

Johanna Reijonen ja Anna Sivonen

## Polarisoiva LCD-näkötestiprojektori varteen- otettava vaihtoehto painetuille testitauluille

Tomey TCP-2000P Chart Panel 23” polarisoivalla E-taulu-  
näytöllä, POLA VistaVision 22” LCD-näkötestiprojektorilla ja  
painetuilla testitauluilla saatujen tutkimustulosten vertailukel-  
poisuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Optometrismi (AMK)

Optometria

Opinnäytetyö

5.5.2014

Tekijät Otsikko	Johanna Reijonen ja Anna Sivonen Polarisoiva LCD-näkötestiprojektori varteenotettava vaihtoehto painetuille testitauluille
Sivumäärä Aika	60 sivua + 5 liitettä 5.5.2014
Tutkinto	Optometrismi (AMK)
Koulutusohjelma	Optometrian koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Optometria
Ohjaajat	Lehtori Juha Havukumpu Lehtori Juha Päällysaho
<p>Nestekide- eli LCD-näytöt ovat korvanneet kuvaputkinäyttötekniikan ja ovat yleistymässä optikkoliikkeiden näöntarkastusvälineinä. Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia kahdella polarisoivalla LCD-näkötestiprojektorilla ja perinteisillä, painetuilla testitauluilla saatuja tutkimustuloksia ja verrata niitä toisiinsa. Yhteistyökumppanina toimivat logen Oy ja Optiikka Juurinen Oy, jotka toimittivat tutkimuksia varten Tomey TCP-2000P- ja POLA VistaVision - LCD-näkötestiprojektorit.</p> <p>Opinnäytetyö koostuu teoriaosuudesta sekä tutkimusosuudesta. Teoriaosuudessa esitellään tutkimuksessa käytettävät LCD-näkötestiprojektorit ja käsitellään värinäköä, stereonäköä ja kontrastiherkkyttä sekä niiden tutkimista valituilla testivälineillä. Tutkimusosuudessa kerrotaan testijärjestelyistä, tutkimustuloksista ja tulosten analysoinnista. Lisäksi työssä esitetään argumentteja LCD-näkötestiprojektoreiden hankkimisen puolesta ja sitä vastaan.</p> <p>Tutkimusjoukoksi muodostui 30 satunnaisesti valikoitunutta henkilöä. Tutkimusjoukolle toteutettiin Ishiharan värinäkötesti, stereonäköä mittaavina testeinä Wirtin ympyrä-, Stereoympyrä- ja D6-stereonäkötestit sekä kontrastiherkkyttä mittaavina testeinä Vistech VCTS 6500-, CST- ja kontrastiherkkyystesti.</p> <p>Tutkimusten pieni otoskoko tulee huomioida tuloksia arvioitaessa. Värinäön mittauksissa todettiin puna-viherheikkoutta neljällä tutkittavalla. Tämän otoksen perusteella ei saada todennettua merkittäviä ja johdonmukaisia eroja LCD-näkötestiprojektorien värinäkötestien ja Ishiharan väritestikirjan tulosten välillä. Tutkimukset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että kaikilla testivälineillä voidaan tarpeen tullen mitata taipumusta puna-vihernäön heikkouteen. Tutkimusten perusteella voidaan todeta myös stereonäön mittauksen olevan mahdollista kaikilla kolmella verrokillä. LCD-näkötestiprojektoreilla mitattavilla stereotesteillä sekä Wirtin ympyrä -testillä saatujen tuloksien välillä on kuitenkin hajontaa. Kontrastiherkkyystestien tulosten välillä on hajontaa kolmen verrokkitestin välillä, mutta sen määrä vaihtelee eri paikkataajuuksilla.</p> <p>Jotta LCD-näkötestiprojektorien ja painettujen testitaulujen tutkimustuloksista ja niiden vertailukelpoisuudesta voisi tehdä tilastollisia johtopäätöksiä, tarvittaisiin jatkotutkimuksia aiheeseen liittyen. Tämän opinnäytetyön tutkimustulokset kannustavat aiheen syvällisempään tutkimiseen.</p>	
Avainsanat	LCD, Tomey TCP-2000P, POLA VistaVision, Ishihara, Titmus Stereo Fly, Vistech, värinäkö, stereonäkö, kontrastiherkkyys

Authors	Johanna Reijonen and Anna Sivonen
Title	A Study of polarizing LCD Chart Panels: Comparability of the Test Results of Tomey TCP-2000P 23" Chart Panel, POLA VistaVision 22" LCD Screen and Printed Test Charts
Number of Pages Date	60 pages + 5 appendices 5 May 2014
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Optometry
Specialisation option	Optometry
Instructors	Juha Havukumpu, Senior Lecturer Juha Päällysaho, Senior Lecturer
<p>Liquid Crystal Display (LCD) technology has become increasingly popular in ophthalmic equipment. The aim of this study is to examine and compare the traditional printed test charts and two brands of LCD chart panels as well as to provide arguments for and against the use of LCD projectors in optical stores. The <i>POLA VistaVision</i> and <i>TCP-2000P</i> LCD projectors used in this study were kindly provided by Iogen Ltd and Optiikka Juurinen Ltd.</p> <p>This thesis consists of a theoretical review and a research section. In the theoretical review, the LCD projectors are introduced and theories of color vision, stereo acuity and contrast sensitivity are discussed. In the research section, the study design is explained and the test results are presented and analyzed.</p> <p>Thirty volunteers participated in this study. Their stereo acuity was tested with the Ishihara Test Chart Book, Wirt Stereo Fly Test, Stereo Circles and Differentiated Stereo D6, and their contrast sensitivity was measured with the Vistech VCTS 6500, CTS and Contrast Sensitivity Test.</p> <p>During the color vision tests red-green deficiency was detected in four subjects. Due to the small sample size, it is not possible to show significant and coherent differences in the color vision test between the two LCD projectors and the Ishihara Test Chart Book. However, the results suggest that it is possible to measure both red-green color deficiency and stereo acuity with all of the test equipment, although there is dispersion between the stereo acuity test results obtained from the LCD projectors and the Wirt Stereo Fly Test. There is also dispersion among the three contrast sensitivity tests, but the degree of dispersion varies in different spatial frequencies.</p> <p>In order to draw statistical conclusions of the results obtained from the LCD projectors and printed test charts, further research is needed. This thesis serves as a preliminary basis for more in-depth study into this topic.</p>	
Keywords	LCD, Tomey TCP-2000P, POLA VistaVision, Ishihara, Titmus Stereo Fly, Vistech, color, stereo, contrast

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Polarisoivien LCD-näkötestiprojektorien esittely	2
2.1	Tomey TCP-2000P Chart Panel 23” polarisoiva E-taulunäyttö	3
2.2	POLA VistaVision LCD-näkötestiprojektori 22”	4
3	Väri- ja stereonäkö sekä kontrastiherkkyys	7
3.1	Värinäkö	7
3.2	Stereonäkö	10
3.3	Kontrastiherkkyys	11
4	Aikaisempia tutkimuksia väri- ja stereonäkötesteistä sekä kontrastiherkkyysmittauksista	14
5	Tutkimusjärjestelyt	16
5.1	Tutkimusjoukko	17
5.2	Valaistus	17
6	Tutkimusmenetelmät	19
6.1	Värinäön tutkiminen	19
6.2	Stereonäön tutkiminen	22
6.3	Kontrastiherkkyiden tutkiminen	25
6.3.1	Vistech VCTS 6500 -juovastotesti	25
6.3.2	Tomey TCP-2000P -näkötestiprojektorin CST-kontrastiherkkyystesti	27
6.3.3	POLA VistaVision -näkötestiprojektorin kontrastiherkkyystesti	29
7	Tutkimustulokset	31
7.1	Värinäön tutkimustulokset	31
7.2	Stereonäön tutkimustulokset	33
7.3	Kontrastiherkkyiden tutkimustulokset	35
7.3.1	Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella A 1,5	35
7.3.2	Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella B 3,0	36
7.3.3	Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella C 6,0	37
7.3.4	Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella D 12,0	38
7.3.5	Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella E 18,0	39

8	Analyysi	40
8.1	Väri­näkö­testien tutkimustulosten analyysi	40
8.2	Stereonäkö­testien tutkimustulosten analyysi	41
8.3	Kontrastiherkkyystestien tutkimustulosten analyysi	42
8.4	Tutkimustuloksiin vaikuttaneita tekijöitä	45
8.4.1	Väri­näkö­testien tutkimustuloksiin vaikuttaneita tekijöitä	45
8.4.2	Stereonäkö­testien tutkimustuloksiin vaikuttaneita tekijöitä	46
8.4.3	Kontrastiherkkyystestien tutkimustuloksiin vaikuttaneita tekijöitä	46
9	Pohdinta	50
9.1	LCD-näkö­testiprojektorien edut ja haitat	50
9.2	Tutkimusprosessi ja johtopäätökset	52
9.3	Opinnäytetyöprosessi	55
9.4	Tutkimuksen luotettavuus ja jatkotutkimusehdotukset	55
	Lähteet	57
	Liitteet	
	Liite 1. Raportti Tomey TCP-2000P -projektorin kontrastiherkkyystestistä	
	Liite 2. Raportti POLA VistaVision -projektorin kontrastiherkkyystestistä	
	Liite 3. Saatekirje	
	Liite 4. Kutsu tutkimukseen	
	Liite 5. SPSS Wilcoxon Signed Ranks Test	

## 1 Johdanto

Nestekide- eli LCD-näytöt (Liquid Crystal Displays) ovat korvanneet kuvaputkinäyttötekniikan ja ovat yleistymässä optikkoliikkeiden näöntarkastusvälineinä. Tutkimuksen lähtökohtana oli halu tutustua polarisoiviin LCD-näkötestiprojektoreihin niiden ajankoh-taisuuden vuoksi.

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan kahdella polarisoivalla LCD-näkötestiprojektorilla ja perinteisillä, painetuilla testitauluilla toteutettuja testejä ja niillä saatuja tuloksia. LCD-projektoreilla saatuja tutkimustuloksia vertaillaan myös keskenään, mutta tarkoituksena ei ole tehdä laitevertailua kahden eri valmistajan projektorin välillä. Tutkimuksessa ver-tailtaviksi näkötestiprojektoreiksi valittiin Iogen Oy:n Metropolia Ammattikorkeakoululle lainaama Tomey TCP-2000P Chart Panel 23” polarisoiva E-taulunäyttö ja Optiikka Juu-rinen Oy:n toimittama POLA VistaVision LCD-näkötestiprojektori 22”. Testeinä toimivat kontrastiherkkyttä sekä väri- ja stereonäköä mittaavat testit. Tomey TCP-2000P -projektorilla käytetään Ishiharan värinäkö-, Stereoympyrä- ja CST-testiä ja POLA Vis-taVision -projektorilla Ishiharan värinäkö-, D6-stereo- ja kontrastiherkkyystestiä. Painet-tuina testeinä käytetään Ishiharan 24-tauluista väritestikirjaa, Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testiä ja Vistech VCTS 6500 -testitaulua.

Opinnäytetyö koostuu kirjallisuuskatsauksesta ja tutkimuksellisesta osuudesta. Teo-riaosuudessa esitellään tutkimuksissa käytettävät polarisoivat LCD-näkötestiprojektorit ja käsitellään väri- ja stereonäköä sekä kontrastiherkkyttä. Tutkimuksen toteutusosas-sa esitellään tutkimusmenetelmät, tutkimusjärjestely ja tutkimustulokset. Lisäksi työssä esitetään argumentteja LCD-näkötestiprojektorin hankkimisen puolesta ja sitä vastaan. Näiden argumenttien on tarkoitus toimia apuna hankintapäätöksen tekemisessä esi-merkiksi optikkoliikkeissä, joissa harkitaan näöntutkimusvälineistön uusimista.

Usein LCD-näkötestiprojektoreita markkinoitaessa korostetaan, että ne sisältävät erit-täin monipuolisesti erilaisia optotyyppisiä ja testejä. Useimmat laitevalmistajat mainos-tavat erityisesti värinäkötestien, laajojen polarisaatiotestien ja kontrastiherkkyystestien sisällymistä testivalikoimiin. Juuri tämän mainostuksen vuoksi opinnäytetyöhön valikoi-tuivat kyseisiä näkemisen ominaisuuksia mittaavat testit, ja näin ollen opinnäytetyön tavoitteena on selvittää polarisoivien LCD-projektorien testien luotettavuutta verrattuna painettuihin testitauluihin.

## 2 Polarisovien LCD-näkötestiprojektorien esittely

Nestekide- eli LCD-näytöt (Liquid Crystal Displays) ovat korvanneet kuvaputkinäyttötekniikan ja ovat yleistymässä myös optikkoliikkeiden näöntarkastusvälineinä. LCD-näyttö koostuu useista kerroksista, joista ulommaisoin on polarisoitu filmi. Seuraava kerros koostuu lasista, jonka takana ovat elektrodikalvot, joiden väliin jää nestekide. Taa- immaisin kerros muodostuu myös polarisoivan filmin peittämästä lasista. Valoa polari- soivaan nestekiteeseen syntyy sähkökenttä, kun siihen johdetaan sähkövirtaa. LCD- näkötestiprojektorit ovat taustavalaistuja näyttöjä, joissa valonlähde on sisäänrakennet- tuna nestekiteistä koostuvan kerroksen takana. (Fujitsu Microelectronics America, Inc 2006: 3–4; Pardo - Pérez - Suero 2004: 159.)

LCD-näytössä käytetty paneelitekniikka vaikuttaa olennaisesti näytön toistamaan ku- van laatuun. Yleisimpiä paneelitekniikoita ovat TN (Twisted Nematic), VA (Vertical Alingment) ja IPS (In-Plane-Switching). TN-paneelitekniikassa on kaksi suodinta ja nestekiteet kiertävät valon polarisointitasoa jälkimmäisen suotimen suuntaisesti. Säh- kökentän kääntäessä nestekiteet kohtisuoraan asentoon valo ei pääse toisen suotimen läpi. TN-tekniikassa katselukulma vaikuttaa värisävyjen tummuuteen. VA-tekniikassa nestekiteet ovat kohtisuorassa polarisointikalvoon nähden, mutta sähkökentän vaiku- tuksesta ne kääntyvät polarisointikalvon suuntaisesti. IPS-tekniikassa nestekiteet ovat polarisointikalvon suuntaisia, mutta valon kiertymiskulmaa säädetään elektrodien luo- malla sähkökentällä. IPS-tekniikalla varustetut näytöt mahdollistavat erinomaisen kat- selukulman laajuuden, sillä nestekiteet ovat sivusuunnassa katsojaan nähden. (Baker 2013; Hämäläinen 2009, 55–57.)

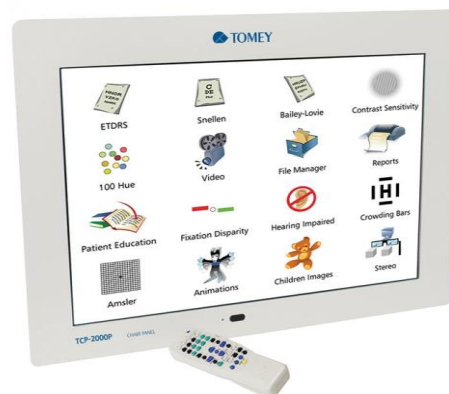
LCD-näyttöjen värien toisto perustuu additiiviseen RGB-värijärjestelmään, jossa valon päävärejä – punainen (Red), vihreä (Green) ja sininen (Blue) – sekoitetaan toisiinsa. RGB-värijärjestelmässä saadaan aikaan valkoinen väri, kun kaikki valon päävärit yhdis- tetään toisiinsa. Näytön RGB- ja harmaasävyarvot säädetään gammakäyrän avulla. Oikein säädetyn gammakäyrän avulla pienet sävyerot saadaan erottumaan toisistaan mahdollisimman hyvin. Gammakäyrä esitetään yhtälöllä  $L = E^\gamma$ , jossa  $L$  kuvaa lumi- nanssia ja  $E$  näyttöön tulevaa jännitettä.  $\gamma$ :n arvo vaihtelee 2,2–2,6 välillä käytössä ole- vasta näytöstä riippuen. Ideaalin, lineaarisesti kuvautuvan gammakäyrän arvo on 1,0, jolloin  $L = E$ . Jokaisella näytöllä on kuitenkin oma gamma-arvonsa, eikä ideaali tilanne yleensä toteudu. Esimerkiksi useat LCD-näytöt, PC-järjestelmät ja digitaaliset televisiot tukevat yleensä gamman arvoa 2,22. Mitä suurempi resoluutioarvo näytöllä on sitä

monipuolisemmin sillä voidaan esittää gamma-arvoja. (Keränen - Lamberg - Penttinen 2003: 75; Lee - Chen 2005.)

## 2.1 Tomey TCP-2000P Chart Panel 23" polarisoiva E-taulunäyttö

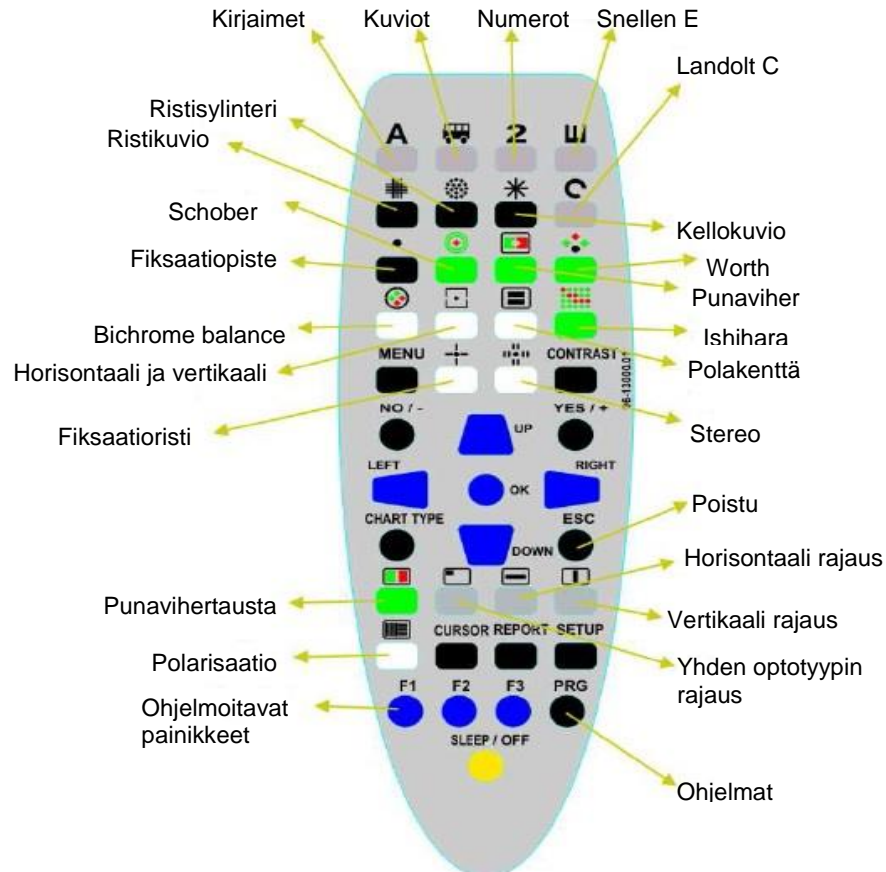
Tomey TCP-2000P E-taulunäytön keskusyksikössä on 23 tuumainen polarisoiva ja heijastamaton LCD-näyttö (kuvio 1), jonka resoluutio on 1920 x 1080 pistettä tuumalla. Näyttöä kehystäää vaalean harmaa, mattapintainen reuna. Tomey alustaa itsensä noin 30 sekuntia kestävän käynnistysajan yhteydessä. (Logen n.d. b; Kangastupa 2014.)

Tomey TCP-2000P (myöhemmin tekstissä Tomey) voidaan asentaa seinälle tai pöytätelineelle. LCD-näyttö tulee asentaa kohtisuoraan asiakkaan silmien tasolle ja se voidaan viedä kahdesta seitsemän metrin etäisyydelle asiakkaasta. Valittu tutkimusetäisyys tulee myös asettaa oikeaksi asetusvalikon kautta. Tomeyn projektorissa on USB2-portti ja laitteeseen voidaan kytkeä ulkoinen kovalevy tai muistitikku, jolle voidaan tallentaa luodut raportit. Raportit luodaan Pdf-tiedostomuotoon. (Logen n.d. b.)



Kuvio 1. Tomey TCP-2000P Chart Panel 23" polarisoiva E-taulunäyttö (Logen 2011).

Tomeyn projektori vastaanottaa kaukosäätimen infrapunasäteet keskusyksikön alaosan kautta. Kaukosäätimen (kuvio 2) painikkeet on jaoteltu väreillä. Kaukosäätimessä on painikkeita, joilla pääsee suoraan useisiin testeihin, mikä nopeuttaa projektorin käyttöä. Esimerkiksi Ishiharan värinäkötesti ja kontrastiherkkyystesti ovat suoraan ohjelmoitu painikkeiden alle. Kaukosäätimen yläosasta löytyvät harmaat painikkeet mahdollistavat suoran siirtymisen eri optotyyppeihin, joita voidaan rajata alaosan harmailla painikkeilla. (Logen n.d. b.)



Kuvio 2. Tomey TCP-2000P -kaukosäädin (logen n.d. b).

## 2.2 POLA VistaVision LCD-näkötestiprojektori 22”

POLA VistaVision -näkötestiprojektorin keskusyksikössä on 22 tuumainen polarisoiva ja heijastamaton LCD-näyttö, jonka resoluutio on 1680 x 1050 pistettä tuumalla. Näyttöä kehystää musta, mattapintainen reuna (kuvio 3). POLA VistaVision -projektorin (myöhemmin tekstissä POLA-VV) LCD-näyttöä ei tarvitse erikseen kalibroida jokaista käyttökertaa varten, sillä kaikki LCD-näytön parametrit on mitattu ja kalibroitu tehtaalla tarkoin määritellyissä olosuhteissa. Näyttö sammuu automaattisesti, kun projektori on käyttämättä muutaman minuutin ajan, jotta näytön ominaisuuksien laatu säilyisi mahdollisimman hyvänä. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. a; DMD Med Tech s.r.l. n. b.)

POLA-VV on mahdollista kiinnittää seinälle tai pöytätelineeseen. LCD-näytön keskusta on kohdistettava asiakkaan silmiin nähden kohtisuorasti ja samalle korkeustasolle, jotta 100 % erotus kahden silmän välille olisi mahdollista binokulaaristen testien aikana. POLA-VV:n ja asiakkaan väliseksi etäisyydeksi suositellaan vähintään kolmea metriä,

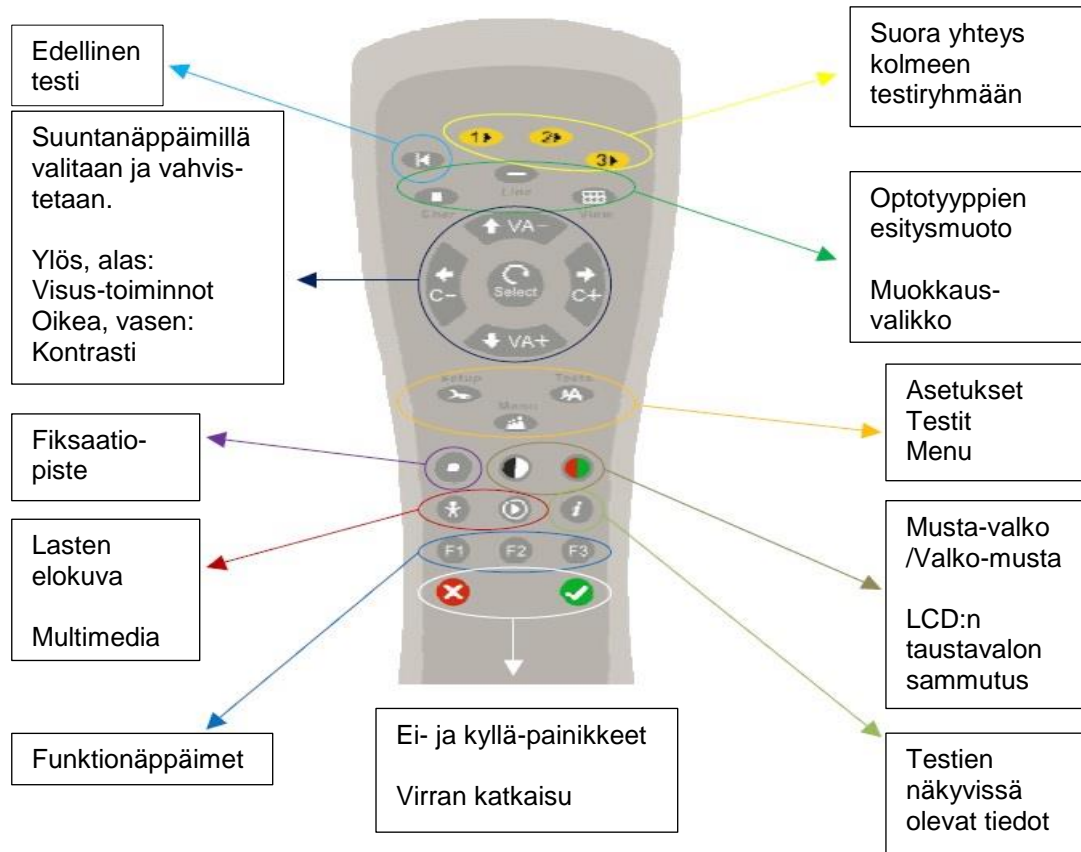
mutta ihanteellinen tutkimusetäisyys on neljästä kuuteen metriin. Valittu tutkimusetäisyys on mahdollista valita näytön asetuskunnon kautta. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.)



Kuvio 3. POLA VistaVision LCD-näkötestiprojektori 22" (Optikka Juurinen Oy c).

Keskusyksikkö on varustettu USB2-portilla, jota voidaan käyttää muun muassa ohjelmistopäivityksiin, tutkimusraporttien siirtämiseen, videoiden lataamiseen näytönsästäjäksi, elokuvien tai kuvien näyttämiseen ulkoiselta kovalevyllä tai muistitikulta. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.)

POLA-VV vastaanottaa kaukosäätimen infrapunasäteet keskusyksikön alaosan kautta. Infrapunakaukosäätimelle on laadittu kaksi versiota: Professional 26 näppäimellä (kuvio 4) ja Base 38 näppäimellä, joista Base-versio ei ole käytössä Suomessa. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.)



Kuvio 4. POLA VistaVision Professional -kaukosäädin (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b)

POLA-VV-projektoriin asennetut testit voidaan jaotella kolmeen enintään kymmenen testin ryhmään. Kaukosäätimen keltaiset painikkeet 1, 2 ja 3 mahdollistavat suoran pääsyn POLA-VV:n testiryhmien sisältämiin testeihin. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.)

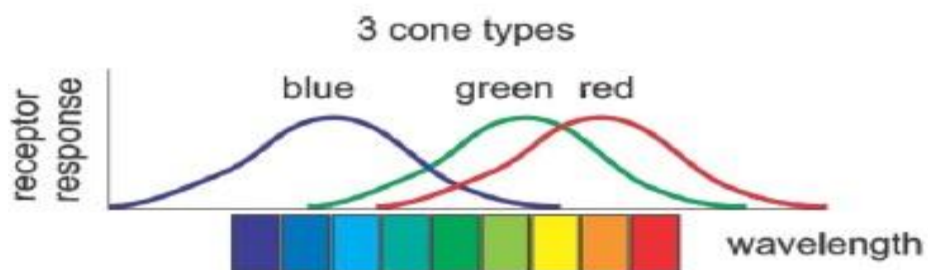
Samankokoisista optotyypeistä on mahdollista esittää eri vaihtoehtoja ulkoa oppimisen välttämiseksi kaukosäätimen Select-painikkeen avulla. Char-, Line- ja View-näppäinten avulla voidaan valita esimerkiksi optotyyppien esitysmuoto yksittäisenä merkinä, rivinä tai useana allekkaisena rivinä. View-näppäimellä saadaan myös vaihtoehtoisia testinäkyviä samasta testistä. Esimerkiksi Ishiharan värinäkötestin kohdalla POLA-VV tarjoaa automaattisesti 130 cm etäisyydeltä tehtävän testin ja View-näppäimen avulla testi saadaan yhteensopivaksi 75 cm testietäisyyden kanssa. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.)

### 3 Väri- ja stereonäkö sekä kontrastiherkkyys

#### 3.1 Värinäkö

Värinäön kannalta olennainen näköjärjestelmän osa on verkkokalvo eli retina ja sen rakenne. Verkkokalvo jaetaan kymmeneen kerrokseen ja se koostuu kuudesta erityyppisestä reseptorisolusta: tappi- ja sauvasolut sekä horisontaali-, bipolaari-, amakriini- ja gangliosolut. Tappi- ja sauvasolut ovat valoa vastaan ottavia soluja eli fotoreseptoreita. Tappisolut ovat erikoistuneet aistimaan valon eri aallonpituuksia ja sauvasolut toimivat hämärässä. Värinäkö perustuu silmän verkkokalvon erilaisten tappisolujen toimintaan. Verkkokalvolla tappisoluja on noin 7 miljoonaa ja sauvasoluja noin 120 miljoonaa kappaletta. Tarkan näkemisen alueella, fovealla, on ainoastaan valon eri aallonpituuksia aistivia tappisoluja. (Birch 1993: 19; Kivelä 2007; Saari - Mäntylä - Summanen - Nummelin 2011: 70.)

Värinäkö perustuu verkkokalvon kolmen tappisoluryhmän sekä niistä lähtevien hermosyiden toimintaan. Varsinainen värien erottaminen toisistaan on mahdollista vasta ensimmäisellä näköaivokuorella, jossa on väriherkkiä kaksoisopponenttisoluja. Tappisoluja on eniten makulan alueella verkkokalvon keskiosissa, mikä mahdollistaa samanaikaisesti tarkan erotuskyvyn ja värinäkemisen. Tappisolujen fotopigmentit ovat herkistyneet erityisesti punaiselle, vihreälle ja siniselle valolle (kuvio 5). Punaista väriä aistivan tappisolun fotopigmentti absorboi eniten valoenergiaa, jonka aallonpituus on 560 nanometriä, vihreää valoa aistivat tappisolut sitovat itseensä eniten 530 nanometrin valoenergiaa ja sinistä valoa aistivat solut reagoivat eniten lyhytaaltoiseen valoon, jonka aallonpituus on 420 nanometriä. Spektrin muut sävyt muodostetaan näistä perusväreistä. (Birch 1993: 20; Pease 2006: 309; Saari ym. 2011: 70.)



Kuvio 5. Erityyppiset tappisolut ovat herkistyneet valon eri aallonpituuksille (Vilis 2013).

Väreillä on kolme ulottuvuutta, jotka ovat kirkkaus, sävy ja värikylläisyys. Värien kirkkaus riippuu valon määrästä, värisävyt aallonpituuksista ja värikylläisyys värin puhtaudesta. Ihminen kykenee erottamaan värien 500 kirkkaustasoa, 200 värisävyä ja 20 värikylläisyyden tasoa, joten kokonaisuudessaan on mahdollista erottaa noin 2 miljoona erilaista väreihin liittyvää ominaisuutta. (Pease 2006: 311; Vilis 2013.)

Youngin ja Helmholtzin trikromaattisen teorian mukaan värin näkeminen riippuu kolmesta eri reseptorimekanismista, joista jokaisella on erilainen spektraalinen herkkyys. Teorian mukaan tietty valon aallonpituus ärsyttää eri tavalla jokaista kolmea eri pigmenttityyppiä, ja pigmenttien eriateinen ärsytys aiheuttaa värien havaitsemisen. (Birch 1993: 15–16; Pease 2006: 306–307.)

Ewald Hering esitti vaihtoehtoisen teorian trikromaattiselle väriteorialle. Heringin vastakkaisen värien teorian mukaan punaista, vihreää ja sinistä täydentää keltainen, sillä se on muiden päävärien kaltaisesti puhdas ilman häivähdyttä muista väreistä. Pohjimiltaan Heringin väriteoria on kuitenkin trikromaattinen, sillä siinä on kolme mekanismia. Heringin mukaan lämpimille väreille, joita ovat punainen, keltainen ja valkoinen, on vaste kylmissä sävyissä, joita ovat vihreä, sininen ja musta. (Birch 1993: 16; Pease 2006: 307–308.)

Young-Helmholtzin ja Heringin teorit voidaan myös yhdistää. Trikromaattinen teoria perustuu verkkokalvon valoreseptorien toimintaan ja spektraalinen vastakkaisuus esiintyy vasta myöhemmin lateraalis-neuraalisella tasolla reseptorien ärsytyksen ja inhiboinnin seurauksena. (Pease 2006: 308.)

Yleensä värinäön heikkous on synnynnäinen, kongenitaalinen ominaisuus, jota ei voida parantaa. Synnynnäisistä värinäön häiriöistä yleisin on puna-viherheikkous, joka periytyy resessiivisesti X-kromosomissa ja on siksi yleisempää miehillä kuin naisilla. Miehistä noin kahdeksalla prosentilla ja naisista 0,5 prosentilla on puna-viherheikkoutta. Synnynnäisessä värinäön häiriössä yksi verkkokalvon tappipigmentti puuttuu tai on rakenteeltaan poikkeava. (Pease 2006: 290–291; Saari ym. 2011: 72.)

Normaali värien näkeminen on trikromaattista, jolloin pystytään aistimaan kaikkia kolmea pääväriä – punainen, vihreä ja sininen – ja niitä voidaan myös sekoittaa ja yhdistää. Perinnölliset värinäön häiriöt jaotellaan anomaaliseen trikromatiaan, dikromatiaan ja monokromatiaan sekä akromatiaan. Anomaalit trikromaatit havaitsevat kaikki kolme

pääväriä, mutta tarvitsevat erilaisen väri-intensiteetin verrattuna normaaleihin trikromaatteihin. Anomaalinen trikromatia jaetaan kolmeen ryhmään: protanomalia, deuteranomalia ja tritanomalia. Protanomaliassa punaisen värin aistimisherkyys on heikentynyt. Deuteranomaliassa spektraalinen herkkyys on lähes normaali, mutta vihreän värin aistiminen on heikentynyt. Tritanomaliassa spektraalinen herkkyys on normaali, mutta sinisen valon aistiminen on heikentynyt. (Pease 2006: 291–293.)

Dikromaattien henkilöiden verkkokalvoilla on ainoastaan kahta fotopigmenttisolua. Myös dikromatia jaetaan kolmeen ryhmään: protanopia, deuteranopia ja tritanopia. Protanopiassa punaista valoa aistivat fotopigmentit puuttuvat, jolloin näkyvän valon spektri on lyhyempi punaisen valon aallonpituuden päästä. Tällöin punaisen, oranssin, keltaisen ja vihreän sävyt voivat sekoittua. Deuteranopiassa näkyvän valon aistiminen on lähes normaalia, mutta vihreää valoa aistivat fotopigmentit puuttuvat, jolloin punaisen, oranssin, keltaisen ja vihreän sävyt sekoittuvat. Tritanopiassa näkyvän valon aistiminen on normaalia, mutta lyhyttä valon aallonpituutta aistivat fotopigmentit puuttuvat. (Birch 1993: 31; Pease 2006: 291–293.)

Monokromaattien henkilöiden verkkokalvoilla on ainoastaan yhtä fotopigmenttisolua. Monokromaattisuus voidaan jakaa tappi- ja sauvasoluihin liittyvään monokromaattisuuteen. Täydellisessä värisokeudessa eli akromatopsiassa puuttuu kaikkien kolmen tappityypin toiminta, jolloin päivänvalossa näkeminen on hyvin heikkoa. (Birch 1993: 30; Pease 2006: 293–294.)

Kongenitaalisten värinäön heikkouksien lisäksi värinäön heikkoudet voivat johtua myös silmäsairauksista, päänsisäisistä vammoista, terapeuttisten lääkkeiden pitkäaikaisesta käytöstä tai pitkäaikaisesta altistumisesta teollisuuden liuotinaisille. Toisin kuin synnynäiset värinäön heikkoudet, jotka sijaitsevat aina verkkokalvon fotoreseptoreissa, hankitut värinäön heikkoudet voivat sijaita verkkokalvolla, näköaivokuorella tai niiden välisissä yhteyksissä. Esimerkiksi makulan degeneraatio tai verkkokalvon irtauma voivat aiheuttaa väriaistin häiriön. Hankitut värinäön heikkoudet voivat esiintyä ainoastaan toisessa silmässä ja niihin liittyy usein alentunut näöntarkkuus, näkökenttäpuutokset sekä heikentynyt kontrastiherkkyys. Hankittua värinäön häiriötä epäiltäessä, on värinäkö tutkittava kummastakin silmästä erikseen. (Birch 1993: 140–141; Saari ym. 2011: 71.)

### 3.2 Stereonäkö

Stereonäöllä tarkoitetaan kykyä havaita kolmiulotteisesti. Verkkokalvolle syntyvät kuvat eivät ole täysin samanlaiset, sillä silmät sijaitsevat lateraalisesti erillään toisistaan ja katsovat kohdetta hiukan eri kulmista. Tätä ilmiötä kutsutaan binokulaariseksi parallaksiksi. Binokulaarinen parallaksi saa aikaan silmien konvergenssin ja on yhteydessä stereonäkövaikutelman syntymiseen. Mikäli verkkokalvokuvien välinen ero eli dispariteetti on tarpeeksi pieni, voidaan molempien silmien välittämä näkö tieto yhdistää ensimmäisellä näköaivokuorella yhdeksi kolmiulotteiseksi kuvaksi. Verkkokalvolla on toisiaan vastaavat eli korrespondoivat verkkokalvokohdat, joita stimuloimalla saadaan aikaan aistimus yhdestä suunnasta. Vaikka verkkokalvon kuvat eivät olisi täysin vastaavia, voidaan ne tietyn alueen sisällä fuusoida yhdeksi kuvaksi. Tätä aluetta kutsutaan Panumin alueeksi. (Daum - McCormack 2006: 151–153; Erkkilä 2011: 311–312; Grosvenor 2007: 78.)

Kaikilla ei ole kykyä havaita kolmiulotteisesti. Toisen silmän kautta saatava informaatio voi olla laadultaan hyvin erilainen esimerkiksi karsastuksen tai amblyopian vuoksi, jolloin toisen silmän kuva suljetaan aivotasolla pois eli suppressoidaan. Suppression ansiosta näköaisti pystyy keskittymään vain toisen silmän puolelta tulevaan näköinformaatioon. Suppressio voi esiintyä ajoittaisena tarpeen vaatiessa tapahtuvana tai vuorottaisena toimintana, jolloin kumpikin silmä voi olla vuorollaan supressiossa. (Erkkilä: 315; Grosvenor 2007: 79–80.)

Stereonäön ollessa vaillinainen syvyyden havaitsemiseen käytetään muita vihjeitä. Monokulaariset ja erityisesti kokemukseen perustuvat vihjeet ovat tärkeitä tekijöitä visuaalisten kohteiden syvyyttä havainnoitaessa. Esimerkiksi kohteen luoma varjo ja sen suunta sekä sijainti, kohteen koko ja kohteen peittyminen toisella kohteella ovat tärkeitä monokulaarisia vihjeitä syvyyserojen erottamisessa. Myös liike tuottaa voimakkaita monokulaarisia vihjeitä. (Grosvenor 2007: 79–80. Schwartz 2010: 229–235.)

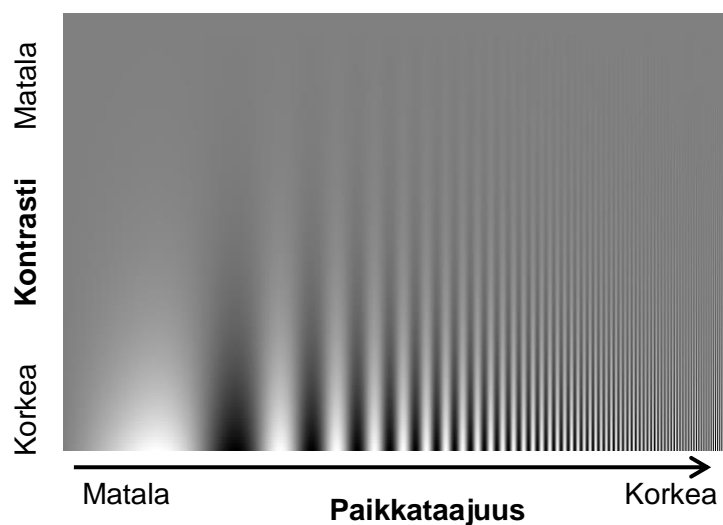
Eri testeillä voidaan mitata, onko stereonäkemistä olemassa ja minkä tasoista se on. Stereonäköä mitataan määrittämällä verkkokalvokuvien pienin ero, joka vielä mahdollistaa syvyyshavainnon. Tulos ilmoitetaan kaarisekunteina. (Cooper 1991: 122; Korja 2008: 228.)

### 3.3 Kontrastiherkkyys

Näöntarkkuus ja näkökentät eivät ole ainoa keino mitata näkökykyä. Näkemisen laatuun vaikuttaa olennaisesti myös kontrastien erottamiskyky eli kontrastiherkkyys. Vaikka näöntarkkuus ja näkökentät olisivat normaalit, saattaa kontrastiherkkyys olla heikentynyt, jolloin toiminnallinen näkökyky arjen eri tilanteissa voi jäädä hyvinkin heikoksi, ja esimerkiksi pimeänäkeminen voi olla hyvin heikkoa. Kontrastiherkkyuden mittaus on nopea ja yksinkertainen toimenpide, ja jos se sisällytetään näöntarkastukseen, saadaan huomattavasti laajempi kuva toiminnallisesta näkökyvystä. Vaikka näöntarkkuuden taso olisi täysin normaali, voi kontrastiherkkyys olla heikentynyt. (Elliott 2006: 247.)

Kontrastiherkkyydellä tarkoitetaan kykyä havaita pintojen luminanssi- eli valoisuuseroja. Kontrastiherkkyudeksi kutsutaan kontrastikynnyksen eli pienimmän havaittavissa olevan tummuus- tai vaaleuseron käänteisarvoa. Kontrastiherkkyyttä voidaan mitata erilaisten paikkataajuuksien eli spatiaalifrekvenssien avulla joko erilaisilla kuvio- tai juovastotesteillä. Paikkataajuudella tarkoitetaan siniaallon syklien lukumäärää yhden näkökulma-asteen alueella. (Elliott 2006: 247.)

Kontrastiherkkyyttä kuvaavasta juovastokuvioista (kuvio 6) nähdään, että paikkataajuuden ollessa matala, on juovien leveys ja etäisyys toisiinsa nähden suurempi kuin korkeilla paikkataajuuksilla. Korkean kontrastin alueella juovat erottuvat taustastaan hyvin, mutta kontrastin heikentyessä juovastojen erottaminen vaikeutuu, kunnes kontrastikynnyks saavutetaan, eikä valoisuuseroja enää kyetä havaitsemaan. (Patorgis 1991: 498.)



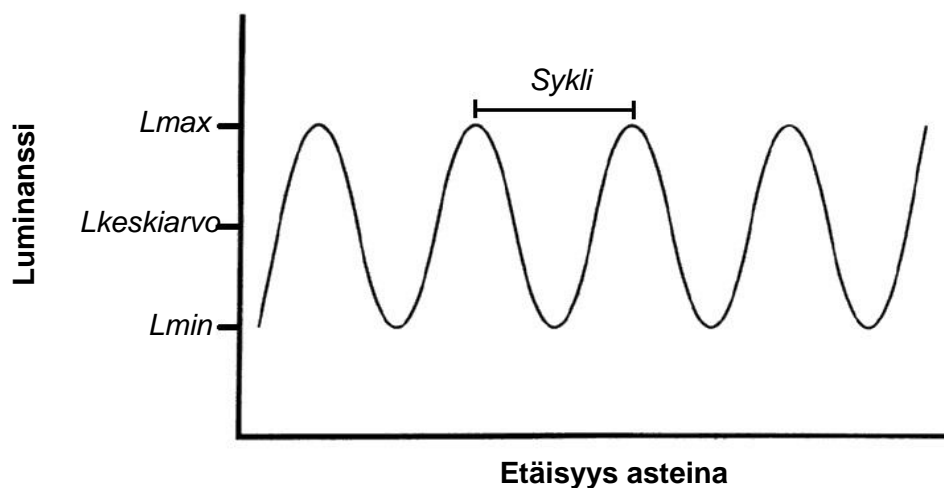
Kuvio 6. Kontrastiherkkyuden juovastokuvio: vaaka-akselissa on paikkataajuus ja pystyakselissa on kontrastin taso. (Elliott 2006: 248; Ohzawa n.d.)

Siniaaltojuovakuviot toistavat vaaleita ja tummia pylväskuvioita, joiden luminanssiprofiilia voidaan kuvata Michelsonin funktion avulla:

$$\frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

$L_{max}$  ja  $L_{min}$  kuvaavat juovastokuvion vaaleimman ja tummimman luminanssin arvoja. Michelsonin kontrasti vaihtelee 0 % ja 100 % välillä, jolloin 0 % tarkoittaa kontrastin puuttumista kohteen ja taustan väliltä ja 100 % tarkoittaa erittäin korkeaa kontrastia kohteen ja taustan välillä, kuten esimerkiksi musta teksti valkoisella pohjalla. (Elliott 2006: 247; Grosvenor 2007: 171; Patorgis 1991: 498.)

Juovaston vierekkäiset korkeimman ja matalimman luminanssiarvon juovat kuvaavat sinikäyrässä yhtä sykliä (kuvio 7). Sinikäyrä on säännöllisen aallon muotoinen käyrä. Juovastotesteissä sinikäyrän syklit ovat yhdessä testikuvioyhmässä yhtä pitkiä, sillä mittaus tapahtuu aina yhdellä paikkataajuudella kerrallaan. Ainoastaan syklin vaiheet ja kontrasti muuttuvat. (Elliott 2006: 248–249.)



Kuvio 7. Luminanssiprofiili sinikäyrässä. Esimerkki syklistä: korkeimman luminanssiarvon kohdalta juovaston seuraavaan korkeimpaan luminanssiarvoon. (Elliott 2006: 248.)

Kontrastiherkkyden mittaustuloksista voidaan laatia kontrastiherkkyyskäyrä, jonka suhdetta ennalta määritettyihin normaaliarvoihin voidaan verrata. Kontrastiherkkyyskäyrän ollessa alentunut korkeilla paikkataajuuksilla voi se viitata muun muassa alentuneeseen näöntarkkuuteen, korjaamattomaan taittovirheeseen, kaiheen tai joissakin tapauksissa myös alkuvaiheen makuladegeneraatioon. Kontrastiherkkyden alenema

kaikilla paikkataajuuksilla viittaa jo pidemmälle edenneisiin silmäsairauksiin. Jos kontrastiherkkyyskäyrä on alentunut vain matalien paikkataajuuksien alueella, voi näöntarkkuus olla normaalilla tasolla. Alenemaa matalilla paikkataajuuksilla havaitaan neuronisissa sairauksissa, kuten näköhermonpääntulehdusten, MS-taudin, avokulmaglaukooman, diabeteksen, Parkinsonin- ja Alzheimerin -taudin yhteydessä. (Elliott 2006: 251.)

#### 4 Aikaisempia tutkimuksia väri- ja stereonäkötesteistä sekä kontrastiherkkyysmittauksista

Tutkimuksia väri- ja stereonäkötesteistä sekä kontrastiherkkyysmittauksista LCD-näköttestiprojektoreilla on tehty aiemminkin. Kuitenkaan täysin samanlaista tutkimusta, jossa verrataan painettua Ishiharan väritestikirjaa, Wirtin ympyrä -stereotestiä, Vistech VCTS 6500 -kontrastiherkkyystestiä ja LCD-projektorilla toteutettavia vastaavia testejä ei tiettävästi ole tehty. Myöskään valituilla POLA VistaVision- ja Tomey TCP-2000P -projektoreilla toteutettuja testivertailuja kyseisten testien osalta ei ollut saatavilla.

Värinäön tutkimista LCD-näytöillä on tutkittu Pardon ja hänen yhteistyökumppaniensa tutkimuksessa *Validity of TFT-LCD displays for colour vision deficiency research and diagnosis* ja Awadin, Nattin ja Pothierin tutkimuksessa *Ishihara plates on your handheld computer*. Pardo tutkijakollegoineen toteaa tutkimuksessaan, ettei LCD-näyttöjä käytetä värinäön tutkimiseen vielä kovinkaan paljon, mikä voi johtua LCD-näyttöjen historiasta. Ensimmäisissä LCD-näytöissä värien kromaattinen laajuus oli pieni ja luminanssvaihtelut olivat suuria verrattuna kuvaputkinäyttöihin. Tutkimuksessa vertailtiin kolmea litteää LCD-näyttöä ja yhtä kuvaputkinäyttöä. Tutkimustulosten mukaan LCD-näyttöjen värien toistossa oli hieman eroavaisuuksia. LCD-näyttöjen luminanssvaihtelu ei ollut niin suurta kuin olettamus oli, ja vaihtelut olivat niin pieniä, että näyttöjen todettiin soveltuvan värinäön tutkimuksiin. Myös Awadin ja hänen tutkijakollegoidensa tutkimuksessa todetaan elektronisten Ishiharan testien toimivan tehokkaasti värinäköttestauksessa. Fuchsbergerin tutkimuksen *Method of Correcting Color Saturation in Electronic Image Processing* mukaan on tärkeää huomioida elektronisten kuvien värikylläisyys ja -tasapaino, vivahde-erot sekä terävyys. (Awad ym. 2007: 58–59; Fuchberger 1989; Pardo ym. 2004: 159–163.)

Oetjenin ja Zieflien tutkimuksessa *The Effects of LCD Anisotropy on the Visual Performance of Users of Different Ages* on tutkittu katselukulman muutoksen vaikutusta näkemiseen LCD- ja kuvaputkinäytöillä. Tutkimuksen mukaan katselukulman vaihtuminen sivusuunnassa häiritsee näkökokemusta sekä LCD- että kuvaputkinäytöllä, mutta haittavaikutukset korostuvat etenkin LCD-näytöllä. Myös Pardo tutkijaryhmineen toteaa tutkimuksessaan, että LCD-näytöillä tehtävissä tutkimuksissa korostuu suoran katselukulman merkitys. (Oetjen - Ziefle 2007: 619; Pardo ym. 2004: 159–163.)

Thayaparan kollegoineen vertaa tutkimuksessaan *Clinical assessment of two new contrast sensitivity charts* kontrastiherkkyden mittaustuloksia painetulla Pelli-Robson -testitaululla sekä tietokonepohjaisella testitaululla. Tutkimuksessaan he toteavat tietokonepohjaisella testivälineellä suoritettavan kontrastiherkkyystestin toistettavuuden olevan huonompi kuin painetulla testitaululla. Elektronisen testitaulun tulokset eivät anna vastaavia arvoja Pelli-Robsonin testitaulun kanssa. Syynä tähän ongelmaan tutkijat pitävät sitä, etteivät LCD-näytöt pysty toistamaan matalan kontrastin tasoja. (Thayaparan - Crossland - Rubin 2006: 749–752.)

Kimin ja hänen kollegansa tutkimuksessa *Spatial Luminance Contrast Sensitivity: Effects of Surround* vertailtiin ympäristön luminanssimuutosten vaikutusta kontrastiherkkyyskäyrään. Kontrastiherkkyden mittauksessa käytettiin Eizo ColorEdge221 -LCD-näyttöä ja mittauskuvioina käytettiin siniaaltojuovastoja. Tutkimuksessa huomattiin luminanssitasojen vaihtelun vaikuttavan kontrastiherkkyyskäyrään. (Kim - Kim 2010: 152, 160.)

## 5 Tutkimusjärjestelyt

Tutkimukset tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Mannerheimintien toimipisteen näöntarkastusluokassa. Osa tutkimuksista suoritettiin 16. ja 18.12.2013 ja loput mittaukset tehtiin 16.1., 20.1. ja 23.1.2014. Tutkitut henkilöt olivat Metropolia Ammattikorkeakoulun opiskelijoita ja henkilökuntaa sekä oppilaitoksen tiloissa vierailleita henkilöitä. Tutkittavia henkilöitä oli yhteensä kahdeksan 16.12.2013, kuusi 18.12.2013, kolme 16.1.2014, kymmenen 20.1.2014 ja kolme 23.1.2014.

Tutkimuksessa vertailtaviksi näkötestiprojektoreiksi valittiin Iogen Oy:n Metropolia Ammattikorkeakoululle lainaama Tomey TCP-2000P Chart Panel 23” polarisoiva E- taulunäyttö ja Optiikka Juurinen Oy:n toimittama POLA VistaVision LCD-näkötestiprojektori 22”. Kummastakin projektorista löytyvät väri- ja stereonäköä sekä kontrastiherkkyttä mittaavat vastaavat testit. LCD-näytöillä saatuja tutkimustuloksia verrataan painettujen testien antamiin tuloksiin. LCD-projektorien antamia tutkimustuloksia vertaillaan myös keskenään, mutta tarkoituksena ei ole tehdä laitevertailua kahden eri valmistajan projektorien välillä. Painettuina testeinä käytettiin Ishiharan 24- tauluista väritestikirjaa, Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testiä ja Vistech VCTS 6500 -taulua. Sekä väri- ja stereonäkö että kontrastiherkkyys tutkittiin binokulaarisesti.

Tutkimukset tehtiin kolmessa pisteessä. Ensimmäisessä näöntarkastustilassa tutkittiin väri- ja stereonäkö sekä kontrastiherkkyys POLA-VV-projektorilla. Näiden testien jälkeen tutkittiin värinäkö Ishiharan väritestikirjalla ja stereonäkö Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testillä. Toisessa näöntutkimustilassa tehtiin väri- ja stereonäön sekä kontrastiherkkyden tutkimukset Tomeyn projektorilla. Kolmannessa tilassa tutkittiin kontrastiherkkyttä Vistech VCTS 6500 -taululla. Kaikkien testien kohdalla tiedusteltiin tutkittavien mielipiteitä juuri toteutetusta testistä ja lopuksi heitä pyydettiin vertailemaan kokemuksiaan verrokkitestien välillä. Tutkimusten tekeminen toteutettiin yhteistyössä: toisen tutkiessa toinen kirjasi tuloksia ennalta sovitulla tavalla tutkimuksia varten laadittuun taulukkoon. Tulosten kirjaaja piti huolen LCD-projektorien kontrastiherkkyystesteiltä saatujen tulosten tallentamisesta ulkoiselle kovalevyllä. Vaikka testit tehtiin vuorotellen, pyrittiin testit toteuttamaan ja tutkittavia opastamaan mahdollisimman yhdenmukaisesti.

Kolme tutkimusta toteutettiin ilman Tomeyn projektorilla. Tutkimustulokset jäivät vaillinaisiksi tutkittavien 15–17 osalta, kun väri- ja stereonäkö sekä kontrastiherkkyys jäivät mittaamatta kyseisellä projektorilla.

## 5.1 Tutkimusjoukko

Tutkimusjoukko koostui 30 henkilöstä, joista 19 on naisia ja 11 miehiä. Tutkittavista nuorin oli syntynyt vuonna 1993 ja vanhin vuonna 1945. Tutkimusjoukon keski-ikä oli 35 vuotta. Tutkittavista 17 oli opiskelijoita, seitsemän henkilökuntaa ja kuusi oppilaitoksen tiloissa satunnaisesti vierailleita henkilöitä. Tutkimukseen osallistuneista 17 henkilöllä oli käytössään silmälasit. Piilolinssien käyttäjiä oli yksi. Tutkimusjoukosta 12 henkilöllä ei ollut taittovirheenkorjausta käytössään. Kenelläkään tutkittavista ei ollut näkemiseen vaikuttavaa sairautta, eikä kenellekään ollut tehty silmämunaan kohdistunutta leikkausta.

## 5.2 Valaistus

Kaikissa kolmessa näöntutkimustilassa pyrittiin pitämään valaistus mahdollisimman samankaltaisena tulosten vertailukelpoisuuden parantamiseksi. Valonlähteenä käytettiin kaikissa tutkimustiloissa loistevalaisinta, joiden värientoistoindeksi oli 80 ja väriämpötila 3000 Kelviniä. Luksit ja luminanssit mitattiin jokaisesta tutkimuspisteestä ja ne pyrittiin säätämään toisiaan vastaaviksi. Luksi- ja luminanssimittareiden antamien tulosten lisäksi tilojen valaistusta havainnoitiin silmämääräisesti, jolloin valaistuksen taso ja värisävy tuntuivat myös subjektiivisesti keskenään samansuuntaisilta.

Luminanssilla kuvataan pinnan kirkkautta eli pinnalta lähtevän valon määrää. Se kertoo tarkastelusuunnassa valovoiman pinta-alaa kohti ja sen SI-järjestelmän mukainen mitayksikkö on  $\text{cd/m}^2$ . Luminanssilla on paljon valaistusvoimakkuutta suurempi merkitys näkyvyyteen ja mitä suurempi on pinnan luminanssi sitä kirkkaammalta pinta näyttää. Liika luminanssi aistitaan usein häikäisynä. (Saari 2011: 47.)

Luminanssit mitattiin Konica Minoltan Luminance Meter LS-100 -luminanssimittarilla. POLA-VV-projektorin näytöltä mitatut luminanssit olivat noin  $220 \text{ cd/m}^2$ . Tomeyn projektorin näytöllä luminanssit olivat keskimäärin  $210 \text{ cd/m}^2$ . Vistech VCTS 6500 -taululta

mitatut luminanssiarvot olivat noin 205 cd/m<sup>2</sup>. Luminanssiarvot olivat tutkimusten aikana lähellä toisiaan.

Luksilla (lx) tarkoitetaan valaistusvoimakkuutta eli valaistavaan pintaan osuvan valon määrää. Luksi on valaistusvoimakkuus, jonka yhden lumenin valovirta antaa jakautuessaan tasaisesti yhden neliömetrin alalle eli 1 luksi = 1 lumen/m<sup>2</sup>. Normaali työvalaistus on 300–1000 lx. (Saari 2011: 46; Schwartz 2010: 71.)

Valaistusvoimakkuudet mitattiin Lux Light Meter Model 1300 Nro 32–7361 -mittarilla. Näöntutkimustilassa, jossa tutkimukset suoritettiin painetuilla testikirjoilla sekä POLA-VV-projektorilla, valaistusvoimakkuus oli keskimäärin 310 lx kolmen metrin etäisyydellä näytöstä mitattuna. Näöntutkimustilassa, jossa oli käytössä Tomeyn projektori, oli valaistusvoimakkuus keskimäärin 360 lx kolmen metrin päässä näytöstä mitattuna. Kolmen metrin etäisyydeltä Vistech VCTS 6500 -testitaulusta mitattuna valaistusvoimakkuus oli noin 200 lx.

## 6 Tutkimusmenetelmät

### 6.1 Värinäön tutkiminen

Värinäköä voidaan mitata erilaisilla testeillä, joista tutkimukseen valittiin Ishiharán pseudoisokromaattinen testi (kuvio 8). Testin avulla voidaan löytää henkilöt, joilla on puna-viherväriheikkous. Ishihara on Japanissa suunniteltu testitaulusto, joka on tarkoitettu ensimmäisen asteen testiksi, jolla voidaan erottaa epänormaali väriaisti normaalista. Painetussa Ishiharán testikirjassa on joko 16, 24 tai 38 taulua, jotka sisältävät erivärisistä täplistä muodostuvia arabialaisia numeroita, joiden kirjasintyyppi on Serif. Lisäksi testikirjassa on polkukuvioita. Taulujen täplien värit on sovitettu niin, että värinäöltään poikkeava sekoittaa värit keskenään niiden näyttäessä yhtä tummilta. (Ishihara n.d; Pease 2006: 316, 333.)



Kuvio 8. Ishiharán 24-tauluinen väritestikirja. (Optiikka Juurinen Oy n.d. a)

Tutkimuksiin valittiin 24 taulun Ishiharán väritestikirja. Ishiharán 24 taulun painoksesta käytetään seulonnassa tauluja 1–15, joista tutkittavan tulisi nähdä vähintään 13 taulua oikein, jotta puna-vihervärinäkö voidaan luokitella normaaliksi. Jos virheitä tulee kuusi tai enemmän, tulkitaan värinäkö puutteelliseksi. Taulut numero 19–24, joissa on polkukuvioita, on tarkoitettu muun muassa lukutaidottomille tutkittaville. (Ishihara n.d; Pease 2006: 316–317, 333.)

Taulut on ryhmitelty ominaisuuksiensa mukaan. Ensimmäisessä ryhmässä (Ryhmä 1) oranssitäpläinen numero turkoosilla pohjalla toimii mallina testin havainnollistamista varten ja sen näkevät kaikki riippumatta värien erotuskyvystä. Seuraavat kuusi taulua ryhmissä 2 ja 3 sisältävät muuntuvia numeroita, jotka värinäön heikkoudesta kärsivä tunnistaa väärin. Ryhmissä 4 ja 5 numerot ovat katoavia eli värinäön heikkoudesta kär-

sivä ei näe tauluissa mitään. Ryhmässä 6 numerot tauluissa ovat piilotettuja, jolloin värinäön heikkoudesta kärsivä voi erottaa tauluissa numeroita, joita värinäöltään normaali henkilö ei pysty erottamaan. Ryhmän 7 taulut on suunniteltu erotusdiagnoosin tekemiseksi protaanin eli punaheikon ja deutaanin eli viherheikon värinäkötyypin välillä. Voimakkaasti protaani tai deutaani henkilö erottaa ainoastaan yhden numeron esitetyistä kaksinumeroisista luvuista. Mikäli värinäönheikkous on lievää, voidaan erottaa kaksinumeroisista luvuista kumpikin numero, mutta toisen numeron oletetaan erottuvan voimakkaammin. Painettua 24 taulun Ishiharan väritestikirjaa käytettäessä on mahdollista yksinkertaistaa tutkimusta näyttämällä ainoastaan yksi kunkin ryhmä tauluista. Mikäli puutteita ilmenee, on mahdollista näyttää lisää tauluja samasta ryhmästä. (Birch 1993: 75–76; Ishihara n.d; Kivelä 2007; Pease 2006: 316–317.)

Taulukossa 1 kuvataan Ishiharan 24-tauluisen kirjan ja LCD-näkötestiprojektoreiden värinäkötestien numeroiden ryhmittäminen. Lihavoidut numerot ja X-kirjaimet kuvaavat Ishiharan väritestikirjassa esitettyjä optotyyppisiä. Normaalit numerot ja X-kirjaimet kuvaavat optotyyppisiä, jotka puna-viherheikot mahdollisesti havaitsevat oikeiden vastausten sijaan. Lihavoidut X-kirjaimet kuvaavat piilotettuja testikuvioita, joissa normaali trikromaatti henkilö ei havaitse numeroa. Normaalit X-kirjaimet kuvaavat tilannetta, jossa puna-viherheikkojen ei oleteta erottavan optotyyppiä. Suluissa olevat numerot ja X-kirjaimet ovat esitettyinä ainoastaan LCD-projektoreissa, eikä niitä huomioida tutkimuksissa, jotta painetun Ishiharan testikirjan, Tomeyn ja POLA-VV:n Ishiharan värinäkötestien testikuviot ja -tulokset olisivat mahdollisimman yhdenmukaiset. Ryhmän 7 optotyyppin 26 yhteydessä vahva kuusi ja optotyyppin 42 yhteydessä vahva kaksi merkitsevät asiakkaan näkevän kyseiset numerot voimakkaampina, jolloin puna-viherheikkous voidaan luokitella protaaniksi. Vastaavasti, mikäli asiakas näkee numerosta 26 vahvasti numeron kaksi ja numerosta 42 vahvasti numeron neljä, on hänen puna-viherheikkoutensa tyypiltään deutaani.

Taulukko 1. Värinäkötestien oikeat vastausvaihtoehdot (Ishihara n.d.). Lihavoidut numerot ja X-kirjaimet kuvaavat Ishiharän väritestikirjassa esitettyjä optotyypppejä. Normaali numerot ja X-kirjaimet kuvaavat optotyypppejä, jotka puna-viherheikot mahdollisesti havaitsevat oikeiden vastausten sijaan. Lihavoidut X-kirjaimet kuvaavat piilotettuja testikuvioita. Normaali X-kirjaimet kuvaavat tilannetta, jossa puna-viherheikkojen ei oleteta erottavan optotyyppiä. Suluissa olevat numerot ja X-kirjaimet ovat esitettyinä ainoastaan LCD-projektoreissa.

<b>Värinäkötesti</b>			
<b>Testitaulu</b>		<b>Ishiharän väritestikirja 75 cm</b>	<b>Tomey TCP-2000P 1 m POLA VistaVision 75 cm</b>
<b>Mallitaulu</b>	<b>Ryhmä 1</b>	<b>12</b> 12	<b>12</b> 12
<b>Muuntuvat numerot</b>	<b>Ryhmä 2</b>	<b>8 29</b> 3 70	<b>8 (6) 29 (57)</b>
	<b>Ryhmä 3</b>	<b>5 3 15 74</b> 2 5 17 21	<b>5 3 15 74</b>
<b>Katoavat numerot</b>	<b>Ryhmä 4</b>	<b>6 45</b> x x	<b>(2) 6 (97) 45</b>
	<b>Ryhmä 5</b>	<b>5 7 16 73</b> x x x x	<b>5 7 16 73</b>
<b>Piilotetut numerot</b>	<b>Ryhmä 6</b>	<b>x x</b> 5 45	<b>x (x) x (x)</b>
<b>Erotusdiagnostiikka protanopian ja deuteranopian välillä</b>	<b>Ryhmä 7</b>	<p style="text-align: center;"><b>26</b> Vahva 6: Protaani Vahva 2: Deutaani</p> <p style="text-align: center;"><b>42</b> Vahva 2: Protaani Vahva 4: Deutaani</p>	

Jokaista numerotaulua saa katsoa kolme sekuntia ja polkukuvioiden seuraamiseen annetaan aikaa 10 sekuntia. Testietäisyys painetulla Ishiharän väritestikirjalla on 75 cm ja tauluja tulee katsoa kohtisuoraan. Lähinäönkorjausta tulee käyttää tarpeen vaatiessa. Valaistuksena ei kannata käyttää luonnollista päivänvaloa, sillä sen määrä ja spektrin laatu vaihtelevat. Kuitenkin pohjoispuolen ikkunan ääressä valo jakautuu mahdollisimman tasaisesti, jolloin mittaukset luonnonvalossa ovat mahdolliset. Tarkkaa valaistuksen määrää testin suorittamiseksi ei ole esitetty, mutta testi kannattaa tehdä tasaisessa 100–650 luksin valaistuksessa. Keinovaloa käytettäessä valonlähteen ihanteellinen värilämpötila on 6500 Kelviniä ja valonlähteen värientoistokyky (yksikkö Ra) yli 90 Ra. (Pease 2006: 332; Ishihara n.d.; Korja 2008: 270; LamppuExpress n.d.)

Tomeyn näkötestiprojektorilla suositeltu testietäisyys Ishiharän värinäkötestille on metri (logen n.d. b). POLA-VV-näkötestiprojektorilla etäisyys Ishiharän testille on 130 cm, mutta testi on mahdollista suorittaa myös 75 cm etäisyydeltä. POLA-VV-projektorilla testietäisyytenä käytettiin 75 cm, jotta mittaustulos olisi verrattavissa painetulla Ishiharän testikirjalla saatuihin tuloksiin. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b). Painetulla Ishiharän väritestikirjalla tutkittaessa testietäisyys on 75 cm (Ishihara n.d).

POLA-VV-projektorissa on 25 kalibroitua taulua, jotka on jaettu seitsemään ominaisuuksiltaan samanlaiseen ryhmään, kuten painettu Ishiharän väritestikirja. Värinäkötestin nopeuttamiseksi on mahdollista näyttää vain yksi taulu kustakin ryhmästä ja saada riittävästi tietoa asiakkaan värinäöstä. Tutkimuksissa näytettiin tutkittaville jokainen taulu testien tulosten analysoinnin selkeyttämiseksi.

Ishiharän 24-tauluisessa väritestikirjassa numerotauluja on 13. Testikuvioita, joissa normaali trikromaatti ei havaitse numeroa, on kaksi, ja numerotauluja, jotka määräävät punaviherheikkouden tyyppin, on kaksi. Sekä Tomeyn että POLA-VV-näkötestiprojektorien Ishiharän värinäkötesteissä numerokuvioita esitetään 17. Testikuvioita, joissa värinäöltään normaali ei havaitse numeroa, on neljä, ja numerotauluja, jotka määräävät punaviherheikkouden tyyppin, on neljä. Taulukosta 1 (ks. s. 21) ilmenevät numerotaulujen yhdenmukaisuudet ja eroavaisuudet. LCD-projektorien testikuviot, joita painetussa 24-tauluisessa Ishiharän väritestikirjassa ei ole, on jätetty tutkimuksessa huomiotta.

## 6.2 Stereonäön tutkiminen

Stereonäön mittausvälineinä käytettiin Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testiä, Tomeyn projektorin Stereoympyrä-testiä ja POLA-VV-projektorin D6-stereotestiä. Kaikki tutkimukseen valitut testit perustuvat polarisaatioon, ja tutkimukset tehtiin testien omilla polarisaatiosuodinlaseilla, joissa polarisaatiosuotimet ovat asetettuna 45° ja 135° kulmaan. Sekä Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testillä että Tomeyn Stereoympyrä-testillä voidaan stereonäköä mitata 40–800 kaarisekunnin välillä. POLA-VV:n D6-stereotestillä voidaan stereonäöntarkkuus määrittää 30–300 kaarisekunnin välillä. Testeillä ei voida määrittää stereonäön kynnysarvoa, sillä testien pienimmät stereokulmat ovat 40" ja 30". Cooperin mukaan keskiarvoinen stereonäöntarkkuus on 20" ± 10" vaihteluvälillä. (Cooper 1991: 127.)

Perinteisenä stereonäön mittausvälineenä käytettiin Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testiä (kuvio 9). Testi koostuu yhdeksästä vinoneliöstä, joiden sisällä on kussakin neljä ympyräkuviota. Vinoneliöt on sommiteltu kolmelle riville lomittain. Ympyräkuvioiden katsomiseen saa käyttää 15 sekuntia yhtä kuvaryhmää kohden, ja testi tulisi suorittaa kerralla alusta loppuun. Testissä aloitetaan vasemmasta yläkulmasta ja edetään vasemmalta oikealle rivi kerrallaan. Tutkittava kertoo, mikä ympyräkuviosta kohoaa taustastaan stereovaikutelman vuoksi. Mikäli tutkittava vastaa väärin yhden ympyräryhmän kohdalla, mutta vastaa seuraavan kuvion kohdalla oikein, saa hän toisen mahdollisuuden katsoa väärin nähtyä kuviota. Ympyräkuvioiden ensimmäisen rivin kulmaero on 800" ja kulmaero puoliintuu aina seuraavalla rivillä (taulukko 2). Viimeisen testikuvion stereokulma on 40", joka on Wirtin ympyrä -testin mukaan odotettu normaalin binokulariteetin tulos. Testi suoritetaan erinomaisessa valaistuksessa 40 cm etäisyydelle 45 asteen katsekulmassa. (Saladin 2006: 922–923.)



Kuvio 9. Stereo Fly Test -kirja (Optiikka Juurinen Oy n.d. b).

Tomeyn näkötestiprojektorin Stereoympyrä-testissä on yhdeksän testikuviota, joissa kussakin yksi ympyrä kohoaa taustastaan, kuten Wirtin ympyrä -testissä. Stereonäöntarkkuus voidaan määrittää Tomeyn Stereoympyrä-testillä samojen kulmasekuntiarvojen perusteella kuin Wirtin ympyrä -testillä: ensimmäisen testikuvion kulmaero on 800" ja viimeisen testikuvion kulmaero on 40" (taulukko 2). (logen n.d. b.)



Taulukko 3. POLA VistaVision -projektorin D6-stereotestin tulokset suurimmasta kaarisekuntiarvosta pienimpään. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.)

<b>POLA VistaVision: D6-stereotesti</b>	
<b>Testikuvio</b>	<b>Stereonäöntarkkuus</b>
<b>1</b>	300"
<b>2</b>	240"
<b>3</b>	180"
<b>4</b>	120"
<b>5</b>	60"
<b>6</b>	30"

Hyvän stereonäön raja-arvona voidaan pitää 40" erotuskykyä. Stereonäön lievänä häiriönä pidetään 50" – 120" välillä olevaa arvoa, kun taas selvänä stereonäön häiriönä pidetään erotuskykyä, joka jää suuremmaksi kuin 120". (Cooper 1991: 123; Mäkitie 1990: 39, 49.)

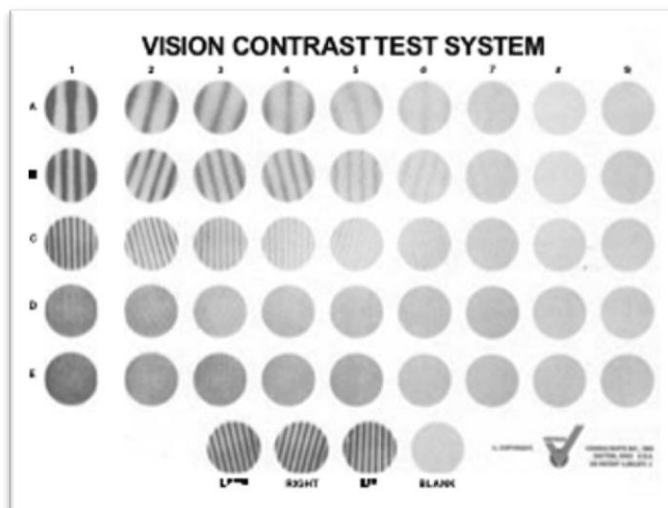
### 6.3 Kontrastiherkkyiden tutkiminen

Tutkimuksessa kontrastiherkkyttä mitattiin Vistech VCTS 6500 -testitaululla sekä Tormeyn CST-kontrastiherkkyystestillä ja POLA-VV -projektorin kontrastiherkkyystestillä. Mittaukset tehtiin binokulaarisesti asiakkaalla käytössä olleen taittovirheen korjauksen kanssa.

#### 6.3.1 Vistech VCTS 6500 -juovastotesti

Kontrastiherkkyysmittauksiin valittiin Arthur Ginsburgin vuonna 1984 kehittämä Vistech VCTS 6500 -juovastotesti, joka perustuu sinikäyrän aaltojuovan taajuuksiin (kuvio 11). Testitaulu on kooltaan 93 cm x 68 cm ja tutkimusetäisyys on kolme metriä. Testi koostuu viidestä allekkaisesta rivistä, joista jokaisella on yhdeksän halkaisijaltaan kolmen tuuman (7,62 cm) kokoista testikuvioita. Jokaiselle vaakariville on valittu oma paikkataajuutensa siten, että testitaulun ylin rivi esittää matalinta paikkataajuutta ja alin rivi korkeinta paikkataajuutta. Käytetyt paikkataajuudet ovat 1,5; 3,0; 6,0; 12,0 ja 18,0 sykliä näkökulman astetta kohti. Testikuvioiden paikkataajuuksien pysyessä kullakin rivillä vakiona kontrastiarvot muuttuvat korkeammasta matalampaan. Testikuvioiden juovat

ovat pystysuorassa tai 15 astetta kallellaan myötä- tai vastapäivään. Testitaulun alalaidasta löytyvät testikuvioiden mallikuviot vastausvaihtoehtoineen englanniksi. (Elliott 2006: 263; Patorgis 1991: 500.)



Kuvio 11. Vistech VCTS 6500 (Grosvenor n.d).

Taulu tulee valaista tasaisesti riittävällä valaistuksella ilman varjojen muodostumista tai pinnan heijastelua. Asiakasta pyydetään katsomaan testikuvioita rivi kerrallaan vasemmalta oikealle alkaen testitaulun ylimmästä rivistä ja luettelemaan näkemänsä juovaston suunnat. Kun asiakas ei enää näe juovan suuntaa, on kontrastiherkkyiden kynnyisarvo saavutettu. Vistech VCTS 6500 -juovastotesti voidaan suorittaa mono- ja binokulaarisesti. (Elliott 2006: 266.)

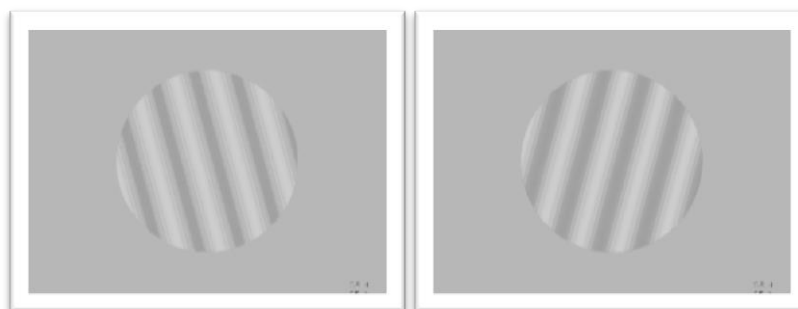
Taulukossa 4 kuvataan Vistech VCTS 6500 -kontrastiherkkyystaulun kontrastiherkkyysarvot paikkataajuuksilla 1,5–18,0. Taulukossa tummennettu alue kuvaa kontrastiherkkyiden normaaliarvoja eri paikkataajuuksilla. Vistech VCTS 6500 -taulussa on juovastokuvioita jokaisella paikkataajuudella kahdeksan. Kahdeksas sarake kuvaa testin korkeinta saavutettavissa olevaa kontrastiherkkyysarvoa. Yhdeksännessä sarakkeessa ei ole juovastokuvioita. VSTC 6500 -testitaululla saaduista tutkimustuloksista voidaan laatia kontrastiherkkyyskäyrä, josta selviää kontrastiherkkyiden taso eri paikkataajuuksilla.

Taulukko 4. Vistech VCTS 6500 -testitaulun kontrastiherkkyysarvot. Harmaalla pohjalla on esitetty testin normaaliarvot. (Vistech Consultants n.d.)

Paikkataajuus	Vistech VCTS 6500: kontrastiherkkyysarvot								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>A (1,5)</b>	Y 3	Y 7	O 12	O 20	V 35	V 70	V 120	O 170	T
<b>B (3,0)</b>	Y 4	V 9	O 15	Y 24	Y 44	V 85	O 170	Y 220	T
<b>C (6,0)</b>	Y 5	O 11	V 21	V 45	O 70	O 125	Y 185	V 260	T
<b>D (12,0)</b>	Y 5	Y 8	O 15	Y 32	V 55	V 88	Y 125	O 170	T
<b>E (18,0)</b>	Y 4	V 7	Y 10	V 15	O 26	Y 40	O 65	Y 90	T
Y=ylös O=oikea V=vasen T=tyhjä									

### 6.3.2 Tomey TCP-2000P -näkötestiprojektorin CST-kontrastiherkkyystesti

Tomeyn näkötestiprojektorin kontrastiherkkyystesti näyttää siniaaltoisia ympyröitä yhden kerrallaan viidellä eri paikkataajuudella: 1,5; 3,0; 6,0; 12,0 ja 18,0. Jokaisella paikkataajuudella on kahdeksan kontrastiherkkyystasoa. Tomeyn CST-testissä on kaksi osa-aluetta, joilla voidaan mitata vertikaalinen ja horisontaalinen kontrastiherkkyys. Juovastokuviot näyttäytyvät sattumanvaraisesti pysty- ja vaakasuorasti sekä 15 kallellaan astetta myötä- tai vastapäivään (kuvio 12).



Kuvio 12. Tomey TCP-2000P: CST-testin juovastokuviot vasemmalle ja oikealle (logen c).

Kontrastiherkkyystesti alkaa matalimmasta paikkataajuudesta ja etenee kahdeksan kontrastiherkkyystason läpi. Tutkittava nimeää juovien suunnan ja tutkija huolehtii vas-

tausten tallentumisesta kaukosäätimen nuolinäppäinten avulla. Mikäli tutkittava ei havaitse juovaston suuntaa, valitsee tutkija No-painikkeen. Projektori antaa äänimerkin jokaisen annetun vastauksen jälkeen. Näytön oikeassa alakulmassa on nähtävissä informaatio vallitsevasta kontrastiherkkyydestä. Tomeyn CST-testissä on mahdollista valita joko epätarkka- tai tarkkarajainen reuna juovaston ympärille painamalla Cursor-painiketta. (logen n.d. b; logen n.d. c.)

Taulukossa 5 kuvataan Tomeyn CST-testin kontrastiherkkyysarvoja paikkataajuuksilla 1,5–18,0. Taulukossa tummennettu alue kuvaa kontrastiherkkyiden normaaliarvoja eri paikkataajuuksilla. Tomeyn CST-testissä on kahdeksan juovastokuvioita jokaisella paikkataajuudella. Kahdeksas sarake kuvaa testin suurinta mitattavissa olevaa kontrastiherkkyysarvoa. Kun kahdeksannen sarakkeen kontrastiherkkyysarvo saavutetaan paikkataajuuksilla 1,5–12,0, testi etenee automaattisesti seuraavalle mitattavalle paikkataajuudelle. Toisin kuin Vistech VCTS 6500 -taululla, Tomeyn kontrastiherkkyystestissä ei esitetä testitaulua, jossa juovastoa ei ole (ks. taulukko 4, sarake 9, s. 27).

Taulukko 5. Tomey TCP-2000P -näkötestiprojektorin CST-testin kontrastiherkkyysarvot. Harmaalla pohjalla on esitetty testin normaaliarvot. (logen n.d. b.)

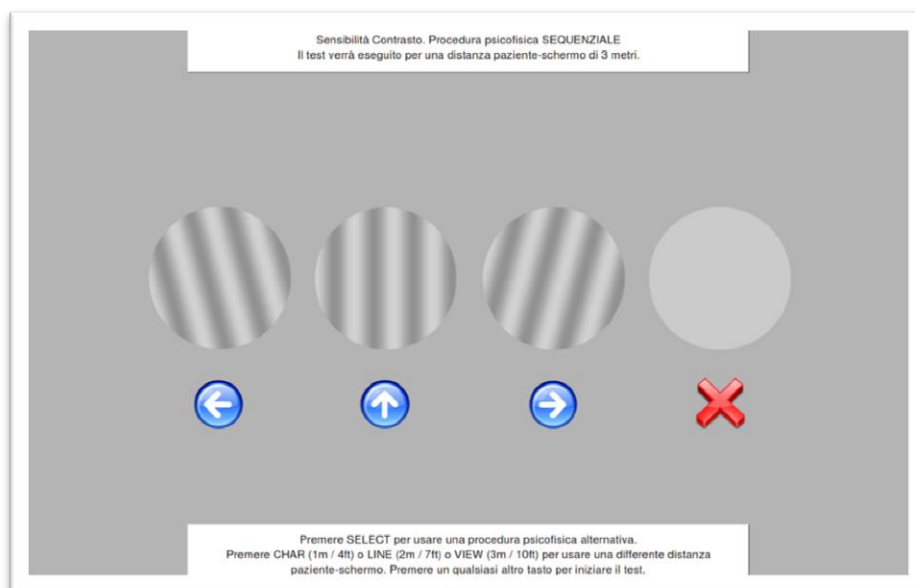
Paikkataajuus	Tomey TCP-2000P: kontrastiherkkyysarvot							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A (1,5)	4	7	12	20	35	70	120	170
B (3,0)	4	9	15	24	44	85	170	220
C (6,0)	5	11	21	45	70	125	185	260
D (12,0)	5	8	15	32	55	88	125	170
E (18,0)	4	7	10	15	26	40	65	90

Tomeyn CST-testin tulokset voidaan tallentaa Pdf-raportiksi. Tuloksista muodostuu kontrastiherkkyyskäyrä, jota on mahdollista verrata asetettuihin normaaliarvoihin (liite 1).

### 6.3.3 POLA VistaVision -näkötestiprojektorin kontrastiherkkyydesti

POLA-VV-näkötestiprojektorin kontrastiherkkyydestissä mitataan kontrastiherkkyys kuudella eri paikkataajuudella: 0,75; 1,5; 3,0; 6,0; 12,0 ja 18,0. Jokaisella paikkataajuudella on kahdeksan eri kontrastiherkkyydestasoa. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.) POLA-VV on verrattavista testivälineistä ainoa, jolla kontrastiherkkyttä voidaan mitata myös paikkataajuudella 0,75. Kyseinen paikkataajuus on jätetty tutkimuksessa huomiotta tutkimustulosten yhdenmukaistamisen ja vertailukelpoisuuden vuoksi.

Testikuvio on halkaisijaltaan noin 24 cm, joka on painetun Vistech VCTS 6500 -testitaulun testikuvioon verrattuna noin kolminkertainen, vaikka kumpikin testi suoritetaan kolmen metrin etäisyydeltä. Testi voidaan kuitenkin suorittaa myös yhden ja kahden metrin etäisyydeltä, jolloin testikuvion halkaisija on pienempi. Juovastot esiintyvät sattumanvaraisessa järjestyksessä pystysuoraan tai kallistuneena vasemmalle tai oikealle (kuvio 13). Tutkija huolehtii vastausten tallentumisesta kaukosäätimen nuolinäppäinten avulla. Mikäli asiakas ei havaitse ärsykettä, tutkija valitsee punaisen painikkeen. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.)



Kuvio 13. POLA VistaVision: Kontrastiherkkyydestin juovastokuvio vasemmalle, ylös, oikealle ja ei havaittua suuntaa (Balocco 2014b).

Taulukossa 6 kuvataan POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyydestin kontrastiherkkyysarvoja paikkataajuuksilla 0,75–18,0. Taulukossa tummennettu alue kuvaa kontrastiherkkyden normaaliarvoja eri paikkataajuuksilla. POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyydestissä juovastokuvioita on jokaisella paikkataajuudella kahdeksan. Kahdeksas

sarake kuvaa testin korkeinta mitattavissa olevaa kontrastiherkkyysarvoa. Kun kahdeksannen sarakkeen kontrastiherkkyysarvo saavutetaan paikkataajuuksilla 0,75–12,0, testi etenee automaattisesti seuraavalle mitattavalle paikkataajuudelle.

Taulukko 6. POLA VistaVision -näkötestiprojektorin kontrastiherkkyystestin kontrastiherkkyysarvot. Harmaalla pohjalla on esitetty testin normaaliarvot. (DMD Med Tech s.r.l. n.d. b.)

Paikkataajuus	POLA VistaVision: kontrastiherkkyysarvot							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>(0,75)</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>27</b>	<b>54</b>	<b>92</b>	<b>130</b>
<b>A (1,5)</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>35</b>	<b>70</b>	<b>120</b>	<b>170</b>
<b>B (3,0)</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>44</b>	<b>85</b>	<b>170</b>	<b>220</b>
<b>C (6,0)</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>45</b>	<b>70</b>	<b>125</b>	<b>185</b>	<b>260</b>
<b>D (12,0)</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>55</b>	<b>88</b>	<b>125</b>	<b>170</b>
<b>E (18,0)</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>26</b>	<b>40</b>	<b>65</b>	<b>90</b>

POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestin tulokset voidaan tallentaa Pdf-raportiksi. Tuloksista muodostuu kontrastiherkkyyskäyrä, jota on mahdollista verrata asetettuihin normaaliarvoihin (liite 2).

## 7 Tutkimustulokset

Kontrastiherkkyyden ja stereonäön mittaustulosten aineiston analyysiin käytettiin SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) -ohjelmaa. SPSS on ohjelmisto, jonka avulla voidaan suorittaa tilastotieteellisiä analyyseja. (Heikkilä 2004: 121.) Värinäön tutkimustulosten tarkasteluun ei käytetty SPSS-ohjelmistoa, vaan tuloksia tarkasteltiin sellaisenaan.

Tulosten eroavaisuuksien merkittävyyttä analysoitiin Wilcoxon signed -testiä käyttäen. Wilcoxonin merkkitesti on parametriton vastine parittaiselle t-testille. Mikäli otos olisi suurempi kuin 30, voitaisiin vertailu tehdä myös keskiarvon avulla (Metsämuuronen 2004: 100). Tuloksia ei verrata normaalijakaumaan ja -arvoihin, vaan huomio keskitehtään sen sijaan testien antamien tulosten yhdenmukaisuuteen.

Tilastollista merkitsevyyttä kuvataan p-arvolla (probability), joka kertoo, kuinka paljon eroavaisuutta kahden perusjoukon välillä on. P-arvon ollessa  $\leq 0,001$ , voidaan puhua tilastollisesti erittäin merkitsevästä tuloksesta, jolloin virheen todennäköisyys on enintään 0,1 %. Jos p-arvo on  $0,001 < p \leq 0,01$ , on kyseessä tilastollisesti merkitsevä tulos, jolloin virheen todennäköisyys on  $0,1 \% < x \leq 1,0 \%$ . P-arvon ollessa  $0,01 < p \leq 0,05$  voidaan puhua tilastollisesti melkein merkitsevästä tuloksesta, jolloin virheen todennäköisyys on  $1,0 \% < x \leq 5,0 \%$ . Mikäli p-arvo on  $0,05 < p \leq 0,1$ , on tulos tilastollisesti suuntaa antava, jolloin virheen todennäköisyys on  $5,0 \% < x \leq 10,0 \%$ . (Heikkilä 2004: 195; KvantiMOTV 2003.)

### 7.1 Värinäön tutkimustulokset

Tutkimukseen osallistuneista 30 henkilöstä, joista naisia oli 19 ja miehiä 11, havaittiin neljällä miehellä poikkeamaa värinäössä. Neljän tutkittavan otos on niin pieni, ettei sen perusteella voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä ja esittää niitä tilastollisesti merkittävänä. Taulukossa 7 kuvataan, kuinka neljä värinäönheikkoudesta kärsivää tulkitsi värinäkötestien testitaulut.

Kaikki neljä tutkittavaa havaitsivat Ryhmän 1 (R1) mallinumeron 12. Tutkittava 18 tulkitsi Ishiharän väritestikirjan ja POLA-VV:n värinäkötestin testitauluista virheellisesti 10 ja Tomeyn värinäkötestin testikuvioista virheellisesti kahdeksan taulua. Tutkittava 24

näki Ishiharan väritestikirjan testitauluista virheellisesti kahdeksan, Tomeyn värinäköttestistä 11 ja POLA-VV:n värinäköttestistä 10. Tutkittava 28 tulkitsevi Ishiharan väritestikirjasta virheellisesti kahdeksan testitaulua ja sekä Tomeyn että POLA-VV:n värinäköttestistä 11 taulua. Tutkittava 29 näki Ishiharan väritestikirjan ja POLA-VV:n värinäköttestin testitauluista virheellisesti viisi ja Tomeyn värinäköttestin testikuvioista 11 taulua.

Taulukossa 7 virheet lasketaan taulujen 1–15 eli ryhmien R1–R6 perusteella. Ryhmän 7 (R7) tuloksia ei huomioida virheiden laskussa, sillä niillä tehdään erotusdiagnostiikkaa puna-viherheikkouden tyyppiä määrittettäessä protaaniksi tai deutaaniksi.

Taulukko 7. Neljän värinäön heikkoudesta kärsivän värinäön tutkimustulokset. Lihavoidut numerot kuvaavat virheellisesti havaittua numeroa ja lihavoidut X-kirjaimet sitä, ettei testitaulussa havaittu mitään. Muut numerot ja x-kirjaimet kuvaavat oikein nähtyjä testitauluja.

Värinäköttestien tulokset									
Tutkittava	Testiväline	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Virheitä yhteensä
18	Kirja	12	<b>X X</b>	5 3 <b>13 21</b>	<b>X X</b>	<b>X X X X</b>	x x	<b>2X 4X</b>	10
	Tomey	12	8 <b>20</b>	5 3 15 <b>21</b>	<b>X X</b>	<b>X X X X</b>	x x	<b>X8 XX</b>	<b>8</b>
	POLA-VV	12	<b>X X</b>	5 3 <b>17 21</b>	<b>X 45</b>	<b>X X X 13</b>	x <b>43</b>	<b>2X 4X</b>	10
24	Kirja	12	8 <b>26</b>	5 3 15 <b>24</b>	6 <b>X</b>	<b>X X X 23</b>	x <b>45</b>	26 42	8
	Tomey	12	<b>3 29</b>	<b>8 5 17 21</b>	<b>X X5</b>	<b>X 6 X X</b>	x x	26 <b>4X</b>	11
	POLA-VV	12	<b>X X</b>	<b>2 x 15 21</b>	6 45	<b>X X X6 X</b>	x <b>45</b>	<b>2X 4X</b>	10
28	Kirja	12	<b>X X</b>	5 <b>8 15 21</b>	<b>8 4X</b>	<b>X 7 16 X3</b>	x x	<b>28 42</b>	8
	Tomey	12	<b>3 20</b>	<b>8 8 19 21</b>	<b>X X</b>	5 <b>X 18 X</b>	x x	<b>X8 XX</b>	11
	POLA-VV	12	<b>X X</b>	<b>8 8 19 21</b>	<b>5 46</b>	<b>X X 16 X</b>	x x	26 42	11
29	Kirja	12	<b>X X</b>	<b>3 3 15 21</b>	6 45	5 7 16 <b>23</b>	x x	<b>28 42</b>	5
	Tomey	12	<b>3 29</b>	<b>8 5 17 21</b>	<b>X X</b>	<b>X X 16 X</b>	x <b>45</b>	<b>28 4X</b>	11
	POLA-VV	12	<b>X X</b>	<b>8 3 15 X</b>	6 45	5 7 16 <b>X</b>	x x	26 <b>4X</b>	5

Tutkimukseen osallistuneista värinäön heikkoudesta kärsivistä tutkittavilla 18, 24 ja 28 virheiden määrä eri värinäkötesteillä on 8–11. Tutkittavalla 29 on enemmän hajontaa virheiden määrässä: 5–11. Tomeyn värinäkötestillä virheiden määrä on tutkittavilla 24, 28 ja 29 suurempi tai yhtä suuri kuin verrokkitesteillä ja Ishiharan väritestikirjalla virheiden määrä on puolestaan pienempi tai yhtä pieni kuin vertailussa olleilla testeillä. Poikkeuksen tekee tutkittava 18, joka saa vähiten virheitä Tomeyn värinäkötestillä ja yhtä suuren virhemäärän sekä väritestikirjalla että POLA-VV-projektorin värinäkötestillä.

Ryhmät 2–3 sisältävät muuntuvia numeroita, jotka värinäön heikkoudesta kärsivä tunnistaa väärin. Vaikka ryhmässä 2 Ishiharan väritestikirjalla ja POLA-VV-projektorin värinäkötestillä tutkittavat eivät pääasiassa ole havainneet testitaulujen numeroita, toteutuu muuntuvien numeroiden periaate Tomeyn värinäkötestillä sekä suurimmaksi osaksi ryhmän 3 testitauluissa kaikilla testeillä. Ryhmissä 4–5 numerot ovat katoavia eli värinäön heikkoudesta kärsivän ei tulisi nähdä tauluissa mitään. Periaatteen voidaan todeta toteutuvan pääpiirteittäin kaikilla testivälineillä. Ryhmän 6 testikuvioiden numerot ovat piilotettuja, jolloin värinäön heikkoudesta kärsivä voi erottaa tauluissa numeroita, kun taas värinäöltään normaali ei erota tauluissa mitään. Piilotettujen numeroiden periaate ei nouse tutkimuksessa kovin selkeästi esille, mutta viitteitä piilotettujen numeroiden toimivuudesta saadaan jokaisella testivälineellä vähintään kerran. Ryhmän 7 numerot on suunniteltu erotusdiagnoosin tekemiseksi protaanin ja deutaanin värinäkötyypin välillä. Tutkimusten mukaan kaikki neljä tutkittavaa vaikuttaisivat olevan deutaaneja, sillä tutkittavat näkevät pääasiassa numerosta 26 vahvasti numeron kaksi ja numerosta 42 vahvasti numeron neljä.

## 7.2 Stereonäön tutkimustulokset

Stereonäkötestien antamia tutkimustuloksia verrataan toisistaan riippuvien muuttujien avulla Wilcoxonin- ja Friedmanin testiä käyttäen. Koska kolme vertailussa olevaa testiä eivät ole suoraan verrannollisia toisiinsa nähden poikkeavien stereokulma-arvojen vuoksi, on stereokulma-arvot jaettu Mäkitien (1990) jaottelua mukailleen: hyvä  $x \leq 40''$ , melko hyvä  $40'' < x \leq 60''$ , lievä häiriö  $60'' < x \leq 120''$  ja selvä häiriö  $120'' < x$ . Lisäksi on eritelty tutkittavat, jotka eivät saavuttaneet stereovaikutelmaa.

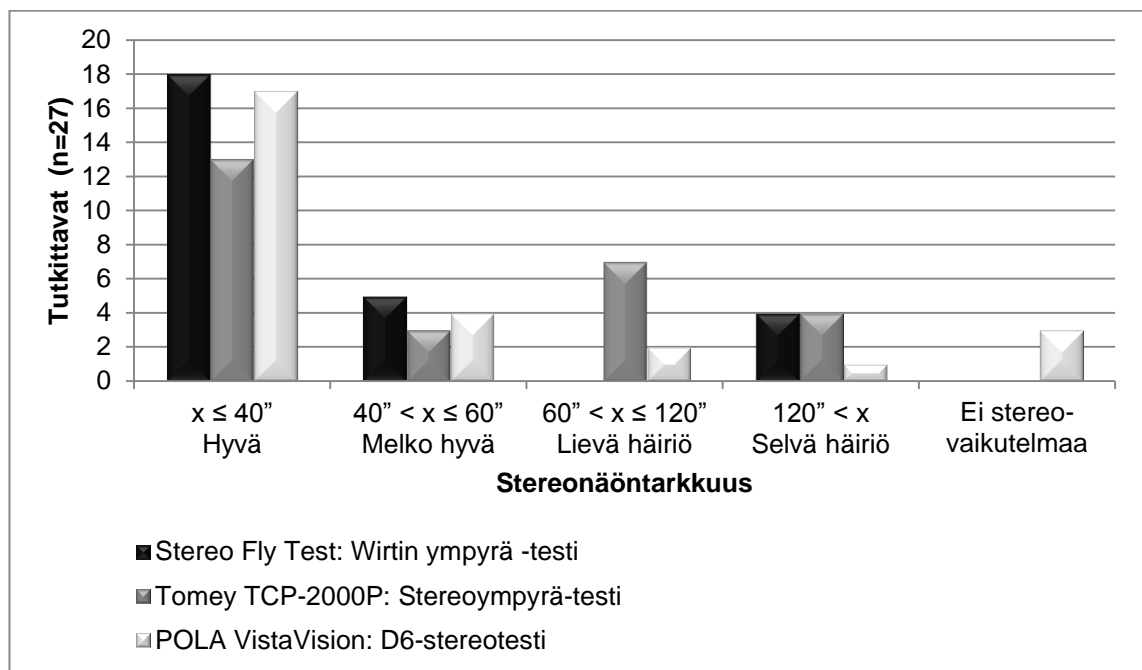
Tomeyn näkötestiprojektorin Stereoymprä-testi tehtiin 27 tutkittavalle. Tutkimusjoukko Wirtin ympyrä -testillä ja POLA-VV-näkötestiprojektorin D6-testillä on 30 henkilöä, mut-

ta huomiotta jätetään tutkittavien 15–17 tulokset, jotta mitatut stereokulma-arvot olisivat verrannollisia keskenään. Tällöin tutkimusjoukon koko kaikilla testeillä on 27 henkilöä.

Kuviossa 14 havainnollistetaan stereonäöntarkkuusarvojen jakaumaa. Hyvän stereerotuskyvyn 30” – 40” saavutti Wirtin ympyrä- ja D6-testillä yli puolet tutkittavista: Wirtin ympyrä -testillä 67 % ja D6-testillä 63 %. Stereoympyrä-testillä hyvän stereonäöntarkkuuden saavutti hieman alle puolet (48 %) tutkittavista.

Melko hyvä stereonäöntarkkuus 50” – 60” mitattiin Wirtin ympyrä -testillä 19 %, Stereoympyrä-testillä 11 % ja D6-testillä 15 % tutkittavista. Lievän häiriön stereonäöntarkkuudessa saavutti Stereoympyrä-testissä 26 % ja D6-testissä 7 % tutkittavista. Yhdelläkään tutkittavista ei mitattu lievää stereonäön häiriötä Wirtin ympyrä -testillä.

Selvä häiriö 140” – 800” stereonäössä mitattiin neljältä (15 %) tutkittavalta Wirtin ympyrä- ja Stereoympyrä-testeillä. D6-testillä selvä häiriö stereonäössä mitattiin yhdeltä (4 %) tutkittavalta. Kolme tutkittavaa (11 %) ei havainnut stereovaikutelmaa D6-testissä.



Kuvio 14. Tutkimuksessa mitatut stereonäöntarkkuuden arvot.

Tutkittavista 12 henkilöä sai jokaisella stereonäköä mittaavalla testillä parhaan mahdollisen mitattavan arvon, joka on Wirtin ympyrä- sekä Stereoympyrä-testillä 40” ja D6-

testillä 30". Lisäksi kaksi henkilöä sai sekä Wirtin ympyrä -testillä että D6-testillä parhaat arvot, mutta heidän kohdallaan mittauksia Tomeyn projektorilla ei tehty.

Wirtin ympyrä -testillä ja Tomeyn Stereoympyrä-testillä alin mitattu arvo on 400" ja maksimiarvo 40". Wirtin ympyrä -testillä kahden tutkittavan stereonäöntarkkuus jäi arvoon 400" ja 20 henkilöä saavutti hyvän stereonäön arvon 40" tutkimusjoukon ollessa 30 henkilöä. Tomeyn projektorilla tutkittavista kolmen stereonäöntarkkuus jäi arvoon 400" ja 13 henkilöä saavutti arvon 40" tutkimusjoukon ollessa 27. Wirtin ympyrä -testillä ja Stereoympyrä-testillä useimmin esiintyvä arvo, moodi, on 40".

Wirtin ympyrä -testi antoi 11 tutkittavan kohdalla paremman tuloksen kuin Tomeyn Stereoympyrä-testi. Tutkittavista 15 saavutti saman tuloksen kummallakin testillä. Ainoastaan yksi tutkittava sai Stereoympyrä-testillä paremman tuloksen kuin Wirtin ympyrä -testillä. Tulos on tilastollisesti merkitsevä p-arvon ollessa 0,004.

POLA-VV-projektorin D6-stereotestillä alin mitattu arvo on 300", joka mitattiin yhdeltä tutkittavalta. Mitattu maksimiarvo on 30", jonka saavutti 19 tutkittavaa. Tutkittavista kolme ei havainnut kolmiulotteisuutta testissä lainkaan. D6-testillä moodi on 30".

### 7.3 Kontrastiherkkyiden tutkimustulokset

Kontrastiherkkyystesteillä saatuja tutkimustuloksia verrataan Wilcoxonin ja Friedmanin testiä käyttäen. Tutkimusjoukko on Vistech VCTS 6500 -testitaululla ja POLA-VV-näkötestiprojektorin kontrastiherkkyystestillä 30 henkilöä ja Tomeyn näkötestiprojektorin CST-testillä tutkimusjoukko on 27 henkilöä. Koska tutkittavien 15–17 tutkimukset Tomeyn CST-testillä jäivät suorittamatta, ei kyseisten tutkittavien tutkimustuloksia huomioida myöskään Vistech VCTS 6500 -testitaululla ja POLA-VV kontrastiherkkyystestillä, kun niitä verrataan Tomeyn CST-testillä saatuihin tuloksiin. Kontrastiherkkyysarvoja vertaillaan erikseen kullakin paikkataajuudella: A 1,5; B 3,0; C 6,0; D 12,0 ja E 18,0 sykliä näkökulman astetta kohti.

#### 7.3.1 Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella A 1,5

Verrattaessa paikkataajuudella 1,5 Vistech VCTS 6500 -testitaululla saatuja tuloksia Tomeyn projektorin CST-testillä saatuihin tuloksiin voidaan todeta, että Tomey antaa

23 tutkittavan kohdalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Vistech VCTS 6500. Vistech VCTS 6500 antaa puolestaan paremman arvon vain kaksi kertaa. Yhtä suuren tuloksen testit antavat kahdesti. Tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä p-arvon ollessa 0,000.

Verrattaessa Vistech VCTS 6500 -testitaulun antamia tuloksia POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestin antamiin tuloksiin huomataan, että POLA-VV antaa 26 tutkittavalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Vistech VCTS 6500. Vistech VCTS 6500 antaa paremman arvon vain kerran. Yhtä suuret tulokset testeillä saadaan kolme kertaa. Tulosta voidaan pitää tilastollisesti erittäin merkitsevänä p-arvon ollessa 0,000.

Kun Tomeylla saatuja tuloksia verrataan POLA-VV-projektorilla saatuihin tuloksiin, todetaan, Tomeyn antavan kahdeksan tutkittavan kohdalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin POLA-VV. POLA-VV antaa paremman arvon vain kerran. Saman tuloksen testit antavat 18 kertaa. Tulosta voidaan pitää suuntaa antavana p-arvon ollessa 0,083.

Kaiken kaikkiaan Tomeyn ja POLA-VV:n projektorien kontrastiherkkyystestit antavat parempia tutkimustuloksia paikkataajuudella 1,5 kuin Vistech VCTS 6500. Tomeyn ja POLA-VV:n projektoreiden tulokset ovat lähellä toisiaan, mutta Tomeyn projektorilla saadaan hieman paremmat arvot. Ainoastaan kaksi tutkittavaa saa parempia arvoja Vistech VCTS 6500 -testitaululla kuin Tomeyn projektorilla. Näistä kahdesta tutkittavasta toisen tutkimustulokset ovat myös paremmat Vistech VCTS 6500 -taululla kuin POLA-VV-projektorilla.

### 7.3.2 Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella B 3,0

Kun paikkataajuudella 3,0 verrataan Vistech VCTS 6500 -testitaululla saatuja tuloksia Tomeyn CST-testillä saatuihin tuloksiin, voidaan todeta, että Tomey antaa kahdeksalla tutkittavalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Vistech VCTS 6500. Vistech VCTS 6500 antaa paremman arvon neljästi. Yhtä suuren tuloksen testit antavat 15 kertaa. Tulosta ei voida pitää tilastollisesti merkitsevänä p-arvon ollessa 0,197.

Verrattaessa Vistech VCTS 6500 -testitaululta saatuja tuloksia POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestillä saatuihin tuloksiin todetaan, että POLA-VV antaa 22 kertaa paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Vistech VCTS 6500. Vistech VCTS 6500 ei

anna parempaa kontrastiherkkyysarvoa kertaakaan. Yhtä suuren tuloksen testit antavat kahdeksan kertaa. Tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä p-arvon ollessa 0,000.

Kun Tomeyn antamia tuloksia verrataan POLA-VV-projektorin antamiin tuloksiin, voidaan todeta POLA-VV:n antavan 18 tutkittavan kohdalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Tomey. Tomeylla saadaan parempi arvo vain kerran. Saman tuloksen testit antavat kahdeksan kertaa. Tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä p-arvon ollessa 0,001.

Paikkataajuudella 3,0 POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestillä saadaan parempia tuloksia kuin Vistech VCTS 6500 -taululla ja Tomeyn CST-testillä. Ainoastaan yksi tutkittava saa Tomeyn projektorilla parempia tuloksia kuin POLA-VV-projektorilla. Vistech VCTS 6500 -taululla ja Tomeyn projektorilla saadut tulokset ovat lähellä toisiaan, mutta Tomeylla saadaan kuitenkin hieman parempia arvoja. Tomeyn antamat arvot ovat huomattavasti tasaisempia verrattuna Vistech VCTS 6500-tauluun, jolla saadut tulokset vaihtelevat enemmän tutkittavien välillä.

### 7.3.3 Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella C 6,0

Paikkataajuudella 6,0 Vistech VCTS 6500 -testitaululla ja Tomeyn CST-testillä saatuja tuloksia arvioitaessa voidaan todeta, että seitsemän tutkittavaa saa Tomeylla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Vistech VCTS 6500 -taululla. Vistech VCTS 6500 antaa paremman arvon viidesti. Yhtä suuren tuloksen testit antavat 15 kertaa. Tulosta ei voida pitää tilastollisesti merkitseväenä p-arvon ollessa 0,439.

Verrattaessa Vistech VCTS 6500 -testitaulun antamia tuloksia POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestin antamiin tuloksiin voidaan todeta, että Vistech VCTS 6500 antaa yhdeksällä tutkittavalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin POLA-VV. POLA-VV antaa paremman arvon kahdeksan kertaa. Sama tulos testeillä saadaan 13 kertaa. Tulosta ei voida pitää tilastollisesti merkitseväenä p-arvon ollessa 0,685.

Kun Tomeyn projektorilla saatuja tuloksia verrataan POLA-VV-projektorilla saatuihin tuloksiin, voidaan todeta POLA-VV-projektorin antavan 10 tutkittavan kohdalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Tomey. Myös Tomeyn projektori antaa paremman arvon 10 kertaa. Yhtä suuren tuloksen testit antavat seitsemän kertaa. Tulosta ei voida pitää tilastollisesti merkitseväenä p-arvon ollessa 0,545.

Kontrastiherkkyysarvot paikkataajuudella 6,0 ovat kaikkein tasaisimpia keskenään muihin paikkataajuuksiin verrattuna. Koska tulosten välillä hajontaa on vähän, ei voida todeta jonkin testin antavan selvästi parempia tai huonompia arvoja kuin muut testit. Kyseisellä paikkataajuudella saadaan eniten yhtä suuria tuloksia, kun LCD-projektorien kontrastiherkkyystestien tuloksia verrataan Vistech VCTS 6500 -testitaulun tuloksiin.

#### 7.3.4 Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella D 12,0

Verrattaessa Vistech VCTS 6500 -testitaululla saatuja tuloksia Tomeyn projektorin CST-testillä saatuihin tuloksiin paikkataajuudella 12,0 todetaan, että 10 tutkittavaa saa Tomeylla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Vistech VCTS 6500 -testillä. Vistech VCTS 6500 antaa paremman arvon neljästi. Yhtä suuren tuloksen testit antavat 13 kertaa. Tulosta ei voida pitää tilastollisesti merkitseväenä p-arvon ollessa 0,143.

Kun Vistech VCTS 6500 -testitaulun antamia tuloksia verrataan POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestillä saatuihin tuloksiin, voidaan todeta, että Vistech VCTS 6500 antaa 17 tutkittavan kohdalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin POLA-VV. POLA-VV antaa paremman arvon viidesti. Keskenään yhtä suuren tuloksen testit antavat kahdeksan kertaa. Tulosta voidaan pitää tilastollisesti merkitseväenä p-arvon ollessa 0,002.

Tomeyn ja POLA-VV:n projektoreilla saatuja tuloksia verrattaessa voidaan todeta, että 17 tutkittavaa saa paremman kontrastiherkkyysarvon Tomeyn projektorilla kuin POLA-VV-projektorilla. POLA-VV antaa paremman arvon kahdesti. Saman tuloksen testit antavat kahdeksan kertaa. Tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä p-arvon ollessa 0,001.

Kontrastiherkkyysarvot paikkataajuudella 12,0 ovat parempia Vistech VCTS 6500- taululla ja Tomeyn CST-testillä kuin POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestillä tutkittaessa. Verrattaessa kaikkia kolmea testiä keskenään, voidaan huomata tulosten olevan samansuuntaisia, mutta keskimääräisesti POLA-VV antaa heikompia kontrastiherkkyysarvoja kuin verrokkitestit. Tutkittavista viisi saa paremman arvon POLA-VV:n kontrastiherkkyystestillä kuin Vistech VCTS 6500 -testitaululla. Yksi tutkittava saa kyseisellä paikkataajuudella parhaimman arvon POLA-VV-projektorin testillä.

### 7.3.5 Kontrastiherkkyystestien tutkimustulokset paikkataajuudella E 18,0

Paikkataajuudella 18,0 Vistech VCTS 6500 -testitaululla ja Tomeyn CST-testillä saatuja tuloksia verrattaessa huomataan, että Vistech VCTS 6500 antaa 12 tutkittavan kohdalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin Tomey. Tomeyn projektorilla saadaan parempi arvo yhdeksän kertaa. Yhtä suuren tuloksen testit antavat kuusi kertaa. Tulosta ei voida pitää tilastollisesti merkitsevänä p-arvon ollessa 0,663.

Kun Vistech VCTS 6500 -testitaulun antamia tuloksia verrataan POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestin tuloksiin, voidaan todeta, että 25 tutkittavaa saa paremman kontrastiherkkyysarvon Vistech VCTS 6500 -testitaululla kuin POLA-VV-projektorilla. POLA-VV antaa paremman arvon vain kerran. Keskenään yhtä suuret tulokset testit antavat neljä kertaa. Tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä p-arvon ollessa 0,000.

Verrattaessa Tomeyn projektorin antamia tuloksia POLA-VV-projektorin tuloksiin voidaan todeta, että Tomeyn kontrastiherkkyystesti antaa 23 tutkittavan kohdalla paremman kontrastiherkkyysarvon kuin POLA-VV. POLA-VV antaa paremman arvon vain kahdesti. Keskenään yhtä suuren tuloksen testit antavat myös kahdesti. Tulosta voidaan pitää tilastollisesti erittäin merkitsevänä p-arvon ollessa 0,000.

Paikkataajuudella 18,0 Vistech VCTS 6500 -taululla ja Tomeyn CST-testillä saadut tulokset ovat parempia kuin POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyystestin tulokset. Vistech VCTS 6500 -taululla ja Tomeyn projektorilla saadut arvot ovat lähempänä toisiaan, mutta Vistech VCTS 6500 antaa kuitenkin hieman parempia tuloksia.

## 8 Analyysi

### 8.1 Värinäköttestien tutkimustulosten analyysi

Tutkimusjoukosta neljällä todettiin puna-viherväriinään heikkoutta. Otos on kuitenkin niin pieni, ettei sen perusteella voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä ja esittää niitä tilastollisesti merkittävänä. Kuten taulukossa 7 (ks. s. 32) on esitetty, Tomeyn näkötestiprojektorin värinäköttestillä virheiden määrä on tutkittavilla 24, 28 ja 29 suurempi tai yhtä suuri kuin verrokkitesteillä ja Ishiharan väritestikirjalla virheiden määrä on puolestaan pienempi tai yhtä pieni kuin vertailussa olleilla testeillä. Nämä tulokset antavat viitteitä siitä, että Tomeyn värinäköttesti on vaativampi kuin painettu Ishiharan väritestikirja ja vertailussa ollut POLA-VV-näkötestiprojektorin värinäköttesti.

Tutkittavien 18, 24 ja 28 värinäkö voidaan luokitella jokaisen värinäköttestin perusteella puutteelliseksi, sillä kyseiset tutkittavat tekevät jokaisella testillä yli kuusi virhettä. Tutkittava 29 puolestaan poikkeaa edellisistä siten, että hän saa Tomeyn värinäköttestillä 11 virhettä, mutta Ishiharan väritestikirjalla ja POLA-VV:n värinäköttestillä vain viisi virhettä. Tomeyn värinäköttestin perusteella tutkittava 29 luokitellaan värinäöltään puutteelliseksi, toisin kuin verrokkitestien perusteella.

Kaikilla testivälineillä voidaan tarpeen tullen mitata taipumusta puna-vihernäön heikkouteen, eikä kyseisen otoksen perusteella saada merkittäviä ja johdonmukaisia eroja LCD-näkötestiprojektorien värinäköttestien ja Ishiharan väritestikirjan tulosten välillä. Myös kaikkien testivälineiden kohdalla testikuviryhmien toimintaperiaate näyttää pääpiirteittäin toteutuvan, vaikka neljän henkilön otos puna-viherväriinään puutteelliseksi luokiteltavien henkilöiden osalta onkin pieni tämän asian todentamiseen. Tutkittavat saivat eriäviä tuloksia eri värinäkötesteillä, mutta otoksesta ei käy ilmi, että jokin tietty testi antaisi parempia tai huonompia tuloksia kahteen muuhun testiin verrattuna. Myös Pardon ja Awadin työryhmien tutkimukset väriinään tutkimisesta elektronisilla näytöillä puoltavat ajatusta siitä, että vaikka värien toistossa onkin eroavaisuuksia sekä näyttöjen kesken että näyttöjen ja painettujen testitaulujen välillä, voidaan tutkimukset suorittaa riittävän luotettavasti elektronisilla näytöillä. (Pardo ym. 2004: 159–163; Awad ym. 2007: 58–59.)

## 8.2 Stereonäköttestien tutkimustulosten analyysi

Perinteinen Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testi ja Tomeyn näkötestiprojektorin Stereoympyrä-testi antavat keskenään samanlaiset kaarisekuntiarvot. Myös testien testikuviot ovat hyvin samankaltaiset. POLA-VV-näkötestiprojektorin D6-stereotesti poikkeaa sekä stereokulma-arvoiltaan että testikuvioiltaan kahdesta verrokkitestistä. Stereonäköttestien tuloksia analysoidaan sivulla 33 esiteltyyn jaotteluun perustuen.

Tomeyn Stereoympyrä-testi koettiin hankalaksi, mikä näkyy myös tuloksissa. Stereoympyrä-testillä hyvää tulosta ei saavuttanut prosentuaalisesti yhtä moni kuin kahdella verrokkitestillä. Lieviä stereonäön häiriöitä mitattiin Stereoympyrä-testillä eniten verrattuna kahteen muuhun testivälineeseen. Myös tutkittavat, joiden stereonäöntarkkuus luokiteltiin Stereoympyrä-testillä lievän stereonäön häiriön kategoriaan, saivat keskimääräisesti parempia stereonäöntarkkuusarvoja Wirtin ympyrä- sekä D6-testillä.

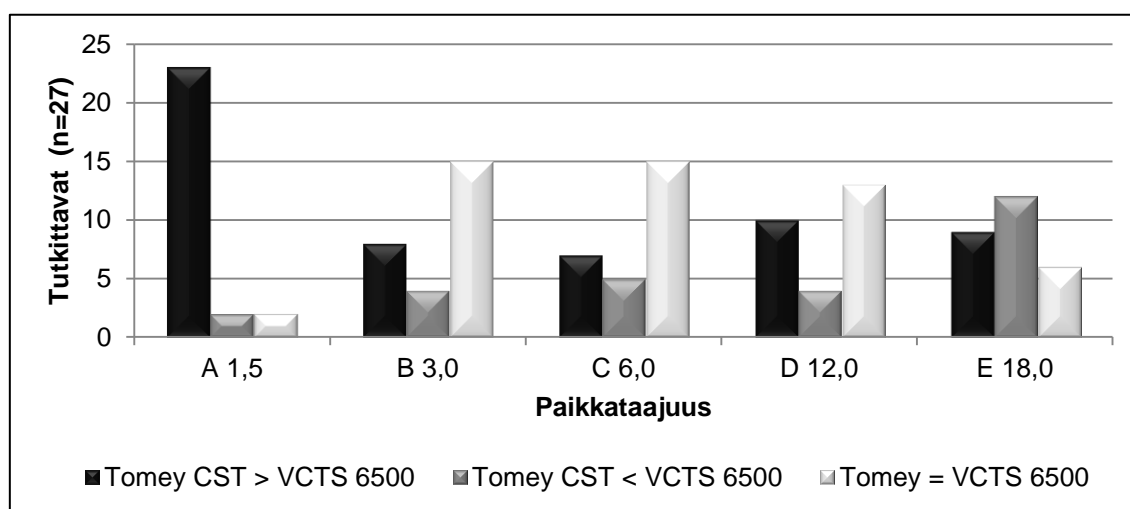
POLA-VV-projektorin D6-stereotesti koettiin hankalimmaksi stereonäköä mittaavaksi testiksi. D6-testi alkaa pienemmästä kulmasekuntiarvosta kuin verrokkitestit, joten testin aloittaminen on hankalampaa stereonäköä herättelevän kuvan puuttuessa. D6-testissä ei myöskään ole fuusiota edistävää tummaa korkeakontrastista reunusta varsinaisen testikuvion ympärillä, mikä osaltaan hankaloittaa testin suorittamista ja kolmiulotteisuuden havaitsemista. Epämiellyttävyyden kokemus ei kuitenkaan korreloi tulosten kanssa, sillä hyvä stereonäöntarkkuus mitattiin D6-testillä lähes yhtä monta kertaa kuin Wirtin ympyrä -testillä: D6-testillä 17 ja Wirtin ympyrä -testillä 18 kertaa. Myös melko hyvä stereonäöntarkkuus mitattiin näillä testeillä melkein yhtä monta kertaa: D6-testillä neljä ja Wirtin ympyrä -testillä viisi kertaa. Tutkittavista kolme ei havainnut stereovaikutelmaa D6-testissä. Nämä kolme tutkittavaa kokivat kuitenkin stereovaikutelman Wirtin ympyrä- sekä Stereoympyrä-testeillä, kun stereokulma-arvoja oli määritettävissä arvosta 800" alkaen. D6-testi alkaa vasta arvosta 300", joten todennäköisesti tutkittavien stereonäöntarkkuus olisi ollut mitattavissa myös D6-testillä, mikäli testi määrittäisi stereokulma-arvoja 300" – 800" välillä.

Tutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että Wirtin ympyrä -testillä ja POLA-VV-projektorin D6-stereotestillä saadaan samansuuntaisia tuloksia testien eroavaisuuksista huolimatta, ja että Tomeyn projektorin Stereoympyrä-testillä mitattavat stereonäöntarkkuusarvot jäävät heikommiksi verrattuna kahteen muuhun testiin.

### 8.3 Kontrastiherkkyystestien tutkimustulosten analyysi

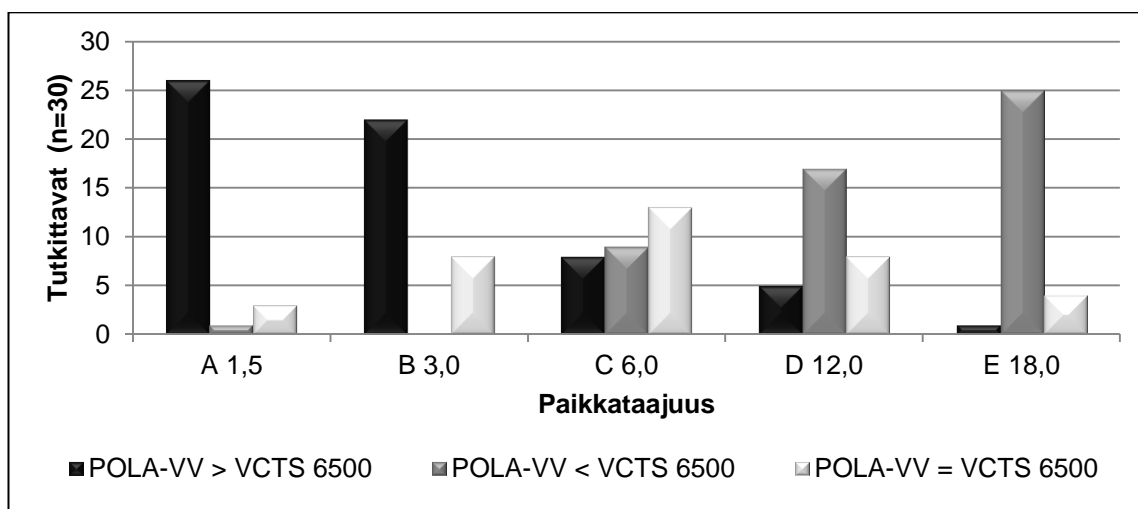
Kontrastiherkkyystestien paikkataajuuksien A 1,5, B 3,0 ja C 6,0 ensimmäisen tason kontrastiherkkyysarvot ovat Vistech VCTS 6500 -taulun ja Tomeyn näkötestiprojektorin CST-testin kesken samat, mutta POLA-VV-näkötestiprojektorin kontrastiherkkyystestien arvot ovat hieman poikkeavat. Testien antama tulos ensimmäiselle kontrastiherkkyystasolle ei siis ole suoraan verrannollinen jokaisella testillä. Kuitenkin muilla kontrastiherkkyystasoilla 2–8 kontrastiherkkyysarvot ovat kolmen testien kesken samat. Kaikki tutkittavat saavat kontrastiherkkyysarvokseen viisi tai enemmän, joten ensimmäisen kontrastiherkkyystason keskinäiset eroavuudet eivät tule tuloksissa ilmi. Paikkataajuuksilla D 12,0 ja E 18,0 kontrastiherkkyysarvot ovat kaikilla kolmella testillä keskenään samat jokaisella kontrastiherkkyystasolla. (Ks. taulukot 4–6 s. 27–30.)

Kuviossa 15 verrataan kontrastiherkkyystuloksia Tomeyn CST-testin ja Vistech VCTS 6500 -testitaulun välillä. Paikkataajuudella 1,5 Tomeyn CST-testillä 23 tutkittavaa saa parempia kontrastiherkkyysarvoja kuin Vistech VCTS 6500 -testitaululla. Paikkataajuuksilla 3,0–6,0 Tomeyn testillä ja Vistech VCTS 6500 -testitaululla saadut tulokset ovat yli puolella tutkittavista samanarvoisia ja paikkataajuudella 12,0 lähes puolet (48 %) tutkittavista saa sekä Tomeyn CST- että Vistech VCTS 6500 -testeillä yhtä suuret tulokset. Paikkataajuuksilla 3,0–12,0 Tomeyn CST-testillä saadaan kuitenkin useamman tutkittavan kohdalla parempia tuloksia kuin Vistech VCTS 6500 -testitaululla. Paikkataajuudella 18,0 asetelma muuttuu, ja Vistech VCTS 6500 -testillä saadaan parempia tuloksia kuin Tomeyn projektorilla.



Kuvio 15. Kontrastiherkkyystulokset Tomey TCP-2000P -projektorin CST-testillä verrattuna Vistech VCTS 6500 -testitaululla saatuihin tuloksiin.

Kuviossa 16 vertailun kohteina ovat POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyydesti ja Vistech VCTS 6500. Paikkataajuuksilla 1,5 ja 3,0 POLA-VV antaa huomattavasti useamman tutkittavan kohdalla korkeampia tuloksia kuin Vistech VCTS 6500. Paikkataajuudella 1,5 Vistech VCTS 6500 antaa vain kerran paremman tuloksen ja paikkataajuudella 3,0 ei kertaakaan parempaa tulosta kuin POLA-VV. Paikkataajuudella 6,0 esiintyy vähiten hajontaa tulosten välillä ja verrattuna muihin paikkataajuuksiin saadaan kyseisellä paikkataajuudella useimmin yhtä suuria tuloksia testien välillä. Paikkataajuus 6,0 edustaa ihmisen kontrastiherkkyyssäyrän herkintä aluetta, mikä osaltaan selittää hajonnan vähäistä määrää. Myös testien normaaliarvojen hajonta on tällä paikkataajuudella pienin. Paikkataajuuksilla 12,0 ja 18,0 on huomattavissa, että Vistech VCTS 6500 -testillä saadaan huomattavasti useammin parempia arvoja kuin POLA-VV:n kontrastiherkkyydestillä.

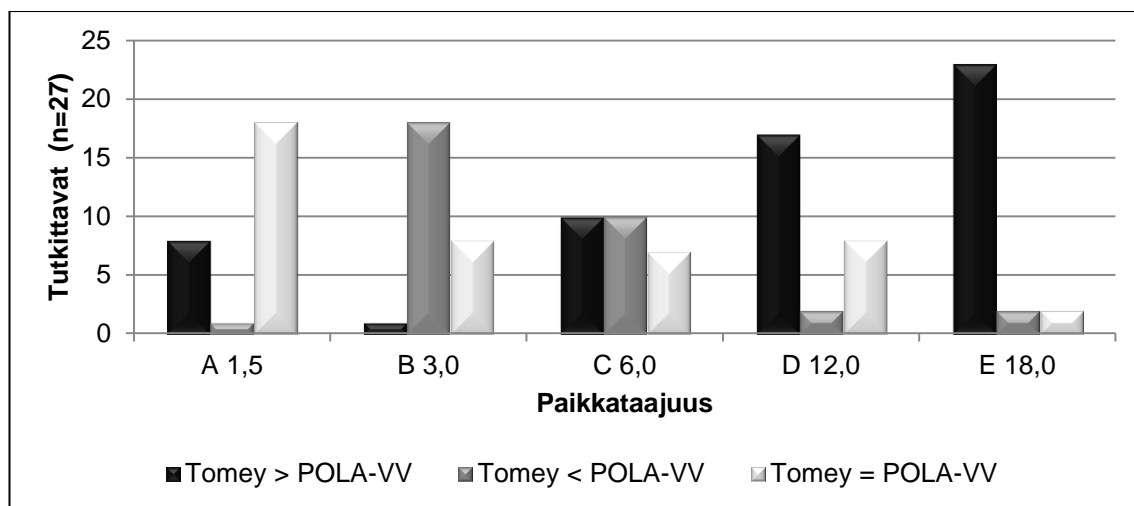


Kuvio 16. Kontrastiherkkyytulokset POLA VistaVision -projektorin kontrastiherkkyydestillä verrattuna Vistech VCTS 6500 -testitaululla saatuihin tuloksiin.

Kun verrataan kahdella LCD-projektorilla saatuja kontrastiherkkyytuloksia Vistech VCTS 6500 -testitaululla saatuihin tuloksiin, voidaan todeta, että matalilla paikkataajuuksilla, etenkin paikkataajuudella 1,5, LCD-projektoreilla saadut tulokset ovat testiryhmällä korkeampia kuin painetulla Vistech VCTS 6500 -testitaululla mitattuna. Korkeilla paikkataajuuksilla tulokset näyttävät olevan päinvastaisia, ja etenkin paikkataajuudella 18,0 Vistech VCTS 6500 -testillä saadaan keskimääräisesti parempia kontrastiherkkyyсарvoja kuin LCD-projektoreilla. (Ks. kuvat 15 ja 16 s. 42–43.)

Verrattaessa kahden LCD-projektorin antamia kontrastiherkkyytuloksia toisiinsa huomataan, että paikkataajuudella 1,5 projektorit antavat yli puolella (67 %) tutkittavista yhtä suuren tuloksen (kuvio 17). Paikkataajuuksilla 3,0–18,0 tuloksissa on enemmän

hajontaa. Paikkataajuudella 3,0 POLA-VV-projektorin kontrastiherkkyydestillä mitataan 67 %:lla tutkittavista korkeampia arvoja kuin Tomeyn CST-testillä ja yhtä suuria tuloksia saadaan vain kahdeksan (30 %) tutkittavan kohdalla. Korkeammilla paikkataajuuksilla 12,0–18,0 saadaan sitä vastoin Tomeylla huomattavasti useammin parempia arvoja kuin POLA-VV-projektorilla. Kuten aiemmin todettiin verrattaessa painettua kontrastiherkkyydestiä kahteen LCD-projektorin testiin, paikkataajuudella 6,0 on tutkimustuloksissa vähiten hajontaa testien välillä.



Kuvio 17. Kontrastiherkkyydestulokset Tomey TCP-2000P -projektorin CST-testillä verrattuna POLA VistaVision -projektorin kontrastiherkkyydestillä saatuihin tuloksiin.

Kolmella kontrastiherkkyydestillä saatujen tulosten välillä on hajontaa, jonka määrä vaihtelee eri paikkataajuuksilla. Matalilla paikkataajuuksilla, etenkin paikkataajuudella 1,5, LCD-projektoreiden kontrastiherkkyydestien tulokset ovat testiryhmällä korkeampia kuin painetulla Vistech VCTS 6500 -testitaululla mitattuna. Painetun Vistech VCTS 6500 -testitaulun testikuvioissa paikkataajuudella 1,5 ei ole näkyvissä yhtä paljon juovapareja kuin LCD-projektoreiden juovastotesteissä, mikä selittää tutkimustulosten eroavaisuutta. Juovien suunnan luotettavan havaitsemisen takaamiseksi matalan kontrastitason alueella tulisi näkyvissä olla noin kolme juovaparia. Tutkimustulosten eroavaisuudesta voi seurata, että LCD-projektoreilla mitattaessa kontrastiherkkyys voidaan tulkita normaaliksi, vaikka Vistech VCTS 6500 -testitaululla saataisiin tulokseksi alentunut kontrastiherkkyys.

Korkeilla paikkataajuuksilla tulokset ovat päinvastaisia, ja etenkin paikkataajuudella 18,0 Vistech VCTS 6500 -testillä saadaan keskimääräisesti parempia kontrastiherk-

kyysarvoja kuin LCD-projektoreilla. Tutkimustulosten eroavaisuus voi selittyä LCD-projektoreiden juovastojen teknisen toteutuksen ja optisen laadun ominaisuuksilla, jotka jäävät mahdollisesti heikommiksi kuin painetussa Vistech VCTS 6500 -testitaulussa. Tutkimustulosten eroavaisuus voi johtaa siihen, että LCD-projektoreilla mitattaessa kontrastiherkkyys voidaan tulkita alentuneeksi, vaikka Vistech VCTS 6500 -testitaululla saataisiin normaaliksi tulkittava arvo. Kontrastiherkkyystestien tutkimustulosten vaihtelut eri testien välillä korkeilla paikkataajuuksilla saattavat vaikuttaa tutkimustulosten arviointiin tapauksissa, joissa epäillään kontrastiherkkyyskäyrän aleneman olevan esimerkiksi refraktiovirheen aiheuttama. Tämän seikan vuoksi tutkija saattaa tulkita esimerkiksi tutkittavan refraktion olevan virheellinen, jos tutkimustulokset analysoidaan vain LCD-projektorin kontrastiherkkyystestin perusteella.

#### 8.4 Tutkimustuloksiin vaikuttaneita tekijöitä

Torstaina 16.1.2014 tutkimukset toteutettiin ilman Tomey TCP-2000P -näkötestiprojektorilla, joten tutkimustulokset jäivät vaillinaisiksi tutkittavien 15–17 osalta, kun väri ja stereonäkö sekä kontrastiherkkyys jäivät mittaamatta kyseisellä projektorilla. Maanantaina 20.1.2014 Tomeyn näkötestiprojektorin näyttö välkkyi tutkimusten aikana jokaisen tutkittavan kohdalla. Näytön välkkyminen ei kuitenkaan vaikuttanut testien tekemiseen, ja testit voitiin suorittaa normaalisti. Välkkyminen saattoi vaikuttaa tutkittavien keskittymiseen testien aikana ja näin ollen mahdollisesti myös tutkimustuloksiin.

Asiakkaan vireystilalla on olennainen vaikutus testien suorittamiseen ja tutkimustuloksiin. Testit kestivät tutkittavaa kohden noin 25 minuuttia, joten on mahdollista, että osa tutkittavista väsyi tutkimusten aikana, eikä keskittyminen ollut enää yhtä hyvää tutkimusten loppupuolella. Jokainen testi toistui tutkimusten aikana kolme kertaa, joten on myös mahdollista, että osalla tutkittavista mielenkiinnon taso laski, vaikka testien järjestystä pyrittiin vaihtelemaan ja näin ollen minimoimaan kyllästymistä ja väsymistä.

##### 8.4.1 Värinäkötestien tutkimustuloksiin vaikuttaneita tekijöitä

Tomeyn värinäkötestin värisävyt ovat huomattavasti vaaleammat ja kylmemmät kuin Ishiharan väritestikirjassa ja POLA-VV-projektorin värinäkötestissä. Ishiharan väritestikirjassa ja POLA-VV-projektorin värinäkötestissä värisävyt ovat melko samanlaiset keskenään. Yksi syy Tomeyn värinäkötestin haasteellisuuteen saattaa olla sen testiku-

vioiden erilainen värisävytys suhteessa verrokkitesteihin. Toinen syy Tomeyn värinäköttestillä saatuihin hieman suurempiin virhemääriin suhteessa kahteen verrokkitestiin voi olla tutkittavien väsyminen toistoihin, sillä testi toteutettiin värinäköttesteistä viimeisimpänä. Enemmistö tutkimusjoukosta pitää Ishiharan väritestikirjaa visuaalisesti miellyttävämpänä katsoa kuin kumpaakaan LCD-projektorilla toteutettavaa värinäköttestiä.

#### 8.4.2 Stereonäköttestien tutkimustuloksiin vaikuttaneita tekijöitä

Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testi suoritetaan lähietäisyydeltä, kun taas kummankin LCD-projektorin stereonäköttestit, Stereoympyrä ja D6, mitataan kaukoetäisyydeltä. Kaikki stereotestit ovat herkkiä etäisyyksien vaihteluille, joten testietäisyydet pidettiin vakioina. Etenkin Wirtin ympyrä -testin kohdalla myös katselukulmaa ja valaistuksen aiheuttamia kiiltoheijasteita testitaulun pinnalla pyrittiin kontrolloimaan.

Stereo Fly Test -kirjan Wirtin ympyrä -testissä kaikki yhdeksän testikuviota ovat nähtävissä yhtäaikaisesti ja kuviot on numeroitu. Tomeyn Stereoympyrä-testissä on nähtävissä kerrallaan vain yksi testikuvio. Testissä edetään kuvio kerrallaan, mutta edelliseen kuvioon on mahdollista palata. Testi ei anna äänimerkkiä eikä testikuvioiden vaihtuminen käy ilmi maskeilla testikuvioita vaihdettaessa, joten erityisesti stereokulma-arvojen pienetessä tutkittava ei välttämättä havaitse testikuvion vaihtumista ilman tutkijan ilmoitusta. Näytön alakulmassa kuitenkin ilmoitetaan, mikä testikuvio on esillä. POLA-VV-projektorin D6-testissä testikuviorivejä on nähtävissä kerrallaan kolme, ja testikuviotaulu vaihtuu vain kerran, joten testin eteneminen on helpompaa hahmottaa. Testin oikeassa reunassa ilmoitetaan jokaisen testirivin stereokulma-arvo.

Wirtin ympyrä -testillä mitattiin kaikkein parhaimmat stereonäöntarkkuusarvot ja se koettiin mielekkäimmäksi testivälineeksi. Wirtin ympyrä -testin suorittaminen oli ajallisesti nopeampaa kuin kahdella LCD-projektorilla toteutettavien stereotestien tekeminen.

#### 8.4.3 Kontrastiherkkyystestien tutkimustuloksiin vaikuttaneita tekijöitä

Kontrastinäköä tutkittaessa asiakkaan refraktion tulisi olla korjattuna koekehysissä, sillä korkeilla paikkataajuuksilla pienikin virhe taittovirheen korjauksessa voi vaikuttaa kontrastiherkkyden mittaustuloksiin. Tutkimusjoukko valikoitui satunnaisesti, eikä silmälasikorjauksen ajantasaisuuteen ollut mahdollisuutta vaikuttaa. Ajan rajallisuuden

vuoksi refraktiota ei tehty, ja tutkimukset toteutettiin tutkimusten aikana käytössä olleella silmälasikorjauksella. Silmälasikorjauksen ollessa päivitetty ja ajantasainen, on mahdollista, että kontrastiherkkyystulokset olisivat parempia kuin tilanteessa, jossa silmälasit eivät ole täysin ajantasaiset. Tutkimusten kannalta ei ollut tarkoituksenmukaista mitata tutkittavilta korkeinta mahdollista kontrastiherkkyysarvoa, vaan huomio keskitettiin sen sijaan testien antamien tulosten yhdenmukaisuuteen.

LCD-näkötestiprojektorien kontrastiherkkyystestit etenevät ainoastaan tiettyyn kontrastiherkkyysarvoon saakka kuten Vistech VCTS 6500 -testi. LCD-projektorien testit eivät kuitenkaan tarjoa testikuvioita, joissa juovastoja ei enää esitetä toisin kuin Vistech VCTS 6500 -testi. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ajoterveydestä 1181/2011 3 § määrittää, että ajokorttinäöntarkastuksessa tulee tarpeen vaatiessa kiinnittää huomiota hämäränäköön ja häikäisy- sekä kontrastiherkkyteen (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ajoterveydestä 1181/2011). Näkövaatimukset eivät täyty, jos kontrastiherkkyys on merkittävästi heikentynyt ja kontrastiherkkyysarvot jäävät määritettyjen normaaliarvojen alle. Vaikka LCD-projektorien kontrastiherkkyystestit eivät tarjoa tyhjää testikuvioita ja päättyvät määritettyyn korkeimpaan mitattavissa olevaan kontrastiherkkyysarvoon jokaisella paikkataajuudella, voidaan näitä testejä pitää riittävinä esimerkiksi ajoterveyden näkövaatimuksien täyttymistä tutkittaessa. Tällöin tärkeintä on selvittää kontrastiherkkyuden olevan normaaliarvojen rajoissa, eikä keskittyä parhaimman mitattavissa olevan kontrastiherkkyysarvon löytämiseen.

Tutkimuksessa painetulla Vistech VCTS 6500 -testitaululla saatiin keskimääräisesti parempia kontrastiherkkyysarvoja korkeammilla paikkataajuuksilla kuin kahden LCD-projektorin kontrastiherkkyystestillä. Korkeilla paikkataajuuksilla testikuvion erottaminen vaikeutuu kapeampien juovien vuoksi. LCD-projektoreilla saadut heikommat tutkimustulokset voivat johtua näyttöjen teknisistä heikkouksista. Näyttöjen ominaisuuksilta vaaditaan paljon, kun kyse on hyvin pienten kohteiden ja pienten sävyerojen esittämisestä, kuten siniaaltoihin perustuvissa testikuvioissa. Esimerkiksi LCD-näyttöjen resoluutiot eivät välttämättä ole riittäviä toistamaan tarpeeksi terävästi pieniä pikselieroja tai gammakäyriä ei mahdollisesti saada säädettyä riittävän tarkasti ja tasaisesti siten, että pienet sävyerot saataisiin erottumaan toisistaan. Subjektiivisesti kuvattuna näyttöjen pinnat näyttävät kimmeltävän ja testikuviot sekoittuvan taustaansa ei-toivotulla tavalla, mikä on näyttöjen pinnalla olevan polarisoivan kerroksen aiheuttama ilmiö.

Vistech VCTS 6500 -kontrastiherkkyystaululla testin juovasuunnat ovat kaikki näkyvis-  
sä samaan aikaan toisin kuin LCD-projektoreiden kontrastiherkkyystesteissä. Tällöin  
asiakas voi verrata vastausvaihtoehtoaan muihin ympärillä näkyviin testikuvioihin. Li-  
säksi painetun Vistech-testitaulun juovastoja sisältävien ympyröiden reunat ovat tarkka-  
rajaisia, jolloin juovaston pystyy vielä juuri ja juuri erottamaan ympyrän reuna-alueelta,  
kun se ei enää ole havaittavissa ympyrän keskellä. LCD-projektorit puolestaan tarjoa-  
vat testitaulut yksittäin ja sattumanvaraisessa järjestyksessä, jolloin vertailua muihin  
testikuvioihin ei voi tehdä, eikä kuvioita voi opetella ulkoa toistomittauksia tehtäessä.  
LCD-projektoreiden juovastotestien testikuvioiden reunat on mahdollista pitää tarkkara-  
jaisina tai vaihtoehtoisesti häivyttää, jolloin korkeilla paikkataajuuksilla juovastojen erot-  
taminen vaikeutuu. Tutkimuksissa käytettiin tarkkarajaisia reunoja testien ja tutkimustu-  
lostien yhdenmukaistamiseksi.

LCD-projektoreiden kontrastiherkkyystestien testikuviot ovat halkaisijaltaan huomatta-  
vasti suurempia kuin Vistech VCTS 6500 -testitaulussa, vaikka kaikki kolme testiä suo-  
ritetaan kolmen metrin etäisyydeltä. Kun LCD-projektoreiden kontrastiherkkyystestit  
etenevät korkeammille paikkataajuuksille, on juovien erottaminen halkaisijaltaan suu-  
remmasta testikuvioista vaikeampaa kuin halkaisijaltaan pienemmästä testikuvioista.  
LCD-näyttöjen testikuvioiden visuaaliseen skannaamiseen vaaditaan enemmän aikaa  
ja silmien useampi sakkadiliike, kun taas painetun testitaulun pienempi kuvio on hah-  
motettavissa nopeammin ja helpommin. Halkaisijaltaan pienemmässä kuviossa on vä-  
hemmän siniaaltojuovia näkyvissä, mutta jos LCD-näyttöjen testikuvioista rajattaisiin  
halkaisijaltaan vastaavan kokoinen alue, olisi juovien määrä lähes sama. Juovien mää-  
rä kasvaa sekä painetussa että LCD-projektoreiden kontrastiherkkyystesteissä samas-  
sa suhteessa siirryttäessä korkeammille paikkataajuuksille.

Vistech VCTS 6500 -testitaulun taustaväri on luonnonvalkoinen, kun taas kahden LCD-  
projektorin kontrastiherkkyystestin taustaväri on keskiharmaa, jolloin LCD-näyttöjen  
testikuviot eivät erotu taustastaan yhtä hyvin kuin painetussa testitaulussa. Valkea  
tausta on herkkä ympäristön luminanssvaihteluille toisin kuin tietokonepohjaisissa tes-  
teissä käytetty keskiharmaa sävy. Painetussa taulussa juovat ovat selvästi taustaansa  
tummempia, mutta LCD-näytöillä juovien sävy on lähellä taustan väriä. Tällä väri-  
tyserolla ei välttämättä ole merkittävää vaikutusta testin kulkuun, sillä testikuviot on  
rajattu taustastaan sekä painetussa että LCD-projektorien kontrastiherkkyystesteissä.

Mitattaessa kontrastiherkkyttä LCD-projektoreilla on tärkeää, että tutkija rekisteröi tutkittavan vastauksen kaukosäätimien nuolipainikkeilla. Virhepainalluksella tutkija voi vaikuttaa tutkimustulokseen positiivisesti tai negatiivisesti. Painalluksen ollessa liian pitkä projektorit rekisteröivät vastauksen kahdelle peräkkäiselle testitaululle. Vastaus-ten rekisteröinnissä pyrittiin erityiseen tarkkuuteen.

## 9 Pohdinta

### 9.1 LCD-näkötestiprojektorien edut ja haitat

Vertailussa olleet polarisoivat LCD-näkötestiprojektorit ovat melko uusia. Ne ovat olleet markkinoilla vasta joitakin kuukausia ja niitä on myyty Suomessa vasta muutamia kappaletta. Ei-polarisoivia projektoreita on kuitenkin käytössä jo useita kymmeniä sekä julkisella että yksityisellä sektorilla. LCD-näkötestiprojektorien menekki verrattuna perinteisiin projektoreihin on suurta. Tulevaisuudessa LCD-projektorien hankinta ja käyttö todennäköisesti lisääntyvät entisestään. Pääsääntöisesti LCD-projektoreita hankitaan silmälääkärin vastaanotoille, sillä esimerkiksi ajokorttitarkastuksessa vaaditaan kontrastiherkkyuden mittaaminen, joka on helppo suorittaa LCD-tyyppisellä taululla. Perinteisiä projektoreita hankitaan kuitenkin edelleen sairaaloihin ja optikoiden käyttöön. (Juurinen 2014; Kangastupa 2014.)

Tietokonepohjaiset LCD-näkötestiprojektorit mahdollistavat laajemman testivalikoiman optikkoliikkeisiin, sillä niihin saadaan asennettua lukuisia eri testejä. Näöntarkastuksessa käytetyt testit voidaan asentaa ja valita esimerkiksi käyttötarkoituksen ja asiakkaan tarpeiden tai iän mukaan. Kaikki testit ovat saatavilla samassa projektorissa, jolloin irrallisia testitauluja eri tarkoituksiin ei tarvita. Kun kaikki testit ovat samassa laitteessa, ne myös löytyvät helposti. Usein LCD-projektoreita markkinoitaessa korostetaan projektoreiden sisältävän erittäin monipuolisesti erilaisia optotyyppejä ja testejä. LCD-projektoreilla on mahdollista vaihtaa optotyyppejä saman visusrivin sisällä, jolloin ulkoa oppimisen mahdollisuus näöntarkastustilanteessa pienenee. Useat laitevalmistajat mainostavat värinäkötestien, laajojen polarisaatiotestien ja kontrastiherkkyystestien sisältymistä testivalikoimiin. LCD-projektoreilla on myös mahdollista tallentaa tutkimustuloksia ja siirtää tulokset ulkoiselle kovalevyille myöhempää analysointia varten.

LCD-näkötestiprojektorit ovat kehittyneet viime vuosina paljon ja esimerkiksi polarisaatiotestit ovat olleet tärkeä kehityksen kohde. Aiemmin ei-polarisoivat pienemmät näkötestiprojektorit olivat suosittuja, mutta lähes samaan hintaan saa nykyään suurempia ja jopa polarisoivia projektoreita. LCD-projektoreiden hintaero perinteisiin projektoreihin verrattuna on verrattain pieni. Perinteiset projektorit maksavat verottomina noin 1300–2000 €. LCD-projektoreiden näytön koko ja polarisoiva ominaisuus vaikuttavat muodos-

tuvaan hintaan. Ei-polarisoivat LCD-projektorit maksavat verottomina noin 2000–2500 € ja polarisoivat noin 2700–3000 €. (logen n.d. a; Juurinen 2014; Kangastupa 2014.)

LCD-projektoreilla takuu on yleensä kaksi vuotta, mutta esimerkiksi POLA VistaVision -projektorin takuu muodostuu kahdesta osasta: laitetakuu on viisi vuotta ja näytön takuu kaksi vuotta. Projektorin rikkoutuessa laitteen toimittajalta saa yleensä lainaprojektorin käyttöön korjauksen ajaksi. (Juurinen 2014; Kangastupa 2014.)

LCD-näkötestiprojektorit voidaan säätää helposti halutulle testietäisyydelle. Esimerkiksi Tomey TCP-2000P voidaan asentaa kahdesta seitsemän metrin ja POLA VistaVision -projektorin kolmesta kuuden metrin etäisyydelle. Näin ollen LCD-projektorit sopivat pieneneenkin näöntarkastustilaan. Aiemmin pienet näöntarkastustilat ovat vaatineet optotyypin esittämisen heijastettuna peilien kautta, jotta tarvittava testietäisyys on saatu rakennettua. Kahden peilin kautta heijastettavan kuvan sijaan LCD-projektoreissa on vain yksi näyttö, jolta testikuvat näkyvät. Näöntarkastusta tehtäessä perinteisellä peilien kautta optotyypit heijastavalla projektorilla voi osa asiakkaista olla epävarmoja ja erehtyä siitä, kumpaa heijastunutta kohdetta tulee katsoa. Tätä erehdystä ei voi tapahtua LCD-projektoreilla. Lisäksi LCD-projektorit sopivat keveytensä ja liikuteltavuutensa vuoksi perusteellisempaan näönseulontaan.

LCD-näytöt eivät ole ulkoa tulevalle valaistukselle yhtä herkkiä kuin perinteiset, painetut testitaulut tai projektorit, sillä näytöt on taustavalaistu. Käytetyn paneelitekniikan vuoksi joissakin LCD-näytöissä kuvanlaatu kuitenkin heikkenee siirryttäessä sivuun kohtisuorasta katselinjasta tai muutettaessa pystysuuntaista katselukulmaa suhteessa näyttöön. LCD-projektorin tulee olla suorassa kulmassa asiakkaaseen nähden, jotta se toimii kunnolla.

LCD-näytöillä värientoisto toteutetaan RGB-värijärjestelmällä, jonka värikirjo on laajempi kuin painotuotteilla. Alun perin painetuksi testitauluksi kehitetyn Ishiharän väritestikirjan värisävyt ovat mahdollisesti toistettavissa LCD-näytöllä, jolloin elektroninen värinäkötesti mukailee mahdollisimman tarkasti alkuperäistä tuotetta. Värientoistossa on kuitenkin tärkeää, että näyttö on kalibroitu ja gammakäyrä on säädetty oikein, jotta mahdollisimman pienet värien vivahde-erot tulevat esille.

Painetut testitaulut, kuten Ishiharän väritestikirja ja Vistech VCTS 6500, vaativat painotekniikalta paljon. Testitaulujen on oltava mahdollisimman tasalaatuisia ja saavutettava

painoteknisesti toleranssiarvot, jotta tauluilla mitattavat arvot vastaisivat toisiaan ja ne voitaisiin hyväksyä näönmittausvälineiksi. LCD-projektoreissa etenkin värinäkö- ja kontrastiherkkyydestit vaativat näytön oikean ja virheettömän kalibroinnin sekä oikein säädetyn gammakäyrän. Nykyaikaisten LCD-näyttöjen kalibroitiasetukset pysyvät hyvin muuttumattomina, jolloin kalibrointi tarvitsee toistaa vain noin yhden tai kahden vuoden välein. Mikäli näyttö ei toista värejä oikealla tavalla, voi esimerkiksi värinäkötestin testikuvio muuttua niin radikaalisti, ettei normaali trikromaatti henkilö erota kuviota enää taustastaan. Näytöt ovat herkkiä vahingoittumaan ja muuttumaan kuvanlaadun suhteen epävakaisesti. Ongelmat kalibroinnissa ja gammakäyrän säädössä voivat vaikuttaa erityisesti tarkkojen kynnsarvojen löytämiseen. (To - Woods - Goldstein - Peli 2013: 21; Vilis 1999.)

Painetut testitaulut haalistuvat, kuluvat ja likaantuvat sekä voivat rikkoutua. Myös LCD-näyttöjen nestekidepaneeli on kuluva osa ja altis kuumien (hot pixels) ja kuolleiden (dead pixels) pikselien esiintymiselle. Kuolleisiin pikseleihin johdettu sähkö ei enää tuota valoa, jolloin pikselit näkyvät mustina pisteinä. Kuumat pikselit jäävät pysyvästi kirkkaiksi lämpötilan nousun vuoksi. (YOO - Jeon - Jun 2011: 1.)

Uuden LCD-näkötestiprojektorin saapuminen myymälään saattaa lisätä optikoiden innostuneisuutta monipuolistaa näöntarkastuksia, sillä useat testit ovat helposti ja nopeasti saatavilla. Optikoiden innostuneisuus työhönsä välittyy myös asiakkaalle. Lisäksi LCD-projektorit saattavat vaikuttaa asiakkaasta uudenaikaisemmilta ja kehittyneemmiltä ja tehdä ammattimaisemman vaikutuksen. Toisaalta osa asiakkaista todennäköisesti arvostaa perinteitä, eikä välitä teknologian kehitymisestä.

## 9.2 Tutkimusprosessi ja johtopäätökset

Tutkimus koostui kolmesta näkökykyä mittaavasta testistä. Tutkimukseen valikoituivat Ishiharán värinäkötesti, mahdollisimman yhdenmukaiset stereonäkötestit ja siniaaltojen taajuuksiin perustuvat kontrastiherkkyydestit, koska ne ovat LCD-näkötestiprojektoreiden paljon markkinoituja testejä. Näille testeille löytyvät myös vastineet painetuista testitauluista, joten vertailu luotettaviksi luokiteltuihin painettuihin testeihin saatiin toteutettua.

Tutkimusjoukoksi tavoiteltiin 30–40 henkilöä ja tutkimusten tekemiseen varattiin aika 40 tutkittavalle. Tutkittavista 10 jätti saapumatta tutkimuspaikalle, mutta alin tavoitemäärä

kuitenkin saavutettiin. Koska tutkimusjoukko valikoitui satunnaisesti, esimerkiksi värinäönmittauksissa ei ennalta tiedetty, onko tutkimusjoukosta yhdelläkään poikkeamaa värien havaitsemisessa. Lisäksi kolme tutkimusta toteutettiin ilman Tomeyn näkötestiprojektorin, joten tutkimustulokset jäivät vaillinaisiksi tutkittavien 15–17 osalta, kun väri- ja stereonäkö sekä kontrastiherkkyys jäivät mittaamatta kyseisellä projektorilla. Tutkimusten pieni otoskoko tulee huomioida tuloksia arvioitaessa.

Värinäön mittauksissa todettiin puna-viherheikkoutta neljällä tutkittavalla, joten tämä otos ei anna mahdollisuutta tilastollisesti merkitsevien tulosten esittämiseen. Kyseisen otoksen perusteella ei myöskään saada todennettua merkittäviä ja johdonmukaisia eroja LCD-näkötestiprojektorien värinäkötestien ja Ishiharan väritestikirjan tulosten välillä. Tutkimukset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että kaikilla testivälineillä voidaan tarpeen tullen mitata taipumusta puna-vihernäön heikkouteen.

Stereonäön mittauksen todettiin myös olevan mahdollista kaikilla kolmella verrokkitestillä. LCD-näkötestiprojektoreilla mitattavilla stereonäkötesteillä ja Wirtin ympyrä -testillä saatujen tulosten välillä on kuitenkin hajontaa. Tutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että Wirtin ympyrä -testillä ja POLA-VV-projektorin D6-testillä saadaan samansuuntaisia tuloksia testien erilaisuudesta huolimatta. Tomeyn Stereoympyrä-testillä mitattavat stereonäöntarkkuusarvot jäävät kuitenkin hieman heikommiksi verrattuna kahteen muuhun testiin, mikä voi viitata tämän laitteen stereotestin heikompaan tekniseen toteutukseen.

Kolmella kontrastiherkkyystestillä saatujen tulosten välillä on hajontaa, jonka määrä vaihtelee eri paikkataajuuksilla. Matalilla paikkataajuuksilla, etenkin paikkataajuudella 1,5, LCD-projektoreiden kontrastiherkkyystestien tulokset ovat testiryhmällä korkeampia kuin painetulla Vistech VCTS 6500 -testitaululla mitattuna. Ero tutkimustuloksissa voi johtua siitä, että Vistech VCTS 6500-testissä paikkataajuudella 1,5 juovastopareja on liian vähän, jotta kyseisellä paikkataajuudella saataisiin mitattua mahdollisimman luotettavia kontrastiherkkyysarvoja. Tutkimustulosten eroavaisuudesta voi seurata, että LCD-projektoreilla mitattaessa kontrastiherkkyys voidaan tulkita normaaliksi, vaikka Vistech VCTS 6500 -testitaululla saataisiin tulokseksi alentunut kontrastiherkkyys.

Korkeilla paikkataajuuksilla tulokset ovat päinvastaisia, ja etenkin paikkataajuudella 18,0 Vistech VCTS 6500 -testillä saadaan keskimääräisesti parempia kontrastiherkkyysarvoja kuin LCD-projektoreilla. Ero tutkimustuloksissa voi johtua osittain Vistech

VCTS 6500 -testin rajatusta testikuviosta, jolloin juovastokuvio on helpommin havaittavissa testiympyrän reuna-alueella kuin keskustassa. Korkeiden paikkataajuuksien havaintoeroja painettuun testiin verrattuna voi myös selittää LCD-projektoreiden tekniset ominaisuudet, kuten gammakäyrän tasaisuus korkeammilla paikkataajuuksilla ja matalissa kontrastitasoissa. Tutkimustulosten eroavaisuus voi johtaa siihen, että LCD-projektoreilla mitattaessa kontrastiherkkyys voidaan tulkita alentuneeksi, vaikka Vistech VCTS 6500 -testitaululla saataisiin normaaliksi tulkittava arvo.

Tutkimus ei keskittynyt polarisoivien LCD-näköttestiprojektorien käytettävyyteen tavallisessa näöntarkastustilanteessa, vaan se perustui LCD-projektorien lisätestien luotettavuuden arviointiin. Käytimme kuitenkin tutkimukseen valittuja LCD-projektoreita paljon tutkimuksia tehdessämme, joten pääsimme samalla perehtymään laitteiden käytettävyyteen. Mielestämme LCD-projektorit sopisivat optikkoliikkeen näöntutkimusvälineeksi niiden helppokäyttöisyyden ja monipuolisuuden vuoksi. Tutkimuksemme ja aiempien tutkimusten perusteella uskoisimme värinäkötestien olevan toteutettavissa myös LCD-näytöillä riittävän luotettavasti ainakin karkeisiin seulontatarkoituksiin. Stereonäköttestit vaikuttavat toimivan molemmilla LCD-projektoreilla riittävän hyvin, kun halutaan esimerkiksi tutkia, onko asiakkaalla stereonäkökykyä ja arvioida suuntaa antavasti sen tasoa. Kontrastiherkkyiden mittaukset ovat myös toteutettavissa LCD-projektoreiden siniaallon taajuuksiin perustuvilla juovastotesteillä. LCD-projektoreiden juovastotestien tutkimustuloksille on määritetty omat normaaliarvot, jotka vastaavat painetun Vistech VCTS 6500 -testitaulun normaaliarvoja. Mikäli asiakkaan kontrastiherkkyys on selvästi normaaliarvojen rajoissa LCD-projektorilla tutkittaessa, on hänen kontrastiherkkyytensä riittävä täyttämään esimerkiksi ajoterveyden näkövaatimukset. Kontrastiherkkyysarvojen jäädessä normaaliarvojen alarajalle, niiden alle tai haluttaessa tehdä perusteellisempia kontrastiherkkyystutkimuksia, joissa tavoitteena on määrittää paras saavutettavissa oleva kontrastiherkkyysarvo, suosittelisimme kuitenkin tekemään kontrastiherkkyystestit painetuilla testitauluilla, sillä LCD-projektoreiden kontrastiherkkyystestien luotettavuudesta ei ole vielä tarpeeksi kattavaa näyttöä.

Huolimatta polarisoivilla LCD-näköttestiprojektoreilla toteutettujen tutkimusten ja niistä saatujen tulosten luotettavuuden arvioinnin rajallisuudesta, puoltaisimme LCD-projektorien sopivuutta tavalliseen näöntarkastuskäyttöön ja myös lisätutkimuksiin, kuten väri- ja stereonäön sekä kontrastiherkkyiden mittauksiin, näöntarkastuksissa. Kliinisisä tutkimuksissa, kun asiakkaan näkemiseen on todettu vaikuttavan silmäsairaus tai näkemiseen vaikuttava yleissairaus, pitäytyisimme vielä painetuissa testitauluissa,

kunnes saadaan laajempaa näyttöä polarisoivien LCD-projektoreiden testien luotettavuudesta. LCD-projektorit kuitenkin toimivat varteenotettavana kilpailijana ja vaihtoehtona painetuille testitauluille ja perinteisille projektoreille. Teknologia on kehittynyt nopeasti suhteellisen lyhyessä ajassa, mutta murrosta, jonka johdosta LCD-projektorit syrjäyttäisivät perinteiset testit, ei ole vielä tapahtunut. Teknologian jatkaessa kehittymistään on kuitenkin mahdollista, että LCD-projektorit yleistyvät optikkoliikkeissä näöntarkastusvälineinä ja lopulta korvaavat valtaosan painetuista testitauluista ja perinteisistä projektoreista.

### 9.3 Opinnäytetyöprosessi

Opinnäytetyön idea syntyi lehtori Juha Päälylsahon avulla syksyllä 2013. Pian tämän jälkeen opinnäytetyöprosessi käynnistettiin teoria- ja tutkimusosuuden suunnittelulla ja aikaisempiin tutkimuksiin perehtymisellä. Tutkimusvälineinä käytettävät LCD-näkötestiprojektorit toimitettiin Metropolia Ammattikorkeakoululle joulukuussa 2013, jolloin pääsimme tutustumaan niihin tarkemmin ja valitsemaan tutkimuksissa käytettävät testit. Opinnäytetyön tutkimukset aloitettiin joulukuun puolessa välissä ja tutkimuksia jatkettiin vielä tammikuussa 2014. Tutkimustuloksien analysointi aloitettiin helmikuussa.

Opinnäytetyöprosessi vahvisti ammattitietämystämme kaikilla tutkimuksen osa-alueilla. Opimme myös prosessityöskentelyn kaaren, joka ei välttämättä ole suunnitellun selkeälinjainen. Opinnäytetyöprosessi on usean henkilön varassa, ja on osattava asettautua eri osapuolien aseisiin ja nähdä asioita useassa valossa. Työnjako toimi sulavasti kummankin tutkijan osaamisalueita ja vahvuuksia kunnioittaen. Myös vastuun jakaminen onnistui erinomaisesti. Prosessityöskentelyssä huomasimme vuorovaikutteisten kommunikointitaitojen ja keskeneräisyyden kestämisen olevan ensiarvoisen tärkeää. Myös työskentelyä hidastaviin ja toimintatapoja muuttaviin seikkoihin on osattava suhtautua neutraalisti, eikä ottaa vastoinkäymisiä henkilökohtaisesti. Olemme tyytyväisiä työskentelyn onnistuneeseen kulkuun.

### 9.4 Tutkimuksen luotettavuus ja jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksissa käytettävät testivälineet pysyivät samoina kaikkien tutkittavien kohdalla ja tutkimuksissa vakioitiin muun muassa valaistus, testietäisyydet ja asiakkaan näön-

korjausväline. Vaikka testit tehtiin yhteistyössä ja vuorotellen, pyrittiin testit toteuttamaan ja tutkittavia opastamaan mahdollisimman samalla tavalla, jotta tutkimuksen luotettavuus säilyisi. Tutkimuksessa on otettu huomioon myös tutkimuksen eettisyys. Tutkittavat saivat osallistua tutkimukseen täysin anonyymeinä ja tutkimukset suoritettiin tutkittavan yksityisyyttä kunnioittaen. Tutkimus on toistettavissa, sillä tutkimusjärjestelyt on kuvattu tarkasti.

Tutkimukseen valikoituneen tutkimusjoukon pienuus vaikuttaa tutkimuksen luotettavuuteen. Jotta LCD-näkötestiprojektorien ja painettujen testitaulujen tutkimustuloksista ja niiden vertailukelpoisuudesta voisi tehdä tilastollisia johtopäätöksiä, tarvittaisiin jatko-tutkimuksia aiheeseen liittyen. Tämän opinnäytetyön tutkimustulokset antavat kuitenkin pohjaa aiheen syvällisempään tutkimiseen. Jatkotutkimusehdotuksena on tutkia väri- ja stereonäköä sekä kontrastiherkkyttä LCD-projektoreilla suuremmalla tutkimusjoukolla, jotta tutkimustuloksille saataisiin tilastollinen arvo. Erityisesti huomion voisi kiinnittää värinäön tutkimiseen, ja tutkimukset voisi suorittaa henkilöille, joilla on jo todettu punaviherheikkous. Tutkimuksia voisi suorittaa eri valmistajien laitteilla, jotta myös laitekoh-taisista eroista saataisiin lisää tietoa. LCD-projektoreiden käytettävyyttä voisi tutkia tekemällä käyttäjätutkimuksia, jossa optikot pääsisivät tekemään näöntarkastuksia ja muita näkemiseen liittyviä tutkimuksia LCD-projektorilla ja kertomaan kokemuksensa projektorin käytöstä.

## Lähteet

- Awad, Z. - Natt, R.S. - Pothier, D.D. 2007. Ishihara plates on your handheld computer. *Clinical Otolaryngology*. 32 (1). 58–59. Saatavana myös sähköisesti: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2273.2007.01327.x/abstract>>. Luettu 10.2.2014.
- Baker, Simon 2013. Panel Technologies. TFT Central. Päivitetty 10.12.2013. Verkko dokumentti. <[http://www.tftcentral.co.uk/articles/panel\\_technologies.htm](http://www.tftcentral.co.uk/articles/panel_technologies.htm)>. Luettu 21.3.2014.
- Balocco, Maurizio 2014 a. Cerchi e Linee Stereo D6/D8 View ½. 5-Screenshot\_D6D8\_1.png.
- Balocco, Maurizio 2014 b. Sensibilità Contrasto. 4-Screenshot\_SENSCONTR.png.
- Birch, Jennifer 1993. *Diagnosis of Defective Colour Vision*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Cooper, Jeffrey 1991. Stereopsis. Teoksessa Eskridge, J. Boyd - Amos, John F. - Bartlett, Jimmy D. 1991. *Clinical Procedures in Optometry*. Pennsylvania: J. B. Lippincott Company.
- Daum, Kent M. – McCormack, Glen L. 2006. Fusion and Binocularity. Teoksessa Benjamin William J. (toim.): *Borish's Clinical Refraction*. 2. painos. St. Louis, Missouri: Butterworth-Heinemann Elsevier. 145–191.
- DMD Med Tech s.r.l. n.d. a. POLA VistaVision. Verkkodokumentti. <[http://www.dmdmedtech.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=47&Itemid=61](http://www.dmdmedtech.it/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=61)>. Luettu 18.3.2014.
- DMD Med Tech s.r.l. n.d. b. Vista Vision comprehensive user manual. Käyttöohje.
- DragoArt 2006. How to Draw Cartoon Eyes Step 4. Verkkodokumentti. <[http://imgs.steps.dragoart.com/how-to-draw-cartoon-eyes-step-4\\_1\\_000000011137\\_5.jpg](http://imgs.steps.dragoart.com/how-to-draw-cartoon-eyes-step-4_1_000000011137_5.jpg)>. Luettu 8.11.2013.
- Elliott, David B. 2006. Contrast Sensitivity and Glare Testing. Teoksessa Benjamin William J. (toim.): *Borish's Clinical Refraction*. 2. painos. St. Louis, Missouri: Butterworth-Heinemann Elsevier. 247–288.
- Erkkilä, Heikki 2011. Karsastus. Teoksessa Saari, K. M. (toim.): *Silmätautioppi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 307–329.
- Fuchberger Hermann 1989. Method of correcting color saturation in electronic image processing. US 07/085,977. Patentoitu Yhdysvalloissa 16.5.1989.
- Fujitsu Microelectronics America, Inc 2006. Fundamentals of Liquid Crystal Displays – How They Work and What They Do. 3–4. Verkkodokumentti. <[http://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fma/pdf/LCD\\_Backgrounder.pdf](http://www.fujitsu.com/downloads/MICRO/fma/pdf/LCD_Backgrounder.pdf)>. Luettu 24.2.2014.
- Grosvenor, Theodore 2007. *Primary Care Optometry*. 5. painos. St. Louis Missouri: Butterworth-Heinemann Elsevier.

Grosvenor, Theodore. Pacific University Oregon. The Aging Eye: Problems That Affect Acuity and Contrast Sensitivity. The Vistech chart. Verkkodokumentti <<http://www.pacificu.edu/optometry/ce/courses/16554/images/Fig13Rev.jpg>>. Luettu 3.2.2014.

Heikkilä, Tarja 2004. Tilastollinen tutkimus. 5. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Hämäläinen, Pertti 2009. Paneeli tekee näytön. Tietokone 11. 55–57.

Iogen 2011. Polarisoiva näöntutkimustaulu – TCP-2000P. Päivitetty 2011. Verkkodokumentti. <[http://iogen.fi/files/2013/05/Tomey\\_TCP-2000P\\_web\\_2013.jpg](http://iogen.fi/files/2013/05/Tomey_TCP-2000P_web_2013.jpg)>. Luettu 27.1.2014.

Iogen n.d. a. Optotyypinäyttö – TCP-2000. Verkkodokumentti. <<http://iogen.fi/tuotteet/tcp-2000-optotyypinaytto/>>. Luettu 3.3.2014.

Iogen n.d. b. Tomey Technology and Vision. 23" polarisoiva E-aulunäyttö TCP-2000P. Käyttöohje.

Iogen n.d. c. Tomey Technology and Vision. E-aulunäyttö TCP-2000A käyttöohjeet kontrastisensitiivisyys testit. Ohjelmistoversio: 3.0.1. Käyttöohje.

Ishihara n.d., Shinobu. The Series of Plates Designed as a Test for Colour-Deficiency. 24 Plates Edition. Tokyo: Kanehara trading Inc. Ohjekirja.

Juurinen, Timo 2014. Myynti. Optiikka Juurinen Oy. Sähköpostikeskustelu 4.3.2014.

Kangastupa, Timo 2014. Myyntipäällikkö. Iogen Oy. Sähköpostikeskustelu. 3.3.2014.

Keränen, Vesa - Lamberg, Niko - Penttinen, Jukka 2003. Digitaalinen viestintä. Jyväskylä: Docendo. 75.

Kim, Youn Jin - Kim, Hong-suk 2010. Spatial Luminance Contrast Sensitivity: Effects of Surround. Journal of the Optical Society of Korea. 14 (2). Saatavana myös sähköisesti: <<http://www.opticsinfobase.org/josk/abstract.cfm?uri=josk-14-2-152>>. 152–162.

Korja, Taru 2008. Silmälasien määrääminen. Kirjapaino Keili Oy.

KvantiMOTV 2003. Hypoteesien testaus. Verkkodokumentti. <<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/hypoteesi/testaus.html>>. Luettu 17.2.2014.

LamppuExpress n.d. Suureita ja yksiköitä. Verkkodokumentti. <<http://www.lamppu-express.com/merkinnat>>. Luettu 5.5.2014.

Lee, Po-Ming - Chen, Hung-Yi 2005. Adjustable Gamma Correction Circuit for TFT LCD. Southern Taiwan University of Technology. 1. Saatavana myös sähköisesti: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1464704>>. 780–783.

Metsämuuronen, Jari 2004. Pienten aineistojen analyysi. Parametrittomien menetelmien perusteet ihmistieteissä. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Mäkitie, Jukka 1990. Näön tutkiminen työelämässä. Teoksessa Mäkitie, Jukka - Hoikkala, Matti (toim.): Työ ja näkeminen; Ergofoamologia. Helsinki: Yliopistopaino. 37–61.

Oetjen, Sophie - Ziefle, Martina 2007. The Effects of LCD Anisotropy on the Visual Performance of Users of Different Ages. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 49 (4). 619–627. Saatavana myös sähköisesti: <<http://intl-hfs.sagepub.com/content/49/4/619.refs?patientinform-links=yes&legid=sphfs;49/4/619>>. Luettu 17.3.2014.

Ohzawa, Izumi. Make your own Campbell-Robson Contrast Sensitivity Chart. Verkko dokumentti. <<http://neurovision.berkeley.edu/Demonstrations/VSOC/izumi/CSF/CSFchart640x480.gif>>. Luettu 3.2.2014.

Optiikka Juurinen Oy a. Ishihara 24 sivun väritestikirja. Verkkodokumentti. <[http://www.optiikkajuurinen.fi/images/1ishihara\\_0803\\_029.jpg](http://www.optiikkajuurinen.fi/images/1ishihara_0803_029.jpg)>. Luettu 10.12.2013.

Optiikka Juurinen Oy b. Oculus 50940 Kärpänen stereonäkökirja. Verkkodokumentti. <[http://www.optiikkajuurinen.fi/images/karpanen\\_1311\\_0ca.jpg](http://www.optiikkajuurinen.fi/images/karpanen_1311_0ca.jpg)>. Luettu 10.12.2013.

Optiikka Juurinen Oy c. VV-Pola LCD näkötestiprojektori 22". Verkkodokumentti. <[http://www.optiikkajuurinen.fi/product\\_details.php?p=1863](http://www.optiikkajuurinen.fi/product_details.php?p=1863)>. Luettu 27.1.2014.

Pardo, P. J. - Pérez, A. L. - Suero, M. I. 2004. Validity of TFT-LCD displays for colour vision deficiency research and diagnosis. 25 (4). *Espanja: Elsevier*. 159–163. Saatavana myös sähköisesti: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938204000691>>. Luettu 4.3.2014.

Patorgis, Charles J. 1991. Contrast Sensitivity. Teoksessa Eskridge, J. Boyd - Amos, John F. - Bartlett, Jimmy D. 1991. *Clinical Procedures in Optometry*. Pennsylvania: J. B. Lippincott Company.

Pease, Paul L. 2006. Color Vision. Teoksessa Benjamin William J. (toim.): *Borish's Clinical Refraction*. 2. painos. St. Louis, Missouri: Butterworth-Heinemann Elsevier. 289–355.

Saari, K. M. 2011. Peruskäsitteitä valo-opista ja valon merkityksestä näkötahtumassa. Teoksessa Saari, K. M. (toim.): *Silmätautioppi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 37–47.

Saari, K. M. - Mäntyjärvi, Maija - Summanen, Paula - Nummelin, Kari 2011. Silmän tutkiminen. Teoksessa Saari, K. M. (toim.): *Silmätautioppi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 49–88.

Saladin, J. James 2006. Phorometry and Stereopsis. Teoksessa Benjamin William J. (toim.): *Borish's Clinical Refraction*. 2. painos. St. Louis, Missouri: Butterworth-Heinemann Elsevier. 899–960.

Schwartz, Steven H. 2010. Visual Perception. A clinical orientation. 4. painos. Kiina: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ajoterveystestistä 1181/2011. Annettu Helsingissä 25.11.2011.

Stereo Optical Company 1994. Stereo Fly Test. U.S.A.: Stereo Optical Co., Inc. Ohjekirja.

Thayaparan, Kavitha - Crossland, Michael D. - Rubin, Gary S. 2006. Clinical assessment of two new contrast sensitivity charts. *British Journal of Ophthalmology*. 91 (6).

749–752. Saatavana myös sähköisesti:<[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/ 17166891](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17166891)>. Luettu 8.2.2014.

To, Long - Woods, Russell L. - Goldstein, Robert B. - Peli, Eli 2013: Psychophysical contrast calibration. *Vision Research*. 90 (9) Elsevier. Saatavana myös sähköisesti: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2013.04.011>>. 15–24.

Vilis, Tutis 1999. Color. Lecture 1 The Eye. Verkkodokumentti. Päivitetty 2013. <<http://www.tutis.ca/Senses/L1Eye/L1eye.swf>>. Luettu 20.3.2014.

Vilis, Tutis 2011. Neurophysiology for Medicine. The Eye. Verkkodokumentti. Päivitetty 19.3.2013. <<http://www.tutis.ca/NeuroMD/L1Eye/Eye.pdf>>. Luettu 31.1.2014.

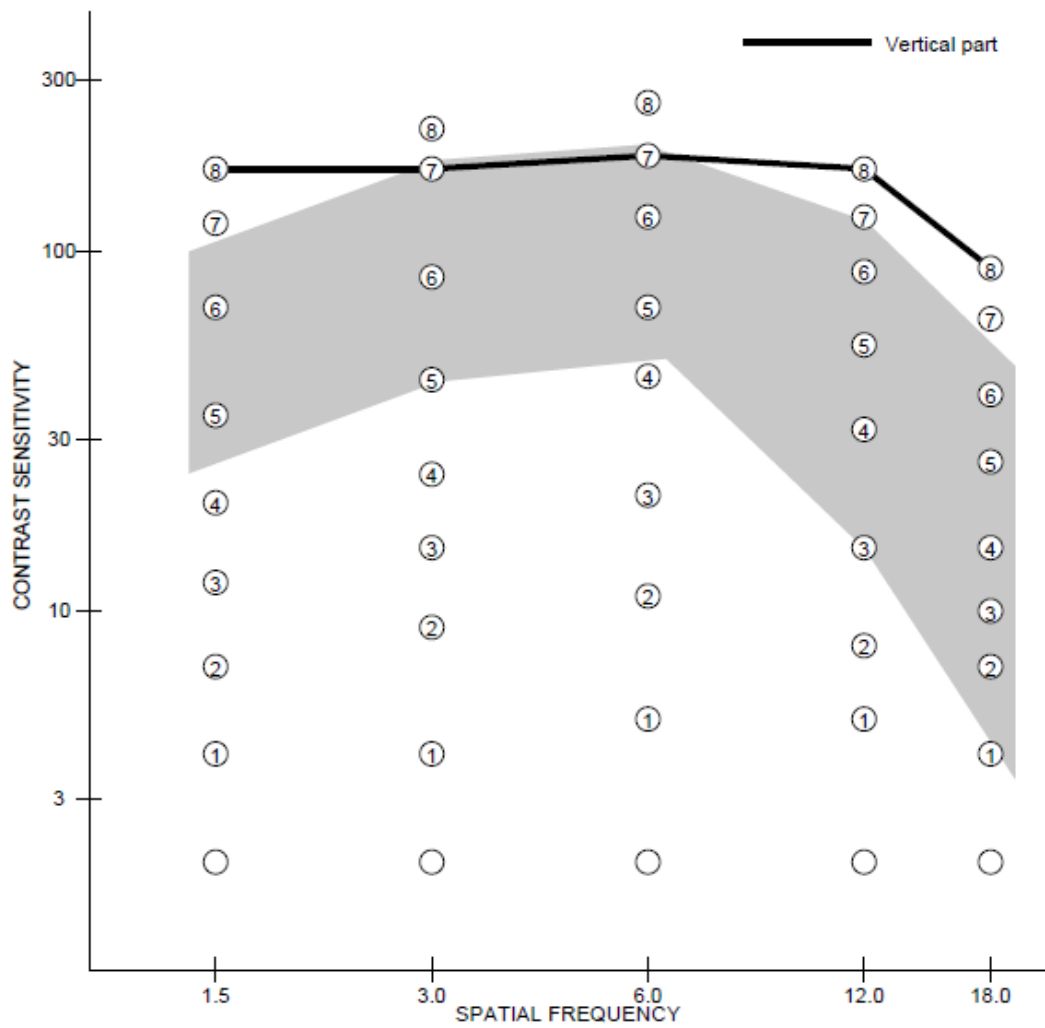
Vistech Consultants n.d. Contrast Sensitivity Value key. Chart Configuration A. Ohjekirja.

YOO, Byoung Seok - Jeon, Jae-Gwan - Jun, Bong-Ju 2011. Method for correcting a defect pixel. US20120257825 A1. Patentoitu Yhdysvalloissa 6.4.2011.

### Raportti Tomey TCP-2000P -projektorin kontrastiherkkyytestistä

## CHART PANEL REPORT

Patient: 29  
Date: 2014-01-23 18:19:56  
Visus scale type : decimal  
**CONTRAST SENSITIVITY TEST**  
Eye tested: BOTH



Answers Vertical: A=8, B=7, C=7, D=8, E=8  
Screen distance: 3.0 [m]

Signature: .....

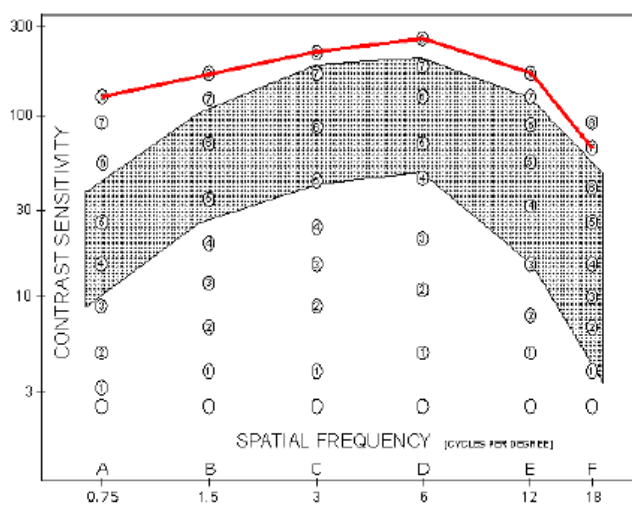
## Raportti POLA VistaVision -projektorin kontrastiherkkyydestistä

### VistaVision

Name:	29	Date/Time:	23/01/2014 16:52:08
Birth date:	_____	ID:	24
Sex:	_____	Visual acuity:	_____

### Contrast Sensitivity Test

**Kontrastiherkkyydetasot [CS]:** A=130, B=170, C=220, D=260, E=170, F=65.



**Saatekirje**

11.12.2013

Hei!

Tämä saatekirje koskee vertailevaa tutkimustamme perinteisten, painettujen näkötestien sekä uusien LCD-näkötestiprojektoreiden välillä. Tutkimus suoritetaan opinnäytetyönä Metropolia Ammattikorkeakoulussa optometrian koulutusohjelmassa. Tutkimuksessa käytämme Iogen Oy:n Tomey TCP-2000P Chart Panel 23" polarisoivaa E-taulunäyttöä ja Optiikka Juurinen Oy:n POLA VistaVision 22" LCD-näkötestiprojektorista sekä painettuja testitauluja. Tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa tietoa optometrisille perinteisten ja uusien testitaulujen tulosten vertailukelpoisuudesta.

Tutkimus koostuu teoriaosuudesta ja koeryhmän tutkimustulosten analysoinnista.

Kaikki tutkimuksessa kerättävät tiedot käsitellään luottamuksellisesti ja niitä käytetään vain tutkimustarkoituksessa.

Kiitos osallistumisestanne!

Mikäli teillä on jotakin kysyttävää liittyen tutkimukseen, älkää epäröikö ottaa yhteyttä.

Johanna Reijonen  
045 xxx xxxx  
johanna.reijonen@metropolia.fi

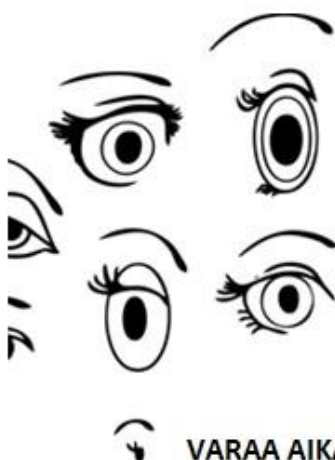
Anna Sivonen  
040 xxx xxxx  
anna-tuulia.sivonen@metropolia.fi

Metropolia PL 4000  
Ammattikorkeakoulu 00079 Metropolia

Bulevardi 31 Puhelin www.metropolia.fi  
00180 Helsinki 09 742 450 00 Y-tunnus: 2094551-1

Kutsu tutkimuksiin

# NÄETKÖ HYVIN KONTRASTIT? MILLAINEN ON VÄRINÄKÖSI?



**TUTKIMME**

**16.12.2013**

**18.12.2013**

**16.1.2014**

**20.1.2014**

**23.1.2014**



**VARAA AIKA TUTKIMUKSEEN TUUBIN DOODLE-LINKISTÄ**

- ◆ TUTKIMUSPAIKKA: Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Mannerheimintie 172, 00300 HELSINKI
- ◆ Näöntarkastusluokka 2056 1.krs. hissien takana
- ◆ Jos käytät SILMÄLASEJA, ota ne mukaasi!
- ◆ Otathan myös mukaan vanhat lasitietosi
- ◆ Linkki ajanvaraukseen: <http://doodle.com/nxymwceag9mmn33e>
- ◆ Teemme näönseulonnan perinteisillä ja uudenaikaisilla menetelmillä  
opinnäytetyötämme varten
- ◆ Tutkimme kontrastiherkkyden sekä väri- ja stereonäön
- ◆ Tutkimus on maksuton ja kestää noin 30 min
- ◆ Tarjoamme tietoa näkemisestäsi, vaikka et käyttäisikään silmälaseja
- ◆ Ohjaamme tarvittaessa jatkotutkimuksiin

**TERVETULOA!**

Optometrian opiskelijat: Johanna Reijonen ja Anna Sivonen  
Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Lisätietoja: [johanna.reijonen@metropolia.fi](mailto:johanna.reijonen@metropolia.fi)  
[anna-tuulia.sivonen@metropolia.fi](mailto:anna-tuulia.sivonen@metropolia.fi)



### SPSS Wilcoxon Signed Ranks Test

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5 - Vistech VCTS-6500 A1,5	Negative Ranks	2 <sup>a</sup>	11,25	22,50
	Positive Ranks	23 <sup>b</sup>	13,15	302,50
	Ties	2 <sup>c</sup>		
	Total	27		
Vistech POLA-VV A1,5 - Vistech VCTS-6500 A1,5	Negative Ranks	1 <sup>d</sup>	9,00	9,00
	Positive Ranks	26 <sup>e</sup>	14,19	369,00
	Ties	3 <sup>f</sup>		
	Total	30		
Vistech POLA-VV A1,5 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5	Negative Ranks	8 <sup>g</sup>	4,50	36,00
	Positive Ranks	1 <sup>h</sup>	9,00	9,00
	Ties	18 <sup>i</sup>		
	Total	27		

a. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5 < Vistech VCTS-6500 A1,5

b. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5 > Vistech VCTS-6500 A1,5

c. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5 = Vistech VCTS-6500 A1,5

d. Vistech POLA-VV A1,5 < Vistech VCTS-6500 A1,5

e. Vistech POLA-VV A1,5 > Vistech VCTS-6500 A1,5

f. Vistech POLA-VV A1,5 = Vistech VCTS-6500 A1,5

g. Vistech POLA-VV A1,5 < Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5

h. Vistech POLA-VV A1,5 > Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5

i. Vistech POLA-VV A1,5 = Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5

	Vistech Tomey TCP- 2000P Chart Panel A1,5 - Vistech VCTS- 6500 A1,5	Vistech POLA-VV A1,5 - Vistech VCTS-6500 A1,5	Vistech POLA-VV A1,5 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel A1,5
Z	-3,911 <sup>b</sup>	-4,486 <sup>b</sup>	-1,732 <sup>c</sup>
Asymp. Sig. (2- tailed)	,000	,000	,083

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

c. Based on positive ranks.

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0 - Vistech VCTS-6500 B3,0	Negative Ranks	4 <sup>a</sup>	6,00	24,00
	Positive Ranks	8 <sup>b</sup>	6,75	54,00
	Ties	15 <sup>c</sup>		
	Total	27		
Vistech POLA-VV B3,0 - Vistech VCTS-6500 B3,0	Negative Ranks	0 <sup>d</sup>	,00	,00
	Positive Ranks	22 <sup>e</sup>	11,50	253,00
	Ties	8 <sup>f</sup>		
	Total	30		
Vistech POLA-VV B3,0 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0	Negative Ranks	1 <sup>g</sup>	19,00	19,00
	Positive Ranks	18 <sup>h</sup>	9,50	171,00
	Ties	8 <sup>i</sup>		
	Total	27		

- a. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0 < Vistech VCTS-6500 B3,0
- b. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0 > Vistech VCTS-6500 B3,0
- c. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0 = Vistech VCTS-6500 B3,0
- d. Vistech POLA-VV B3,0 < Vistech VCTS-6500 B3,0
- e. Vistech POLA-VV B3,0 > Vistech VCTS-6500 B3,0
- f. Vistech POLA-VV B3,0 = Vistech VCTS-6500 B3,0
- g. Vistech POLA-VV B3,0 < Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0
- h. Vistech POLA-VV B3,0 > Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0
- i. Vistech POLA-VV B3,0 = Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0

	Vistech Tomey TCP- 2000P Chart Panel B3,0 - Vistech VCTS- 6500 B3,0	Vistech POLA-VV B3,0 - Vistech VCTS-6500 B3,0	Vistech POLA-VV B3,0 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel B3,0
Z	-1,291 <sup>b</sup>	-4,456 <sup>b</sup>	-3,411 <sup>b</sup>
Asymp. Sig. (2- tailed)	,197	,000	,001

- a. Wilcoxon Signed Ranks Test
- b. Based on negative ranks.

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0 - Vistech VCTS-6500 C6,0	Negative Ranks	5 <sup>a</sup>	6,00	30,00
	Positive Ranks	7 <sup>b</sup>	6,86	48,00
	Ties	15 <sup>c</sup>		
	Total	27		
Vistech POLA-VV C6,0 - Vistech VCTS-6500 C6,0	Negative Ranks	9 <sup>d</sup>	9,39	84,50
	Positive Ranks	8 <sup>e</sup>	8,56	68,50
	Ties	13 <sup>f</sup>		
	Total	30		
Vistech POLA-VV C6,0 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0	Negative Ranks	10 <sup>g</sup>	12,00	120,00
	Positive Ranks	10 <sup>h</sup>	9,00	90,00
	Ties	7 <sup>i</sup>		
	Total	27		

- a. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0 < Vistech VCTS-6500 C6,0
- b. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0 > Vistech VCTS-6500 C6,0
- c. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0 = Vistech VCTS-6500 C6,0
- d. Vistech POLA-VV C6,0 < Vistech VCTS-6500 C6,0
- e. Vistech POLA-VV C6,0 > Vistech VCTS-6500 C6,0
- f. Vistech POLA-VV C6,0 = Vistech VCTS-6500 C6,0
- g. Vistech POLA-VV C6,0 < Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0
- h. Vistech POLA-VV C6,0 > Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0
- i. Vistech POLA-VV C6,0 = Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0

	Vistech Tomey TCP- 2000P Chart Panel C6,0 - Vistech VCTS- 6500 C6,0	Vistech POLA-VV C6,0 - Vistech VCTS- 6500 C6,0	Vistech POLA-VV C6,0 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel C6,0
Z	-,775 <sup>b</sup>	-,406 <sup>c</sup>	-,605 <sup>c</sup>
Asymp. Sig. (2- tailed)	,439	,685	,545

- a. Wilcoxon Signed Ranks Test
- b. Based on negative ranks.
- c. Based on positive ranks.

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0 - Vistech VCTS-6500 D12,0	Negative Ranks	4 <sup>a</sup>	7,63	30,50
	Positive Ranks	10 <sup>b</sup>	7,45	74,50
	Ties	13 <sup>c</sup>		
	Total	27		
Vistech POLA-VV D12,0 - Vistech VCTS-6500 D12,0	Negative Ranks	17 <sup>d</sup>	12,97	220,50
	Positive Ranks	5 <sup>e</sup>	6,50	32,50
	Ties	8 <sup>f</sup>		
	Total	30		
Vistech POLA-VV D12,0 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0	Negative Ranks	17 <sup>g</sup>	10,47	178,00
	Positive Ranks	2 <sup>h</sup>	6,00	12,00
	Ties	8 <sup>i</sup>		
	Total	27		

a. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0 < Vistech VCTS-6500 D12,0

b. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0 > Vistech VCTS-6500 D12,0

c. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0 = Vistech VCTS-6500 D12,0

d. Vistech POLA-VV D12,0 < Vistech VCTS-6500 D12,0

e. Vistech POLA-VV D12,0 > Vistech VCTS-6500 D12,0

f. Vistech POLA-VV D12,0 = Vistech VCTS-6500 D12,0

g. Vistech POLA-VV D12,0 < Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0

h. Vistech POLA-VV D12,0 > Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0

i. Vistech POLA-VV D12,0 = Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0

	Vistech Tomey TCP- 2000P Chart Panel D12,0 - Vistech VCTS-6500 D12,0	Vistech POLA-VV D12,0 - Vistech VCTS-6500 D12,0	Vistech POLA-VV D12,0 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel D12,0
Z	-1,463 <sup>b</sup>	-3,123 <sup>c</sup>	-3,425 <sup>c</sup>
Asymp. Sig. (2- tailed)	,143	,002	,001

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

c. Based on positive ranks.

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0 - Vistech VCTS-6500 E18,0	Negative Ranks	12 <sup>a</sup>	10,63	127,50
	Positive Ranks	9 <sup>b</sup>	11,50	103,50
	Ties	6 <sup>c</sup>		
	Total	27		
Vistech POLA-VV E18,0 - Vistech VCTS-6500 E18,0	Negative Ranks	25 <sup>d</sup>	13,86	346,50
	Positive Ranks	1 <sup>e</sup>	4,50	4,50
	Ties	4 <sup>f</sup>		
	Total	30		
Vistech POLA-VV E18,0 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0	Negative Ranks	23 <sup>g</sup>	13,61	313,00
	Positive Ranks	2 <sup>h</sup>	6,00	12,00
	Ties	2 <sup>i</sup>		
	Total	27		

- a. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0 < Vistech VCTS-6500 E18,0
- b. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0 > Vistech VCTS-6500 E18,0
- c. Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0 = Vistech VCTS-6500 E18,0
- d. Vistech POLA-VV E18,0 < Vistech VCTS-6500 E18,0
- e. Vistech POLA-VV E18,0 > Vistech VCTS-6500 E18,0
- f. Vistech POLA-VV E18,0 = Vistech VCTS-6500 E18,0
- g. Vistech POLA-VV E18,0 < Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0
- h. Vistech POLA-VV E18,0 > Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0
- i. Vistech POLA-VV E18,0 = Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0

	Vistech Tomey TCP- 2000P Chart Panel E18,0 - Vistech VCTS- 6500 E18,0	Vistech POLA-VV E18,0 - Vistech VCTS- 6500 E18,0	Vistech POLA-VV E18,0 - Vistech Tomey TCP-2000P Chart Panel E18,0
Z	-,436 <sup>b</sup>	-4,373 <sup>b</sup>	-4,104 <sup>b</sup>
Asymp. Sig. (2- tailed)	,663	,000	,000

- a. Wilcoxon Signed Ranks Test
- b. Based on positive ranks.