037	27.951
H	117.578	60.938	45.522	28.336	85.547	60.938	45.522	28.325

Keskiarvo	116.748	61.816	45.339	26.789	85.352	60.938	45.414	28.405
Virheen suuruus	0.745	0.806	0.439	-	0.293	0.293	0.345	-
Min. Arvo	115.625	60.938	44.464	24.913	84.766	60.547	44.760	27.938
Max. Arvo	117.969	62.891	45.896	28.450	85.547	61.328	45.896	29.085
Mediaani	116.993	61.523	45.545	27.208	85.547	60.938	45.545	28.299
Moodi	115.625	62.891	-	-	85.547	61.328	-	-
Keskihajonta	0.897	0.928	0.523	1.544	0.362	0.362	0.411	0.468
Odotusarvo yläraja	117.645	62.744	45.862	28.332	85.713	61.299	45.825	28.873
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	115.852	60.888	44.815	25.245	84.990	60.576	45.003	27.937
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159

Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683
-------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Anon11718	Vasen				Oikea			
Mittaaja	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	146.484	111.328	78.749	29.785	115.234	113.769	78.749	28.891
B	146.484	111.816	80.034	29.113	113.281	111.328	79.639	32.303
C	146.484	112.305	80.176	28.504	113.769	113.281	80.176	29.842
D	146.973	111.816	80.394	-	114.258	112.305	80.394	30.572
E	144.531	115.234	77.677	24.756	115.723	114.746	77.677	27.638
F	145.019	113.769	79.650	26.440	114.746	113.281	79.650	29.554
G	145.996	112.793	73.150	28.205	114.258	112.793	73.150	30.803
H	145.508	112.793	79.527	27.772	114.258	112.305	79.527	30.835

Keskiarvo	145.935	112.732	78.670	27.796	114.441	112.976	78.620	30.055
Virheen suuruus	0.687	0.916	1.628	-	0.595	0.793	30.055	-
Min. Arvo	144.531	111.328	73.150	24.756	113.281	111.328	73.150	27.638
Max. Arvo	146.973	115.234	80.394	29.785	115.723	114.746	80.394	32.303
Mediaani	146.240	112.549	79.589	28.205	114.258	113.037	79.583	30.207
Moodi	146.484	111.816	-	-	114.258	113.281	-	-
Keskihajonta	0.843	1.263	2.398	1.705	0.780	1.042	2.370	1.413
Odotusarvo yläraja	146.778	113.995	81.068	29.501	115.221	114.018	80.990	31.468
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	145.092	111.468	76.271	26.092	113.660	111.934	76.250	28.641
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683

Anon11722	Vasen				Oikea			
Mittaaja	x	y	z	V vasen	x	y	z	V oikea
A	99.277	85.266	75.011	24.419	73.047	85.598	75.536	19.147
B	101.269	82.280	76.626	27.827	70.391	82.280	77.024	23.507
C	100.605	84.271	77.012	25.481	71.387	82.944	77.757	22.212
D	101.269	82.612	76.902	27.437	72.383	84.271	77.093	20.612
E	100.937	83.608	75.252	26.622	71.387	84.935	75.252	20.770
F	98.945	85.598	75.637	23.754	72.383	84.271	76.434	20.659
G	102.266	82.944	75.432	27.703	69.395	80.953	75.432	25.323
H	100.937	83.276	74.868	27.147	71.719	83.276	74.868	22.163

Keskiarvo	100.688	83.732	75.842	26.299	71.511	83.566	76.174	21.799
Virheen suuruus	0.809	0.985	0.753	-	0.872	1.203	0.902	-
Min. Arvo	98.945	82.280	74.868	23.754	69.395	80.953	74.868	19.147
Max. Arvo	102.266	85.598	77.012	27.827	73.047	85.598	77.757	25.323
Mediaani	100.937	83.442	75.535	26.885	71.553	83.773	75.985	21.467
Moodi	101.269	-	-	-	71.387	84.271	-	-
Keskihajonta	1.090	1.215	0.870	1.563	1.176	1.509	1.046	1.943
Odotusarvo yläraja	101.779	84.947	76.713	27.862	72.688	85.075	77.220	23.743
Normaalijakauma yläraja	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841	0.841
Odotusarvo alaraja	99.598	82.517	74.972	24.736	70.335	82.057	75.129	19.856
Normaalijakauma alaraja	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
Normaalijakauma ylä-ala	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683