

Annika Buller ja Monica Salo

# Linsseillä väriä elämään

Tutkimus linseistä punaviherheikkouden avuksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Optometrismi (AMK)

Optometria

Opinnäytetyö

31.10.2016

Tekijät Otsikko  Sivumäärä Aika	Annika Buller, Monica Salo Linssellä väriä elämään - Tutkimus linssleistä punaviherheikkouden avuksi 47 sivua + 1 liite 31.10.2016
Tutkinto	Optometrismi (AMK)
Koulutusohjelma	Optometria
Suuntautumisvaihtoehto	Optometria
Ohjaajat	Yliopettaja Kaarina Pirilä Lehtori Niina Gould
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen värillisten linssien vaikutuksia. Työn tarkoituksena oli myös lisätä tietoisuutta linssleistä ja madaltaa kynnystä niiden kokeilemiseen. Opinnäytetyön yhteistyökumppanina toimi Optiikka Juurinen Oy.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kvalitatiivisen eli laadullisen tutkimuksen periaatteita noudattaen, joka vastasi työn tarkoitusta parhaiten. Opinnäytetyön alussa on teoriaosuus, jossa käsitellään värin näkemistä ja värinäön heikkouksia yleisesti. Lisäksi teoriaosuudessa käydään läpi ne värinäkötestit, jotka valittiin tutkimukseen. Teoriaosuus on kirjoitettu siten, että se tukee tulosten analysointia. Linssien vaikutuksia tarkasteltiin värinäkötestien sekä tutkittavien subjektiivisten kokemusten avulla. Värinäkötestit tehtiin ensin ilman linsejä ja sen jälkeen linssien kanssa. Saatuja tuloksia verrattiin keskenään ja näiden perusteella arvioitiin linssien mahdollisia vaikutuksia.</p> <p>Tulokset osoittivat, että linssleistä oli apua punaviherheikkoisille henkilöille. Tiettyjen testien tuloksissa oli havaittavissa yhteneväisyyksiä eri tutkittavien välillä. Kuitenkaan kaikki tutkittavat eivät kokeneet linssien vaikutuksia samanlaisina.</p> <p>Tutkimusjoukko koostui viidestä tutkittavasta. Pienen otannan vuoksi tutkimustuloksia ei voi yleistää. Johtopäätöksenä voidaan kuitenkin todeta, että linssleistä saatava hyöty on hyvin yksilöllistä. Osa tutkittavista koki linssien vaikutukset voimakkaammin kuin toiset. Koetut vaikutukset liittyivät vahvasti värinäön heikkouden vahvuuteen. Kyseisiä linsejä ei ole testattu Suomessa aiemmin, joten opinnäytetyö oli ajankohtainen ja siitä saadut tulokset toivat tarpeellista informaatiota.</p>	
Avainsanat	punaviherheikkous, värilliset linssit, värinäön heikkous

Authors Title	Annika Buller, Monica Salo Colourful Life With Lenses
Number of Pages Date	47 pages + 1 appendix Autumn 2016
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Optometry
Specialisation option	Optometry
Instructors	Kaarina Pirilä, Principal Lecturer Niina Gould, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's Thesis was to study the effects of tinted lenses which are made for red-green deficiency. The aim was to compare the results of colour vision tests without the lenses and with the lenses. Moreover, this study was made to add awareness about these lenses. In this study the cooperation partner was Optiikka Juurinen Oy.</p> <p>This study was made by using qualitative method which was chosen because that was the most proper way to carry out this study. This Bachelor's Thesis consists of theory and the study. In the theory section there is knowledge of normal colour vision and colour vision deficiencies. The colour vision tests were also introduced in the theory section. The effects of the lenses were discovered by taking the colour vision tests first without the lenses and after that with the lenses. The subjective experiences with the lenses were also taken into account. The results without lenses were compared to the results with the lenses.</p> <p>The results from the study showed that test results with the lenses were mostly better than without the lenses. In some tests the results were identical between all examinees. However, some examinees did not have similar experiences of the effects of the lenses.</p> <p>There were only five examinees in this study. Therefore, the results should not be generalized. However, the results lead to the conclusion that the examinees in this study got advantage of the lenses. The advantage of the lenses was connected to the intensity of the red-green deficiency.</p>	
Keywords	red-green deficiency, tinted lenses, color vision deficiency

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Normaali värinäkö	3
3	Värinäön heikkous	5
3.1	Dikromaattinen värinäön heikkous	5
3.2	Poikkeava trikromaattinen värinäön heikkous	6
3.3	Punaviherheikkous	6
3.3.1	Punaheikkous	7
3.3.2	Viherheikkous	8
3.4	Sinikeltaheikkous	10
3.5	Monokromaattinen värisokeus eli akromatopsia	10
4	Värinäön heikkouden esiintyvyys	12
4.1	Värinäön heikkouden perinnöllisyys	12
4.1.1	Synnyynnäinen eli periytyvä värinäön heikkous	12
4.2	Hankittu värinäön heikkous	14
5	Värinäköttestit	15
5.1	H.R.R. Pseudoisokromaattinen värinäkötesti	15
5.2	Ishihara värinäkötesti	16
5.3	Farnsworth-Munsell 100-Hue Test	17
5.4	Lanthony's desaturated D-15 test	17
6	Tutkimus	19
6.1	Tutkimuksen kulku	19
6.1.1	Kliiniset värinäköttestit	20
6.1.2	Toiminnallinen värinäkö	21
6.2	Tutkimustulokset	21
6.2.1	Tutkittava 1	22
6.2.2	Tutkittava 2	26
6.2.3	Tutkittava 3	30
6.2.4	Tutkittava 4	33
6.2.5	Tutkittava 5	37
7	Johtopäätökset ja pohdinta	41

Liitteet

Liite 1. Farnsworth-Munsell 100-Hue -testin tulokuvaajat

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui tutkimus punaviherheikkouden avuksi tarkoitetuista linseistä. Tutkimuksessa haluttiin selvittää kuinka linssit vaikuttavat värinäköttestien tuloksiin sekä kuinka tutkittavat kokevat linssit subjektiivisesti. Punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen linssien valmistus on melko uusi innovaatio, eikä Suomessa ole tehty tällaista tutkimusta aikaisemmin. Punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen linssien valmistus saatiin koekäyttöön yhteistyökumppani Optiikka Juurinen Oy:n kautta. Linssit ovat italialaisen linssivalmistajan SwedOptikin valmistamat. Tutkimuksessa käytettiin koekehyksiin hiottuja testilinssejä. Linssijä oli kolmenlaisia ja ne erosivat toisistaan värisävyiltään.

Idea opinnäytetyöhön tuli syksyllä 2015, kun työelämästä ehdotettiin aihetta. Linseistä ei silloin vielä ollut Suomessa juurikaan tietoa ja aiheesta haluttiin tietää enemmän. Linssit saatiin koekäyttöön syksyllä 2016, jolloin tutkimukset ja tulosten analysoinnit tehtiin.

Värinäön heikkoudella voi olla merkittävä vaikutus arkisessa elämässä. Värien avulla luodaan koodeja ja tulkitaan maailmaa samalla tavalla kielestä riippumatta. Yleisesti punaista väriä pidetään merkinä vaarasta tai kehotuksesta pysähtyä. Keltainen väri varoittaa jostain ja vihreä väri kertoo, että jokin on turvallista tai sallittua. (Birch 1998: 2.) Jos nämä ympäröivän maailman värikoodit jäävät värinäön heikkoudesta johtuen havaitsematta, voi se johtaa kiusallisiin tai vaarallisiin tilanteisiin. Värinäön heikkous voi myös haitata joitakin harrastuksia tai olla jopa esteenä tiettyihin työtehtäviin pääsemisessä. Siksi olisikin tärkeää pystyä tarjoamaan apukeinoja henkilöille, jotka kokevat värinäön heikkouden haitallisena.

Opinnäytetyön alussa on teoriaosuus väriheikkoudesta sekä tutkimuksessa käytetyistä värinäköttesteistä. Teoriaosuus on rajattu niin, että se tukee tutkimusta. Värinäköttestien teoriaosuudessa on tietoa vain niistä testeistä, joita käytettiin tutkimuksissa. Tutkimusosuudessa käydään läpi tutkimustuloksia ja analysoidaan tuloksia ilman linssejä ja linsien kanssa. Opinnäytetyön aihe on tutkimus linseistä ja niiden vaikutuksesta, joten teoriaosuus kattaa vain oleelliset asiat tutkimukseen liittyen.

Opinnäytetyö on kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Tutkittavia oli viisi, joten tuloksia ei tulisi yleistää, koska otanta tutkimukseen oli melko pieni. Tutkimusmenetelmäksi valittiin laadullinen tutkimus, koska se vastasi parhaiten tutkimuskysymystä. Tässä opinnäytetyössä koettiin tärkeämmäksi jokaisen erillisen tutkimuksen laajuus kuin otannan suuruus. Tarkoituksena oli tehdä mahdollisimman laaja tutkimus (useita värinäkötestejä) jokaiselle tutkittavalle.

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tyypillinen kohdejoukko valitaan jokaiseen tutkimukseen tarkoituksenmukaisesti. Kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus voidaan toteuttaa monella tapaa. Tässä tutkimuksessa tutkittavilta kerättiin tietoa luonnollisissa tilanteissa värinäön testauksen ja keskustelujen avulla. Tutkittavan omia kokemuksia tutkimuksen aikana pidetään tärkeinä kvalitatiivisessa tutkimuksessa. (Hirsjärvi - Remes - Sajavaara 2004: 155)

## 2 Normaali värinäkö

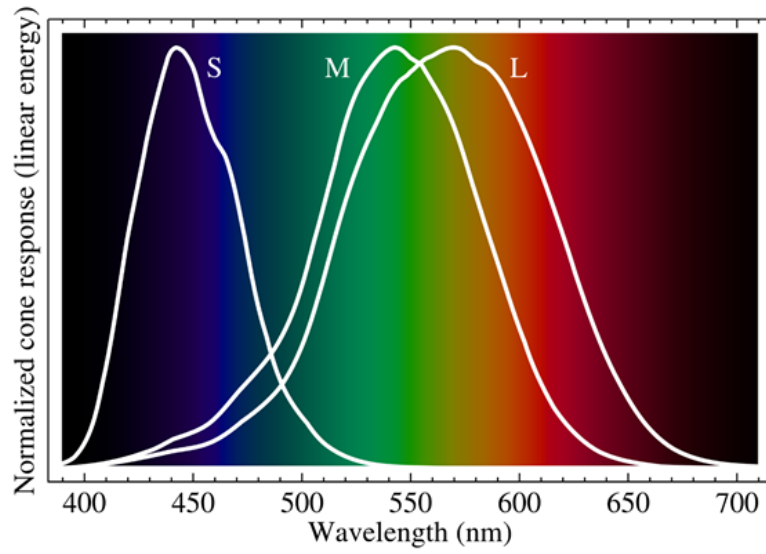
Normaalissa trikromaattisessa värinäössä värien näkeminen tapahtuu kolmen päävärin ansiosta. Kolme pääväriä ovat sininen, vihreä ja punainen. Näiden kolmen päävärin ansiosta pystytään erottelemaan kaikki spektrin värit ja värisävyt. (Pease 1998: 244.) Värien näkeminen ja erottaminen onnistuu parhaiten kirkkaassa valaistuksessa, koska silloin tappisolut toimivat parhaiten. Hämärään tai pimeään valaistukseen mentäessä sauvasolut aktivoituvat. Sauvasolut erottavat vain valon eri voimakkuuksia, joten värien erottaminen hankaloituu. (Saarelma 2016)

Silmän verkkokalvolla on kahdenlaisia fotoreseptoreita, tappi- ja sauvasoluja, jotka eroavat toisistaan anatomisesti (Birch 1998: 19). Tappisoluja on kolmenlaisia ja nämä kolme tappisolutyyppeä eroavat toisistaan siten, että ne sisältävät erilaista fotopigmenttiä. Sauvasolut sen sijaan sisältävät vain yhdenlaista fotopigmenttiä. (Purves – Augustine - Fitzpatrick 2001.) Tappisolut sijaitsevat suurimmaksi osaksi silmän verkkokalvolla tarkannäkemisen alueella (fovealla). Fovean alueella ei ole ollenkaan sauvasoluja. Tappisolut aktivoituvat päivänvalossa, kun sauvasolut toimivat pimeässä. (Birch 1998: 19.)

Värien näkeminen on mahdollista vain tappisolujen ansiosta, joten värit voidaan erottaa vain valoisassa ympäristössä ja hämärässä, jolloin tappisolut ovat aktivoituneena. Pimeässä värien näkeminen ei ole mahdollista, sillä silloin sauvasolut ovat aktivoituneena. Silmän verkkokalvolla on noin seitsemän miljoonaa tappisolua ja jopa 120 miljoonaa sauvasolua. (Birch 1998: 19.)

Normaali värinäkö on trikromaattinen eli tappisolut reagoivat pitkiin-, keskipitkiin- ja lyhyisiin aallonpituuksiin. Pitkän aallonpituuden eli punaisen valon spektraalinen huippu on 560 nm, kun keskipitkän aallonpituuden eli vihreän valon spektraalinen huippu on 530 nm. Lyhyen aallonpituuden eli sinisen valon spektraalisen herkkyyden huippu on vain 420 nm. (Birch 1998: 19- 21) Verkkokalvon tappisoluja on kolmenlaisia ja ne voidaan jaotella niiden spektraalisen herkkyyden mukaan. Lyhyet tappisolut (S-tappisolut) ovat herkkiä siniselle valolle eli lyhyille aallonpituuksille. Keskipitkät tappisolut (M-tappisolut) sen sijaan ovat herkkiä vihreälle valolle eli keskipitkille aallonpituuksille. Pitkät tappisolut (L-tappisolut) ovat herkimpiä punaiselle valolle eli pitkille aallonpituuksille. (Purves ym. 2001.) (Ks. kuvio 1.)





Kuvio 1. Tappisolutyypin herkkyydet aallonpituuksille. S-tapit ovat herkkiä lyhyille aallonpituuksille, M-tapit keskipitkille aallonpituuksille ja L-tapit pitkille aallonpituuksille. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_vision](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_vision))

### 3 Värinäön heikkous

Värinäön heikkoudella tarkoitetaan kyvyttömyyttä erottaa tiettyjä värejä ja värien sävyeroja. Väriheikkoudesta saatetaan käyttää virheellisesti myös sanaa värisokeus, mutta todellisuudessa täydellinen värisokeus on erittäin harvinaista. Monet ihmiset, joilla on todettu värinäön heikkous, erottavat värejä, mutta heillä on hankaluuksia tiettyjen värien kanssa. (Color Vision Deficiency, n.d.)

Värinäön heikkous voi ilmetä puna-, viher- tai sinikeltaheikkoutena ja sen vahvuus on yleensä yhteydessä värinäön heikkouden aiheuttajaan. Värinäön heikkouden voi aiheuttaa yhden tappisolutyypin puuttuminen tai yhden tappisolutyypin viallinen toiminta. Mikäli heikkouden aiheuttaa tappisolutyypin puuttuminen, heikkoutta kutsutaan dikromaattiseksi värinäön heikkoudeksi. Jos väriheikkous johtuu tappisolutyypin viallisesta toiminnasta, kutsutaan heikkoutta poikkeukselliseksi värinäön heikkoudeksi. Täydellistä värisokeutta kutsutaan monokromaattiseksi värisokeudeksi tai akromatopsiaksi. (Birch 1998: 29- 32; Pease 1998: 245.)

Värinäön heikkouksista punaviherheikkous on yleisin väriheikkouden ilmenemismuoto. Sinikeltaheikkoutta esiintyy myös, mutta se on harvinaisempaa kuin punaviherheikkous. Synnynnäinen värinäön heikkous on yleensä bilateraali eli molemmissa silmissä, kun sairaudesta tai vammasta johtuva värinäön heikkous on yleensä vain toisessa silmässä. (Color Vision Deficiency, n.d.)

#### 3.1 Dikromaattinen värinäön heikkous

Dikromaattinen värinäön heikkous tarkoittaa, että henkilöllä on vain kaksi tappisolutyyppeä, jotka reagoivat valon eri aallonpituuksiin kolmen tappisolutyypin sijasta. Dikromaattista värinäön heikkoutta voi olla kolmenlaista, riippuen siitä mikä normaaleista kolmesta tappisolutyypistä puuttuu. Punaviassa puuttuu pitkiä aallonpituuksia aistivat tappisolut (L- tappisolut), eli punaista väriä aistivat tappisolut. Viherviassa puute on keskipitkiä aallonpituuksia aistivista tappisoluista (M- tappisolut), eli vihreää väriä aistivista soluista. Dikromaattisessa sinikeltaviassa tarkannäkemisen alueelta puuttuvat sinistä valoa, eli lyhyitä aallonpituuksia aistivat tappisolut (S- tappisolut). (Birch 1998: 31.) Henkilöillä,

joilla on dikromaattinen värinäön heikkous, on yleensä normaali näöntarkkuus (Pease 1998: 245).

Dikromaattista värinäön heikkoutta kutsutaan monesti virheellisesti puna-, viher- tai sinikeltasokeudeksi. Vaikka dikromaattisessa värinäön heikkoudessa jokin kolmesta tappisolutyypistä puuttuu kokonaan, ei henkilö ole kuitenkaan täysin värisokea. Parempi termi olisi tällöin väriheikkous tai värivika. Dikromaattinen värinäön heikkous ilmenee yleensä vahvana väriheikkoutena. (Pease 1998: 244; Deutanopia – Red-Green Color Blindness n.d.)

### 3.2 Poikkeava trikromaattinen värinäön heikkous

Poikkeavassa trikromaattisessa värinäön heikkoudessa kaikki kolme tappisolutyypistä (L-, M- ja S- tappisolut) ovat tarkannäkemisen alueella, mutta yhden tappisolutyypin herkkyys tietylle valon aallonpituudelle on heikentynyt. Tappisolun heikentyneestä herkkyydestä tietylle aallonpituudelle johtuen värien erottamisessa ilmenee ongelmia. (Birch 1998: 31.) Trikromaattinen värinäön heikkous ei yleensä vaikuta näöntarkkuuteen (Pease 1998: 245).

Poikkeava trikromaattinen värinäön heikkous voi ilmetä puna-, viher- tai sinikeltaheikkoutena, riippuen siitä missä tappisolutyypissä aallonpituuksien herkkyyden havaitseminen on heikentynyt. Poikkeavassa trikromaattisessa värinäön heikkoudessa heikkouden haitta-aste on yksilöllistä. Väriheikkous voi olla lievä ja näin ollen olla lähellä normaalia värinäköä, mutta se voi myös olla vahva ja ilmetä samalla tavalla kuin dikromaattisessa värinäön heikkoudessa. (Birch 1998:31.)

### 3.3 Punaviherheikkous

Värinäön heikkouksista punaviherheikkous on yleisin (Pease 1998: 246). Punaviherheikkous voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin; punaheikkouteen ja viherheikkouteen. Punaheikkoudessa L-tappisolujen herkkyys punaiselle valolle on heikentynyt ja tällöin ky-

seessä on poikkeava trikromaattinen punaheikkous. Dikromaattisessa punaheikkou-  
dessa L-tappisolut puuttuvat kokonaan tarkannäkemisen alueelta. (Protanopia – Red-  
Green Color Blindness, n.d.)

Viherheikkous voi myös olla poikkeava trikromaattinen värinäön heikkous tai dikromaat-  
tinen värinäön heikkous. Siinä keskipitkien M-tappisolujen herkkyys vihreälle valolle on  
heikentynyt tai ne puuttuvat kokonaan. Viherheikkous on yleisempi punaviherheikkou-  
den ilmenemismuoto kuin punaheikkous. Eriasteista viherheikkoutta on todettu olevan  
noin kuudella prosentilla miehistä. (Deuteranopia – Red-Green Color Blindness n.d.;  
Protanopia - Red-Green Color Blindness n.d.) Kuviossa kaksi nähdään kuinka viherheik-  
koinen, normaali värinäköinen ja punaheikkoinen näkevät kynien värit.



Kuvio 2. Viherheikkoisen, normaali värinäköisen ja punaheikkoisen henkilön näkemät värit. (Bul-  
ler)

### 3.3.1 Punaheikkous

Punaheikkoudessa pitkät tappisolut (L-tapit) ovat vialliset tai puuttuvat kokonaan. Tällöin  
henkilön on hankala erottaa sinistä ja vihreää toisistaan. Myös punaisen ja vihreän erot-  
taminen on hankalaa. (Protanopia – Red-Green Color Blindness, n.d.)

Pitkiä aallonpituuksia aistivien tappisolujen puuttuessa kyseessä on dikromaattinen pu-  
naheikkous, koska tällöin henkilöllä on vain lyhyitä- ja keskipitkiä aallonpituuksia aistivia  
tappisoluja tarkannäkemisen alueella. Jos henkilöllä on todettu punaheikkous, mutta hä-  
nellä on kaikki kolme tappisolutyyppeä, kutsutaan heikkoutta poikkeukselliseksi trikro-  
maattiseksi punaheikkoudeksi. Tällöin punaheikkouden aiheuttaa viallisesti toimivat pit-  
kän aallonpituuden aistivat tappisolut (L-tapit). (Protanopia – Red-Green Color Blindness  
n.d.) Kuviossa kolme nähdään kuinka punaheikkoudesta kärsivän näkemät värit eroavat  
normaalista värien näkemisestä.



Kuvio 3. Oikeanpuoleisessa kuvassa normaalisti värit näkevän henkilön ja vasemmanpuoleisessa kuvassa punaheikkoudesta kärsivän henkilön näkemät värit. (Salo)

Dikromaattisessa punaheikkoudessa pitkän aallonpituuden eli punaisen valon erotuskyky laskee ja tästä syystä punainen väri saattaa usein sekoittua mustaan. Spektraalinen herkkyys on 540 nm ja neutraalipiste 494 nm. Neutraalipisteellä tarkoitetaan aallonpituutta, joka voidaan yhdistää valkoisen kanssa. Kaikki aallonpituudet, jotka ovat yli 494 nm, saattavat näkyä samanvärisinä tai ne eroavat kirkkaudessa tai kylläisyydessä. Punainen, oranssi, keltainen ja vihreä väri sekoittuvat usein keskenään. Kaikki aallonpituudet, jotka ovat alle 494 nm, nähdään usein sinisenä. (Pease 1998: 244-245.)

Poikkeavassa trikromaattisessa punaheikkoudessa spektraalinen väriherkkyys on alentunut. Normaaliin värinäköön verrattessa, poikkeava trikromaattinen punaheikkous vaatii enemmän punaista valoa yhdistääkseen värit oikein. (Pease 1998: 244-245.) Punaheikkoudesta kärsivä henkilö näkee punaisen värin tummempana, kuin viherheikkoudesta kärsivä henkilö (Red-Green Colour Blindness, n.d.).

### 3.3.2 Viherheikkous

Viherheikkous on punaheikkoutta yleisempi värinäön heikkouden muoto. Sitä ilmenee noin kuudella prosentilla miesväestöstä. Viherheikkous voi ilmetä lievänä tai voimakkaana, riippuen mikä väriheikkouden aiheuttaa. (Deutanopia – Red-Green Color Blindness n.d.)

Viherheikkoudessa keskipitkiä aallonpituuksia aistivat tappisolut (M-tapit) joko puuttuvat kokonaan tai ne ovat vialliset. Keskipitkiä aallonpituuksia havaitsevien tappisolujen puuttuessa kokonaan kyseessä on dikromaattinen viherheikkous. Tarkannäkemisen alueella on vain pitkiä- ja lyhyitä tappisoluja (L- ja S-tappeja), jotka mahdollistavat pitkien- ja lyhyiden aallonpituuksien näkemisen. Kun kaikki tappisolutyypit ovat tarkannäkemisen alueella, mutta M-tapit toimivat viallisesti, on kyseessä poikkeava trikromaattinen viherheikkous. (Deuteranopia – Red-Green Color Blindness n.d.) Kuviossa 4 nähdään kuinka viherheikkoisen näkemät värit eroavat normaalista värien näkemisestä.



Kuvio 4. Oikeanpuoleisessa kuvassa normaali värinäköisen näkemät värit ja vasemmanpuoleisessa kuvassa viherheikkoudesta kärsivän henkilön näkemät värit. (Salo)

Dikromaattisessa viherheikkoudessa spektraalinen herkkyys on 560 nm ja neutraalipiste 499 nm. Neutraalipistettä pidemmät aallonpituudet saattavat näyttää hyvin samalta tai ne eroavat värin kylläisyydessä. Värien kirkkaus on samanlainen kuin normaali värinäköisellä. Punainen, oranssi, keltainen ja vihreä väri saattavat sekoittua ja neutraalipistettä lyhyemmät aallonpituudet nähdään sinisenä. (Pease 1998: 245.)

Poikkeavassa trikromaattisessa viherheikkoudessa spektraalinen väriherkkyys on melkein normaali. Verratessa normaaliin värinäköön, poikkeavasti trikromaattinen viherheikkoinen tarvitsee enemmän vihreää valoa värien yhdistämiseen. Erityisesti vihreää valoa tarvitaan enemmän keltaisen värin näkemiseen. (Pease 1998: 245.)

### 3.4 Sinikeltaheikkous

Sinikeltaheikkous on harvinainen värinäön heikkouden muoto, sillä sitä esiintyy vain yhdellä 10 000 ihmisestä. Sinikeltaheikkous periytyy autosomisesti seitsemännessä kromosomissa. Se ei siis periydy sukukromosomeissa kuten punaviherheikkous. Tästä johtuen sinikeltaheikkous ei ole vain toisen sukupuolen ongelma, vaan se voi tulla yhtälailla molemmille sukupuolille. Sinikeltaheikkoudesta kärsivä henkilö saattaa sekoittaa sinisen värin vihreään ja keltaisen värin violettiin. (Tritanopia – Blue-Yellow Color Blindness, n.d.)

Sinikeltaheikkous johtuu lyhyitä aallonpituuksia havaitsevien tappisolujen (S-tappisolujen) puutteellisesta toiminnasta tai niiden puuttumisesta kokonaan. Lyhyitä aallonpituuksia havaitsevien tappisolujen (S-tappisolut) puuttuessa kokonaan, kyseessä on dikromaattinen sinikeltaheikkous. Tällöin henkilöllä on vain pitkiä- ja keskipitkiä (L- ja M-tappisolut) aallonpituuksia havaitsevia tappisoluja. Jos henkilöllä on todettu sinikeltaheikkous ja kaikkien tappisolutyypin (L-, M- ja S- tappisolujen) olevan tarkannäkemisen alueella, on hänellä tällöin poikkeava trikromaattinen värinäön heikkous. Tällöin S-tappisolut eivät toimi normaalisti. (Tritanopia – Blue-Yellow Color Blindness n.d.)

Sinikeltaheikkous voi olla hankittua tai periytyvää. Hankittu sinikeltaheikkous voi johtua ikääntymisestä tai päähän kohdistuneesta voimakkaasta iskusta. Jos sinikeltaheikkous on hankittua, se ei välttämättä ole pysyvä haitta. (Tritanopia – Blue-Yellow Color Blindness n.d.)

### 3.5 Monokromaattinen värisokeus eli akromatopsia

Monokromaattisesti värisokeat henkilöt pystyvät näkemään vain sävyeroja ympäristössä. Monokromaattinen värisokeus voidaan jaotella kahteen eri tyyppiin. Tyypillisessä monokromaattisessa värisokeudessa eli tyypillisessä akromatopsiassa henkilöllä ei ole ollenkaan toimivia tappisoluja. Tätä voidaan kutsua myös sauvamonokromaattiseksi värisokeudeksi. Tällöin henkilöllä on usein myös heikentynyt näöntarkkuus (visus 0.1-0.15). Usein tyypillisen monokromaattisen värisokeuden omaavilla henkilöillä on myös

silmävärve (nystagmus) ja fotofobia (valonarkuus). (Birch 1998: 30; Pease 1998: 245; Kohl – Jäggle - Wissinger 2004) Täydellistä värisokeutta (akromatopsia) esiintyy hyvin vähän. Henkilöitä, joilla on akromatopsia ja heikentynyt näöntarkkuus, on vain noin 0.0025 %. (Pease 1998: 247.) Kuviossa viisi on kuvattu kuinka värisokea näkee vain mustan, harmaan ja valkoisen eri sävyjä.



Kuvio 5. Oikeanpuoleisessa kuvassa normaali värinäköisen henkilön näkemät värit ja vasemmanpuoleisessa kuvassa värisokean henkilön näkemät sävyt. (Salo)

Epätyypillisessä monokromaattisessa värisokeudessa henkilöllä on vain yksi tappisolutyppi. Tätä voidaan kutsua myös tappimonokromaattiseksi värisokeudeksi tai epätyypilliseksi akromatopsiaksi. Yleensä ainoa tappisolutyppi, joka henkilöllä on tarkannäkemisen alueella, on sinistä valoa aistivat, eli lyhyille aallonpituuksille herkäät tappisolut. Näöntarkkuus tällaisella henkilöllä on yleensä alentunut (0.66-0.25). Henkilöillä, joilla näöntarkkuus on alle 0.33, saattaa esiintyä nystagmusta ja fotofobiaa. Epätyypillinen monokromaattinen värisokeus on erittäin harvinaista. (Birch 1998: 30.)



## 4 Värinäön heikkouden esiintyvyys

Kirjallisuudesta löytyy useita raportteja, joiden mukaan värinäön heikkouden esiintyvyys vaihtelee merkittävästi eri etnisten ryhmien ja maantieteellisten alueiden mukaan. Birch in mukaan (1998: 41) raporteista tehty arvio ei kuitenkaan tue kyseistä väitettä. Epäluotettavaksi väitteen tekevät sopimattomat tai väärinymmärretyt tutkimusmenetelmät sekä liian pienet tutkimusjoukot. (Birch 1998: 41–42.)

Värinäön heikkous on yleisempää miesten keskuudessa kuin naisten. Synnynnäistä värinäön heikkoutta esiintyy noin kahdeksalla prosentilla miesväestöstä ja noin 0.5 prosentilla naisväestöstä. Miehistä siis noin joka 12. kärsii jonkinasteisesta värinäön heikkoudesta ja naisista joka kahdessadas. On myös todettu, että jopa 40 % miehistä on tietämättömiä punaviherheikkoudestaan. (Birch 1998: 41; Saarelma 2016.)

### 4.1 Värinäön heikkouden perinnöllisyys

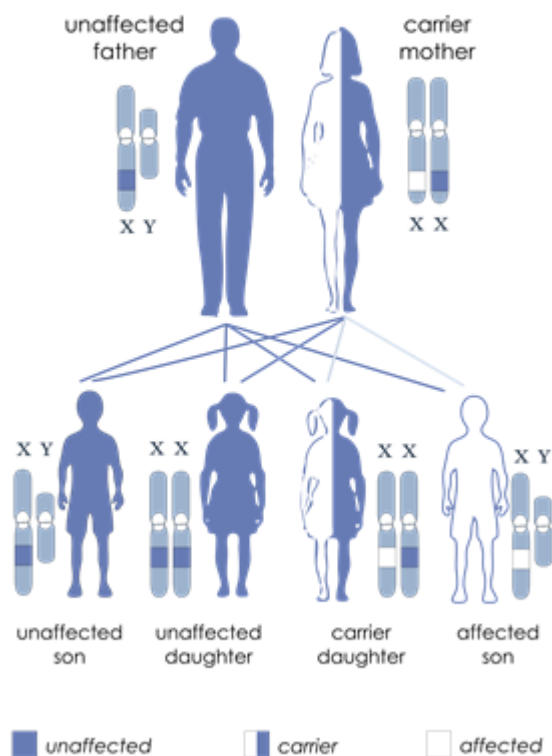
Värien näkeminen edellyttää silmän verkkokalvon kolmen erilaisen tappisolun toimintaa. Tappisolut reagoivat erivärisiin valoihin ja mahdollistavat näin värien erottelun. Jos jokin tapista toimii puutteellisesti tai ei ollenkaan, puhutaan värinäön heikkoudesta. Värisokeus on erittäin harvinaista, silloin kaikissa tappisolutyypeissä on puutoksia. Täysin värisokea henkilö erottaa vain mustaa, harmaata ja valkoista. (Saarelma 2016.)

Värinäön heikkoutta on kahdenlaista, synnynnäistä ja hankittua. Synnynnäinen vika on periytynyt vanhemmilta ja hankittu on ilmaantunut esimerkiksi jonkin sairauden myötä. Toisilla puutokset värinäössä voivat hankaloittaa suurestikin elämää, kun taas toiset eivät edes huomaa puutosta. Yleensä vahvemmat värinäön heikkoudet huomataan kuitenkin jo lapsena. (Pease 1998; 242–243.)

#### 4.1.1 Synnynnäinen eli periytyvä värinäön heikkous

Punaviherheikkous on yksi esimerkki x-kromosomissa periytyvistä ominaisuuksista. X-kromosomin perintötekijöiden mutaatiot ilmenevät eri tavalla naisilla kuin miehillä. Naisilla on kaksi x-kromosomia ja jos toisessa esiintyy geenimutaatio, yleensä toinen normaali kromosomi pitää mahdollisen taudin tai oireet poissa. Miehillä on ainoastaan yksi x-kromosomi, jolloin siinä esiintyvä geenimuutos ja sen aiheuttama poikkeavuus tulevat aina ilmi. Nainen voi olla oireeton kantaja ja siirtää tautigeeniä jälkeläisilleen, mikäli toisessa x-kromosomissa on havaittu geenimuutos. (Birch 1998: 43–44; Salonen-Kajander 2015.) Kuviossa kuusi nähdään x-kromosomissa tapahtuvan geenimutaation periytyminen.

### X-linked recessive inheritance



Kuvio 6. Geenimutaation periytyminen x-kromosomissa. Kuviossa esitetty kuinka x-kromosomissa periytyvä mutaatio periytyy joko ilmeisenä tai piilevänä. Mutaatio ei periydy silloin jos molemmilta vanhemmilta saadut x-kromosomit ovat normaalit, eli niissä ei ole tapahtunut geenimutaatiota. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_blindness](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_blindness))

Sekä poika- että tyttölapsilla on molemmilla 50 % riski periä tautigeeni, jos äiti on tautigeenin kantaja. Poikalapsi saa isältään aina vain y-kromosomin, jolloin x-kromosomissa

periytyvä sairaus tai poikkeavuus ei periydy isältä pojalle. Tyttölapsi saa isältä x-kromosomin ja mahdollisen siinä ilmenneen geenimutaation. Tällöin tyttölapsi kantaa isänsä taudin tai poikkeavuuden perintötekijää. Mikäli tyttölapsen äidiltään saama x-kromosomi on normaali, se pitää tytön terveenä. Tyttölapsesta tulee värinäköheikkoinen, mikäli hän perii molemmilta vanhemmiltaan kyseisen muuttuneen geenin. Poikalapsen värinäön heikkouteen riittää äidiltä peritty muuttunut geeni. (Birch 1998: 43–44; Salonen-Kajander 2015.)

#### 4.2 Hankittu värinäön heikkous

Hankittu värinäön heikkous tarkoittaa sitä, että se ei ole periytynyt vaan värinäössä on tapahtunut muutoksia myöhemmässä vaiheessa. Periytynyt värinäön heikkous on yleensä punaviherheikkoutta, kun taas hankittu värinäön heikkous ilmenee useimmin sinikeltaheikkoutena. Värinäköä olisikin hyvä testata säännöllisesti, jotta huomattaisiin mahdolliset muutokset. (Karpecki - Shechtman 2013.)

Yleisimmin hankittu värinäön heikkous ilmenee jonkin yleis- tai silmätaudin seurauksena. Tällaisia sairauksia ovat esimerkiksi diabetes, Alzheimer, glaukooma ja silmänpohjan ikärappeuma. Myös muut silmänpohjalla tapahtuvat muutokset, jotka ovat seurausta esimerkiksi halvauksesta tai muusta onnettomuudesta, lisäävät riskiä värinäön heikkenemiselle. (Colour blind awareness n.d.) Värinäössä tapahtuvien muutosten havaitseminen voi helpottaa esimerkiksi silmätaudin diagnosoinnissa. On todettu, että esimerkiksi monella glaukoomapotilaalla havaitaan värinäössä sinikeltaheikkoutta. (Karpecki - Shechtman 2013.)

Hankittu värinäön heikkous voi olla myös seurausta huumeiden tai alkoholin käytöstä. Lisäksi jotkut lääkkeet sekä vaarallisille kemikaaleille altistuminen voivat heikentää värien näkemistä. (Pease 1998: 242.)

## 5 Värinäköttestit

Eri värinäköttestit on suunniteltu erottelemaan eri asioita. Seulontatestien tarkoituksena on selvittää vain, onko henkilön värinäkö normaali vai puutteellinen. Luokittelevat värinäköttestit arvioivat värinäön heikkouden vahvuutta. Kliinisillä värinäkötesteillä pystytään myös määrittämään ja erottelemaan synnyynnäinen ja hankittu värinäön heikkous. (Birch 1998: 53.)

H.R.R. ja Ishihara värinäköttestit ovat pseudoisokromaattisia testejä. Pseudoisokromaattisissa värinäkötesteissä täytyy tunnistaa erilaisia kuvioita. Testikuvioiden värit on valittu siten, että normaalin värinäön omaava henkilö erottaa kuviot, mutta väriheikkoudesta kärsivä henkilö ei erota. Joissakin testitauluissa kuviot ovat väriltään sellaisia, että vain väriheikkoudesta kärsivä henkilö pystyy ne erottamaan, mutta normaalin värinäön omaava henkilö ei erota mitään kuviota. Tällaiset testit ovat helppoja tutkittavalle ja testejä on myös helppo tulkita. (Birch 1998: 53-55.)

Farnsworth-Munsell 100-Hue -testi ja Lanthony'n desaturoitu testi mittaavat värisävyjen erottelukykyä. Normaalin trikromaattisen värinäön omaava henkilö tekee myös satunnaisia virheitä, etenkin Farnsworth-Munsell 100-Hue -testissä. Värisävyjen erottelukyky on parhaimmillaan parikymppisenä ja vähenee iän myötä. Tästä syystä yli 50-vuotiailla henkilöillä tulee testissä enemmän virheitä. (Birch 1998: 61-64.)

### 5.1 H.R.R. Pseudoisokromaattinen värinäkötesti

H.R.R. on pseudoisokromaattinen värinäkötesti ja se on kehitetty havaitsemaan puna-, viher- ja sinikeltaheikkoudet sekä niiden vahvuudet. Testi sisältää 24 harmaansävyistä taulua, joissa voidaan nähdä erilaisia symboleita; ympyröitä, kolmioita tai rasteja. Tutkittavalle näytetään yksi taulu kerrallaan ja tämän tehtävänä on sudin avulla osoittaa taulussa näkemänsä symboli tai symbolit. (Pease 1998: 268.)

Neljä ensimmäistä taulua ovat ohjeistustauluja, jotka eivät kuulu varsinaiseen testiin. Väriinäkövikaiset henkilöt näkevät neljä ensimmäistä taulua kuten normaalin väriinään omaavat henkilöt. Näiden ensimmäisten taulujen avulla tutkittavalle havainnollistetaan kuinka testi tehdään. Seuraavat kuusi taulua paljastavat mahdollisen väriinään heikkouden (puna-, viher- tai sinikeltaheikkous). Tämän jälkeen näytettävät kymmenen taulua määrittävät mahdollisen puna- tai viherheikkouden vahvuuden. Viimeiset neljä taulua ovat sinikeltaheikkouden arvioimista varten. (Birch 1998: 77-80; Pease 1998: 267-268.)

## 5.2 Ishihara väriinäkötesti

Ishihara on yksi suosituimmista pseudoisokromaattisista testeistä. Sitä käytetään puna-viherheikkouksien tutkimisessa. Ishiharasta on olemassa kolme versiota; 16, 24 ja 38 taulun testit. Yleisimmin käytössä on 24 taulun testi. Tutkittavalle näytetään yksi taulu kerrallaan ja häntä pyydetään kertomaan, mitä taulussa näkee. Testitauluissa on arabialaisia numeroita tai polkuja. Ensimmäinen taulu on demonstrointia varten ja sen näkevät sekä normaaliväriinäköiset, että väriinäköheikkoiset. (Birch 1998: 74; Pease 1998: 267.)

Tauluista 2-9 normaaliväriinäköinen näkee numerot oikein ja väriinäköheikkoinen näkee eri numeroita. Normaaliväriinään omaava erottaa numerot myös tauluissa 10-17, mutta väriinäköheikkoinen ei. Tauluissa 18-21 ei ole numeroita, mutta monet väriinäköheikkoiset näkevät niissä numeron. Taulut 22-25 ovat puna- ja viherheikkouden erottelua varten. Tauluissa on kaksi numeroa, joista punaheikkoinen näkee oikeanpuoleisen numeron ja viherheikkoinen vasemmanpuoleisen numeron. Väriinäköheikkoinen saattaa nähdä kummatkin numerot, mutta yleensä toinen näistä näkyy heikommin. (Birch 1998: 75-76.)

Taulut 26-38 sisältävät polkuja, jotka tutkittava osoittaa sudilla. Polkujen näyttäminen aloitetaan kirjan viimeisestä taulusta, joka on demonstrointitaulu. Väriinäköheikkoinen ei välttämättä näe kaikkia polkuja tai hän saattaa erottaa polkuja tauluissa, joissa niitä ei oikeasti ole. Viimeisenä näytettävissä tauluissa on kaksi polkua, joista väriinäköheikkoinen saattaa erottaa vain toisen. Erottaessaan molemmat polut väriinäköheikkoinen yleensä näkee toisen poluista selkeämmin. (Birch 1998: 75-76.)

### 5.3 Farnsworth-Munsell 100-Hue Test

Farnsworth-Munsell 100-Hue -testin avulla arvioidaan värisävyjen erottelukykyä. Tulokset kertovat, minkä tyyppinen ja kuinka vahva värinäön heikkous tutkittavalla on. Testi kuitenkin todentaa ainoastaan keskivahvan ja vahvan värinäön heikkouden. Lievät värinäön heikkoudet jäävät usein löytymättä tällä testillä. Testi on vaikea normaalisti värit näkeväillekin ja virheitä voi tulla, vaikka mitään värinäön heikkoutta ei olisikaan. (Birch 1998: 91.)

Testiin kuuluu neljä erillistä paneelia, jotka sisältävät eri sävyisiä värinappuloita. Nappuloita on yhteensä 85. Tutkittavan on tarkoitus tehdä testi siten, että hän järjestää mustalla alustalla, sekalaisessa järjestyksessä olevat nappulat oikeaan järjestykseen värisävyn perusteella. Paneelin ensimmäinen ja viimeinen nappula ovat kiinteitä, joiden paikkaa ei siirretä ja joita tutkittava voi käyttää apuna värien järjestystä miettiessään. Testi suoritetaan yksi paneeli kerrallaan ja aikaa yhden paneelin suorittamiseen on noin kaksi minuuttia. Tutkittavalle kerrotaan, kun kaksi minuuttia on kulunut mutta hän saa jatkaa, mikäli nappuloiden järjestäminen on vielä kesken. Testin suorittamisessa tärkeintä on tarkkuus, ei nopeus. (Colblindor 2006; Pease 1998: 269.)

Nappuloiden pohjassa on numero, joka kertoo nappulan paikan värisävyjärjestyksessä. Tutkittavan saama järjestys merkitään tuloskaavakkeeseen ja muunnetaan ympyräkuvioksi joko virhearvot laskemalla ja käsin piirtämällä tai Internetistä löytyvän ohjelman avulla. Kaavakkeeseen piirtynyt kuvio osoittaa, mikä värinäön heikkous tutkittavalla on ja kuinka vahva se on. (Colblindor 2006; Pease 1998: 269.)

### 5.4 Lanthony's desaturated D-15 test

Lanthonyn desaturoitu testi on Farnsworth D-15 Panel -testin kaltainen, mutta haastavampi. Farnsworth D-15 Panel -testi taas on 100-Hue -testin kaltainen, mutta lyhyempi, sisältäen vain yhden paneelin. Lanthonyn testin tarkoituksena on havaita lievemmätkin värinäönheikkoudet. Normaalisissa Farnsworthin D-15 testissä lievästi värinäköheikkoiset voivat saada virheettömän tuloksen, sillä se ei ole niin herkkä lievien heikkouksien löytämisessä. Lanthonyn D-15 nappuloissa on samat Munsellin värit, mutta niiden kylläisyyttä on vähennetty normaalin D-15 Panel -testin nappuloihin verrattuna. Lanthonyn D-15 testin nappulat ovat värisävyiltään vaalean pastellisia. (Pease 1998: 274.)

Testi tehdään 15 nappulan avulla. Tutkittavan tulisi järjestää nämä 15 pastellinsävyistä nappulaa oikeaan värisävyjärjestykseen. Testin ensimmäinen nappula on kiinteä, jota apuna käyttäen tutkittava järjestää loput nappulat. Testi on haastava vaaleiden värisävyjen vuoksi, mutta sen suorittamiseen tulisi silti kulua vain noin kaksi minuuttia. Saatu järjestys merkitään tuloskaavakkeeseen, jonka avulla voidaan todeta värinäön heikkouden tyyppi ja vahvuus. (Farnsworth D-15 and Lanthony Test Instructions 2006: 1.)

## 6 Tutkimus

Tutkimukset tehtiin syksyllä 2016. Tutkimuksen otos oli viisi henkilöä, joilla oli todettu punaviherheikkous. Aluksi selvitettiin jokaiselta tutkittavalta oliko heillä puna- vai viherheikkous ja minkä asteinen heikkous oli. Tutkimuksen luotettavuus pyrittiin varmistamaan tekemällä testit jokaiselle samassa tutkimustilassa, jossa valaistus vastasi mahdollisimman paljon luonnonvaloa. Värinäkötutkimukset tulisi tehdä tilassa, jossa valonmäärä olisi noin 6500 K (Kelvin) (Birch 1998: 65). Tutkimuksessa arvioitiin linssien vaikutusta testien avulla objektiivisesti sekä subjektiivisesti haastatteleamalla tutkittavia.

Tutkimuksen päätarkoituksena oli saada selville onko linseistä apua värinäkötesteissä ja paranevatko tulokset linssien kanssa. Tutkimuksen avulla haluttiin myös selvittää, kuinka tutkittavat kokevat linssit ja kokisivatko he linssit hyödyllisiksi arkielämässä. Monet tutkittavista olivat jo tottuneet elämään värinäköheikkouden kanssa, mutta joissain tilanteissa värinäön heikkous koettiin haitaksi tai kiusalliseksi.

### 6.1 Tutkimuksen kulku

Tutkittavat saatiin kerättyä tuttavien kautta, jotka tunsivat värinäön heikkoudesta kärsiviä ihmisiä. Alkutietona tutkittavista tiedettiin vain, että heillä on jossain elämänvaiheessa todettu väriheikkous – tai värisokeus, kuten osalle heistä asia oli ilmaistu. Jokainen tutkimus aloitettiin refraktion tarkistuksella, jotta voitiin varmistua, että tutkittavien mahdollinen lasikorjaus oli ajantasainen. Värinäköttestit tehtiin tutkittaville ensin ilman punaviherheikkouden avuksi tarkoitettuja linsejä ja sen jälkeen linssien kanssa, jotta saatiin selville vaikuttavatko linssit tutkimustuloksiin.

Tutkimusta varten testikäyttöön saadut linssit olivat italialaisen linssivalmistaja Swedoptikin valmistamat. Linsejä oli kolmenlaisia ja ne poikkesivat toisistaan värisävyltään. Linssien sävyt olivat pink (P), violet (V) ja magenta (M) (ks. kuvio 7). Linssivalmistajan mukaan on yksilöllistä, minkä sävyiset linssit kukin punaviherheikkoinen kokee parhaaksi ja se selviää kokeilemalla. Jokainen tutkittava sai kokeilla ja vertailla eri linsejä. Subjektiivisten kokemusten ja testitulosten perusteella suositeltiin kullekin tutkittavalle linsisävyä, josta olisi eniten hyötyä.





Kuvio 7. Punaviherheikkouden avuksi tarkoitetut linssit. Sävyt magenta, pink ja violet. (Buller)

### 6.1.1 Kliiniset värinäköttestit

Tutkimusta varten valittiin neljä eri värinäköttestiä, joiden lisäksi testattiin myös toiminnallista värinäköä. Valitut testit olivat H.R.R. pseudoisokromaattiset taulut, Ishihara, Farnsworth-Munsell 100-Hue Test ja Lanthony's D-15 Panel Test. H.R.R. -testi valikoitui tutkimukseen sen helppokäyttöisyyden vuoksi. H.R.R. -tuloksista on helposti arvioitavissa väriheikkouden tyyppi ja vakavuus. Ishihara on H.R.R. -testin tavoin helppokäyttöinen ja nopea tehdä sekä myös yleisin käytössä oleva värinäköttesti (Birch 1998: 74), etenkin suomalaisissa optikkoliikkeissä. Tutkimukseen haluttiin ottaa nämä tutut testit mukaan, jotta kynnyks värinäköttestien tekemiseen sekä värinäön avuksi tarkoitettujen linssien testaamiseen olisi matalampi. Aiheen haluttiin olevan helposti lähestyttävä. Ishihara ja H.R.R. tukevat toisiaan ja siksi kliinisissä tutkimuksissa tehdään usein molemmat. Ishiharalla voidaan havaita punaviherongelmat ja H.R.R. paljastaa tämän lisäksi sinikeltavian sekä värinäön heikkouden vakavuuden. (Birch 1998: 80.)

Värinäköttestit aloitettiin tekemällä H.R.R. pseudoisokromaattinen värinäköttesti ja sen jälkeen Ishihara värinäköttesti. Nämä testit tehtiin tutkimuksen aluksi, jotta varmistettiin tutkittavilla olevan punaviherheikkous sekä selvitettiin minkä asteinen heikkous oli. Seuraava vaihe tutkimuksessa oli värisävyjen erottelukyvyn mittaaminen Farnsworth-Munsell 100-Hue -testin ja Lanthony'n desaturoidun D-15 -testin avulla.

Väriäkötesteistä H.R.R. ja Ishihara olivat tulosten kannalta hyödyllisimmät, sillä niistä ilmeni selvästi tutkittavien väriäön puutteet ja vahvuudet. Testit oli myös helppo ja nopea tehdä. Värisävyjen erottelukykyä mittaavat testit 100-Hue ja D-15 koettiin hankalammiksi ja joidenkin tutkittavien osalta turhauttaviksi. Kyseisten testien tulokset eivät myöskään olleet täysin yksiselitteisiä.

### 6.1.2 Toiminnallinen väriäkö

Tutkimuksessa haluttiin testata myös toiminnallista väriäköä kliinisten testien lisäksi. Toiminnallista väriäköä testattiin värikynien ja eri väristen johtojen avulla. Testit olivat tarkoituksella helpohkoja, jotta saatiin tarvittavaa vastapainoa haastaville kliinisille testeille.

Toiminnallista väriäköä testattiin ensin puuvärikynien avulla. Värikynät levitettiin pöydälle sekalaiseen järjestykseen ja tutkittavalle annettiin valkoinen paperi. Tutkittavaa pyydettiin valitsemaan pöydältä määrätyn väriä kynä ja piirtämään sillä määrätty kuva. Jos tutkittavan mielestä pöydällä oli useampi samanväriä kynä, häntä ohjeistettiin piirtämään pyydetty kuva kaikilla niillä kynillä, jotka olivat pyydetyn värisiä. Tutkittavia pyydettiin piirtämään sininen neliö, vihreä ympyrä, keltainen kolmio ja punainen sydän. Oikea väri oli valittava kahdentoista kynän joukosta. Tutkimukseen valittu kynäpaketti sisälsi perusvärejä: valkoinen, musta, ruskea, punainen, vaaleanpunainen, oranssi, keltainen, tummanvihreä, vaaleanvihreä, tummansininen, vaaleansininen ja liila.

Toiminnallista väriäköä testattiin lisäksi eriväristen sähköjohtojen avulla. Tutkittavalle annettiin johtonippu, joka koostui 29 sähköjohtojen pätkästä. Nipusta löytyi seitsemän keltavihreää, kolme punaista, kuusi vaaleansinistä, yksi tummansininen, yksi harmaa, seitsemän mustaa ja neljä ruskeaa johtoa. Tutkittavaa pyydettiin järjestämään kaikki samanväriset johdot omiin pinoihinsa ja lopuksi kertomaan minkä värisiä johdot hänen mielestään olivat.

## 6.2 Tutkimustulokset

Tutkimustulokset analysoidaan tutkittava kerrallaan. Jokaisen tutkittavan värinäköttestien tulokset kerrotaan ilman linsejä ja linssien kanssa. Lopuksi tuloksia tarkastellaan yhdessä, jotta nähdään ovatko tulokset tutkittavien välillä yhteneväisiä vai eroavatko ne toisistaan. Jokaisen testin tulokset analysoitiin värinäköttestin ohjeiden mukaisesti.

Tulosten analysoinnissa hyödynnettiin myös virheiden määriä, jotta saatiin selkeä vertailukohta ilman linsejä ja linssien kanssa saatujen tulosten välille. Näin pystyttiin selkeästi osoittamaan linseistä saatu hyöty tulosten kannalta. Tutkimuksen kannalta tämä oli paras lähtökohta, koska nimenomaan haluttiin tietää paranevatko tulokset linssien kanssa vai eivät.

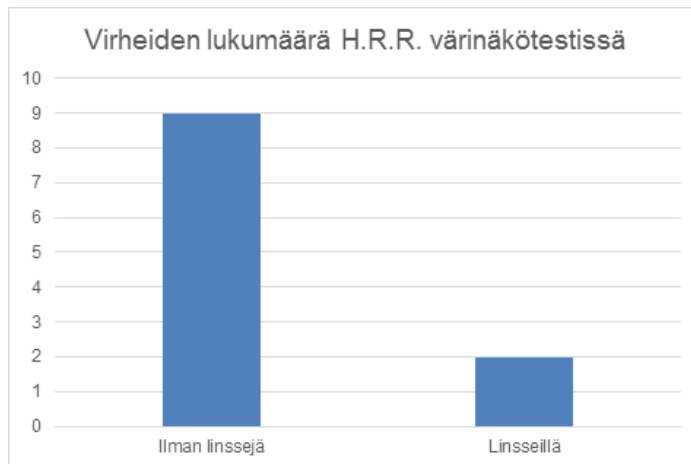
### 6.2.1 Tutkittava 1

Ensimmäinen tutkittava oli 22-vuotias mies. Hänellä punaviherheikkous oli todettu yläasteella, mutta hän oli itse huomannut sen jo ala-asteella. Tutkimus aloitettiin tarkastamalla refraktio, eikä se vaatinut muutoksia. Tutkittavalla oli koko tutkimuksen ajan piilo-linssit silmissään. Värinäköttestit tehtiin ensin ilman punaviherheikkouden avuksi tarkoitettuja linsejä, jotta saatiin varmuus punaviherheikkoudesta ja sen vahvuudesta. Näin saatiin myös vertailukohta tuloksille linssien kanssa ja voitiin arvioida linssien hyödyllisyyttä. Tutkittava sai kokeilla eri sävyisiä linsejä ja hänelle valittiin värinäköttestejä varten V-linssit (sävy Violet), jotka hän koki miellyttävimmiksi.

#### **H.R.R. pseudoisokromaattinen värinäköttesti**

Tutkimus aloitettiin H.R.R. pseudoisokromaattisella värinäköttestillä. Testitauluissa 5-10 virheitä tuli kohdissa 8, 9 ja 10. Tämän perusteella tutkittavalla olisi punaviherheikkous. Tämän tuloksen vuoksi tehtiin testitaulut 11-20, jotka erottelevat puna- ja viherheikkouden sekä heikkouden vahvuuden. Tutkittava sai viherheikkoutta edustaviin sarakkeisiin enemmän merkintöjä, joten tulos voitiin tulkita viherheikkoudeksi (deutan). Kohdissa 11-20 virheitä tuli kuusi ja viimeinen virhe tuli kohdassa 17, joka viittaisi keskivahvaan viherheikkouteen (ks. kuvio 8).

Punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen linssien kanssa tulokset muuttuivat selvästi. Testitauluissa 5-10 virheitä tuli ainoastaan kohdissa 8 ja 10. Kohdissa 11-20 ei tapahtunut enää virheitä. Tämän perusteella linssit paransivat tuloksia kyseisessä testissä huomattavasti, sillä virheiden määrä väheni yhdeksästä virheestä kahteen (ks. kuvio 8).



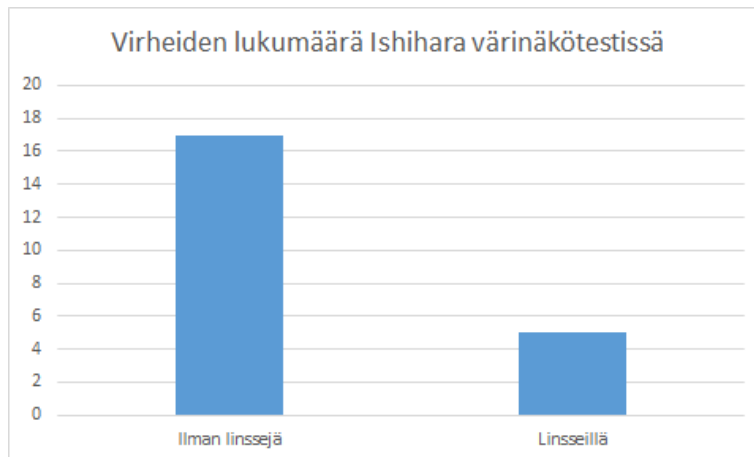
Kuvio 8. Virheiden lukumäärä H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä ilman linsejä ja linssien kanssa (Tutkittava 1).

### Ishihara värinäkötesti

Ilman linsejä tehdyssä Ishihara -värinäkötestissä (24 plate) kohdissa 1-15, joissa on numeroita, tutkittavalla tuli 12 virhettä. Kohdissa 16 ja 17 on kaksi numeroa, jotka erottelevat puna- ja viherheikkouden. Kohdassa 16 tutkittava näki vain ensimmäisen numeron, joka viittaisi vahvaan viherheikkouteen. Kohdassa 17 tutkittava näki molemmat numerot yhtä vahvasti. Tästä päätellen tulokset viittaisivat keskivahvaan viherheikkouteen. Kohdat 18-24 sisältävät polkuja. Osassa tauluista on yksi polku, osassa kaksi ja osassa polkua ei ole ollenkaan. Kohdassa 18 tutkittavan tulisi nähdä kaksi polkua, punainen ja violetti. Normaali värinäköinen näkee molemmat, voimakas punaheikkoinen näkee vain violetin polun ja voimakas viherheikkoinen näkee vain punaisen polun. Tässä tutkittava näki vain punaisen polun, joten tulos viittaisi viherheikkouteen. Kohdissa 19-24 tutkittavalla tuli kolme virhettä. Ilman linsejä testitauluista 7/24 meni oikein eli virheitä tuli 17 testitaulussa (ks. kuvio 9).

Virheiden lukumäärä erosi huomattavasti ilman linsejä ja linssien kanssa tehdyissä testeissä. Linssien kanssa testitauluista suurin osa meni oikein, vain viidessä taulussa tuli virheitä. Kohdissa 1-15 tutkittavalla tuli kolme virhettä linssien kanssa, kun ilman linsejä

niitä tuli 12. Kohdissa 16 ja 17 tulos oli sama kuin ilman linsejä. Kohdassa 18 tutkittava näki molemmat polut (punaisen ja violetin), mutta violetti polku näkyi epäselvemmin kuin punainen polku. Tulos viittaisi lievään viherheikkouteen. Ilman linsejä tehdyssä testissä tutkittava näki vain punaisen polun, jolloin tulos viittasi vahvaan viherheikkouteen. Kohdassa 18 viherheikkous ei ollut enää niin vahva linseillä kuin ilman linsejä. Kohdissa 19-24 tuli enää vain yksi virhe. Tulos parani linssien kanssa myös näissä tauluissa. Linseistä oli havaittavissa selvä hyöty testituloksiin (ks. kuvio 9).



Kuvio 9. Virheiden lukumäärä Ishihara värinäkötestissä ilman linsejä ja linssien kanssa (Tutkittava 1).

### Farnsworth-Munsell 100-Hue -testi

Värisävyjen erottelukykä mittaavassa Farnsworth-Munsell 100-Hue -testissä tutkittavalla tuli virheitä ilman linsejä sekä linssien kanssa. Tutkimustuloksista laskettiin ensin jokaisen nappulan virhearvo ja sen jälkeen koko testin virhearvo. Jokaisen nappulan virhearvosta saatiin piirrettyä koordinaatistoon kuvaaja, joka kertoo onko tutkittavalla väriheikkoutta ja kuinka vahva heikkous on. Koordinaatiston kuvaajat ilman linsejä ja linssien kanssa näkyvät liitteessä 1. Ilman linsejä tehdyn testin virhearvo ensimmäisessä tutkimuksessa oli 93, kun linssien kanssa virhearvo kasvoi 120. Ilman linsejä tehty tulos vastaisi keskiverto värisävyjen erotuskykyä. Linssien kanssa tulokset viittasivat alhaiseen värisävyjen erotuskykyyn tai väriheikkouteen. Testissä mitattiin myös jokaisen paneelin tekemiseen mennyt aika. Ilman linsejä aikaa koko testin tekemiseen meni yhteensä 9,17 minuuttia. Linssien kanssa koko testin tekemiseen aikaa kului 9,36 minuuttia. Tässä tutkimuksessa linseistä ei ollut havaittavissa samanlaista hyötyä, kuin H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä ja Ishiharassa.

### **Lanthonyn desaturoitu testi**

Lanthonyn desaturoidussa testissä tulokset olivat samankaltaiset kuin Farnsworth-Munsell 100-Hue -testissä. Ilman linssettä tehdyssä testissä virheitä tuli vain kahdessa kohdassa ja näissäkin kohdissa vain vierekkäiset numerot vaihtoivat paikkaa keskenään. Linseillä tehdyssä testissä virheitä tuli enemmän ja ne olivat arvoltaan suurempia. Linssien kanssa tehdyn testin tulokset kuvaajassa muodostavat niin sanotun siksak-kuvion, joka viittaisi viherheikkouteen.

### **Toiminnallinen värinäkö ja subjektiiviset kokemukset**

Toiminnallista värinäköä testattiin puuvärikynien ja sähköjohtonipun avulla. Puuvärikynistä tutkittava valitsi samat värit ilman linssettä ja linssien kanssa. Myös sähköjohtojen kanssa tulokset olivat samat ilman linssettä ja linssien kanssa. Linseillä ei havaittu olevan vaikutusta toiminnallisen värinäön testauksessa.

Tutkittava 1 koki erottavansa värit selkeämmin linssien kanssa. Myös pienemmät värisävyjen erot oli helpompi havaita linssien kanssa. Violet-sävyn linssit kirkastivat erityisesti punaista ja vihreää väriä. Tutkittava kokeili myös pink- ja magenta –sävyn linssettä mutta koki näiden korostavan kirkkaita värejä jopa liian paljon. Violet-sävy tuntui tutkittavasta tasapainoisimmalta.

Tutkittava oli huomannut punaviherheikkoutensa ala-asteella. Myöhemmin oli tullut vastaan tilanteita, joissa punaviherheikkoudesta on ollut lievää haittaa tai haastetta. Tietokonepelejä pelatessaan tutkittava esimerkiksi säätelee väriasetuksia (deutan-säätö), jotta värien erottaminen olisi helpompaa. Myös ulkona jotkut tilanteet ovat haasteellisia värien erottamisen kannalta, esimerkiksi sateenkaaren värien erottaminen tuntuu tutkittavasta hankalalta, sillä värit tuntuvat sekoittuvan yhteen. Myös puiden lehtien värityksen syksyisin on tutkittavan mukaan haastava ja värien vaihtuminen puissa ruskan aikana on vaikea huomata.

Vaikka tutkittava kertoi punaviherheikkouden tuomista haasteista, enemmän hän kuitenkin on kokenut sen hauskaksi asiaksi. Värit saattavat mennä silloin tällöin sekaisin, mutta tutkittava suhtautuu siihen huumorilla eikä värinäönheikkous ole koitunut suuremmaksi ongelmaksi. Tutkittava kuitenkin koki linseistä olevan apua värien erottamisessa ja voisi kuvitella niistä olevan hyötyä myös arkielämässä.

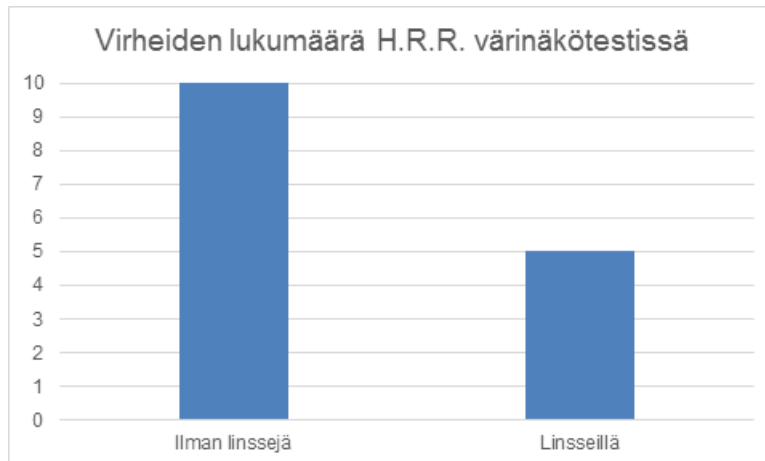
## 6.2.2 Tutkittava 2

Toinen tutkittava oli 47-vuotias mies. Hänellä värinäköä oli testattu ensimmäisen kerran peruskoulussa, jolloin oli todettu punaviherheikkous. Seuraavan kerran punaviherheikkous todettiin armeijassa. Tutkittavalla oli käytössään lukulasit, mutta ne eivät olleet mukana eikä hän muistanut lasien voimakkuustietoja. Kaukonäössään tutkittava ei ole kokenut olevan mitään ongelmaa. Tutkimus aloitettiin refraktion tarkistuksella, josta ilmeni, ettei kaukokorjaukselle ole tarvetta. Lähilisä sen sijaan teki lukemisesta helpompaa ja miellyttävämpää, mutta tutkittava ei kokenut sitä tarpeelliseksi värinäköttestien tekemisessä. Värinäköttestit suoritettiin siis ilman voimakkuuksia. Tutkittava sai kokeilla punaviherheikkouden avuksi tarkoitettuja linsskejä eri sävyissä ja koki parhaimmiksi V-linsit (sävy Violet), joiden kanssa värinäköttestit suoritettiin. Ensin testit tehtiin kuitenkin ilman kyseisiä linsskejä, jotta voitiin arvioida linssien vaikutusta.

### **H.R.R. pseudoisokromaattinen värinäköttesti**

Ensimmäisenä tehtiin H.R.R. pseudoisokromaattinen värinäköttesti. Testitauluissa 5-10 tutkittavalla tuli neljä virhettä. Virheet tulivat tauluissa 7, 8, 9 ja 10, jolloin tulos viittaisi punaviherheikkouteen ja tutkittavalle näytettiin taulut 11-20. Tauluissa 11-20 tutkittavalla tuli kuusi virhettä ja enemmän merkintöjä tuli viherheikkoutta edustavaan sarakkeeseen, jolloin tulos voitiin tulkita viherheikkoudeksi. Viimeinen virhe tuli kohdassa 17, joka viittaisi keskivahvaan heikkouteen (ks. kuvio 10).

Punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen linssien kanssa H.R.R. testin tulos parani selvästi. Tauluissa 5-10 virheitä tuli edelleen neljä, mutta tauluissa 11-20 virheitä tuli enää vain yksi. Virheiden määrä väheni kymmenestä viiteen linssien kanssa. Viherheikkoutta edustavaan sarakkeeseen tuli edelleen enemmän merkintöjä, mutta viimeinen virhe tuli taulussa 11, joten tulos voidaan tulkita lieväksi heikkoudeksi (ks. kuvio 10).



Kuvio 10. Virheiden lukumäärä H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä ilman linsejä ja linssien kanssa (Tutkittava 2).

### Ishihara värinäkötesti

Ishihara värinäkötestissä on testitauluja, jotka sisältävät numeroita tai polkuja. Tutkittavalle tehtiin 24 taulun testi ensin ilman linsejä ja kohdissa 1-15, joissa on numeroita, hänelle tuli kahdeksan virhettä. Virheistä johtuen tutkittavalle näytettiin myös loput taulut. Kohdissa 16 ja 17 tulisi nähdä kaksi numeroa, mutta tutkittava näki vain taulujen ensimmäiset numerot, joten tämä tulos viittaisi vahvaan viherheikkouteen. Taulut 18-24 sisältävät polkuja ja ne näytetään tutkittavalle kirjan viimeisestä taulusta alkaen. Kohdissa 18-24 tutkittavalle tuli neljä virhettä. Kohdassa 18 tulisi nähdä kaksi polkua, punainen ja violetti. Tutkittava näki ainoastaan punaisen polun, joten tulos voidaan tulkita vahvaksi viherheikkoudeksi. Yhteensä tauluista meni oikein 10/24, eli virheitä tuli 14 taulussa (ks. kuvio 11).

Punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen linssien kanssa tulokset muuttuivat selkeästi. Kohdissa 1-15 tutkittavalla tuli enää vain kolme virhettä, kun ilman linsejä niitä tuli kahdeksan. Kohdissa 16 ja 17 tutkittava näki linssien kanssa molemmat numerot normaali-värinäköisen tavoin. Kohdassa 18 tutkittava näki linssien kanssa molemmat polut, sekä punaisen että violetin. Tällöin tulos on normaali, kun se ilman linsejä viittasi vahvaan viherheikkouteen. Kohdissa 18-24 virheitä tuli kaksi. Yhteensä näytetyistä tauluista 19/24 meni oikein, eli virheitä tuli linssien kanssa vain viidessä taulussa (ks. kuvio 11). Linseistä oli siis havaittavissa selvä hyöty Ishihara testissä.





Kuvio 11. Virheiden lukumäärä Ishihara värinäkötestissä ilman linsejä ja linssien kanssa (Tutkittava 2).

### Farnsworth-Munsell 100-Hue -testi

Värisävyjen erottelukykyä mittaavassa Farnsworth-Munsell 100-Hue testissä virheitä tuli sekä ilman linsejä että linssien kanssa. Tutkittava järjesti jokaisen paneelin nappulat värisävyjen mukaiseen järjestykseen paneeli kerrallaan. Yhden paneelin suorittamiseen tulisi kulua noin kaksi minuuttia. Tutkittavalla kului yhteensä kaikkien neljän paneelin suorittamiseen 7,55 minuuttia ilman linsejä. Linssien kanssa aikaa kului yhteensä 8,38 minuuttia. Nappuloiden järjestys merkittiin tuloskaavakkeeseen ja jokaiselle nappulalle laskettiin virhearvo. Nappuloiden virhearvojen perusteella saatiin muodostettua koordinaatistoon kuvaaja, joka kertoo värinäönheikkoudesta ja sen vahvuudesta. Kuvaajat ilman linsejä ja linssien kanssa löytyvät liitteestä 1. Nappuloiden virhearvojen perusteella saatiin laskettua koko testin virhearvo, joka oli ilman linsejä 247. Linssien kanssa testin virhearvoksi saatiin 237. Virhearvot sekä ilman linsejä että linssien kanssa viittasivat alhaiseen värien erotuskykyyn tai värinäönheikkouteen. Koordinaatistoon piirtyneiden kuvaajien perusteella tulokset viittasivat vahvaan viherheikkouteen. Linssien kanssa viherheikkous oli hieman lievempi.

### Lanthony'n desaturoitu testi

Lanthony'n desaturoidussa D-15 testissä tutkittavalla tuli myös virheitä sekä ilman linsejä että linssien kanssa. Tutkittava koki kyseisen testin todella vaikeaksi, joka myös näkyi testituloksissa. Ilman linsejä tehtyyn testiin kului aikaa vain 53 sekuntia, mutta

yksikään nappuloista ei osunut oikealle paikalleen. Koordinaatistoon piirtyi epämääräinen siksak-kuvio, josta oli havaittavissa useampaakin värinäönheikkoutta. Linssien kanssa testin suorittamiseen kului 2,40 minuuttia. Tutkittava koki testin tekemisen helpommaksi linssien kanssa. Virheitä tuli edelleen, mutta säännönmukaisemmin. Linssien kanssa tulos viittasi selkeämmin viherheikkouteen.

### **Toiminnallinen värinäkö ja subjektiiviset kokemukset**

Toiminnallista värinäköä testattiin puuvärikynien ja sähköjohtonipun avulla. Sekä kynien että johtojen kanssa oli havaittavissa pieniä eroja ilman linssijä ja linssien kanssa. Kynistä pyydettiin valitsemaan ensin sininen väri ja piirtämään sillä neliö. Tutkittava piirsi ilman linssijä sinisen neliön tummansinisellä, vaaleansinisellä ja violetilla kynällä. Linssien kanssa tutkittava valitsi vain tummansinisen ja violetin kynän. Muut pyydyt värit tutkittava valitsi samalla tavalla ilman linssijä sekä linssien kanssa ja ne menivät oikein. Johdoista tutkittava erotti sinisen, harmaan, punaisen, mustan, ruskean ja vihreänkeltaisen väriset johdot. Harmaiden johtojen joukossa oli muutama sininen johto. Linssien kanssa tutkittava erotti värit tarkemmin. Hän ei enää yhdistänyt harmaata sinisen kanssa, vaan pystyi jaottelemaan jopa sinisen eri sävyt omiin pinoihinsa. Myös vihreänkeltaiset johdot tutkittava jaotteli omiin pinoihinsa sen mukaan oliko johdoissa enemmän vihreää vai keltaista. Linsseistä tulkittiin olevan hyötyä johtojen erottelussa.

Kolmesta eri sävyvaihtoehdosta violet-sävyn linssit tuntuivat tutkittavasta miellyttävimmiltä. Tutkittavan ensireaktio linseistä oli, että maisema näyttää tummemmalta ja punertavammalta kuin normaalisti. Linssihin tottuminen kävi kuitenkin nopeasti, eikä näkyminen ollut enää niin punainen. Suurimman vaikutuksen tutkittava koki linseillä värisävyyden erottamisessa. Linssien kanssa värit näyttivät kirkkaammilta ja eri sävyt oli helpompi erottaa toisistaan. Erityisesti punaiset värit tulivat kirkkaammiksi.

Tutkittava kertoi normaalisti ruskan aikaan erottavansa puiden lehdistä enimmäkseen ruskean sävyjä sekä hieman vihreän ja keltaisen sävyjä, mutta ei punaista. Linssien kanssa tutkittava havaitsi ruskapuista enemmän keltaista sekä myös selvästi punaisia lehtiä. Ilman linssijä punaiset lehdet tuntuivat katoavan puista. Linssien kanssa sävyerot, esimerkiksi puissa, tulivat selkeämmin esille.

Tutkittava kertoi kohdanneensa hauskoja tilanteita punaviherheikkouden takia muun muassa maalikaupassa, jossa hän oli vihreän maalin sijasta valinnut harmaan maalin.

Hauskojen tilanteiden lisäksi punaviherheikkous on tuonut myös isoja haasteita tutkittavalle. Tutkittavan subjektiiviset kokemukset linssistä tutkimustilanteessa olivat erittäin positiiviset ja hän kokisikin linssien olevan hyödylliset myös muissa arkisemmissä tilanteissa.

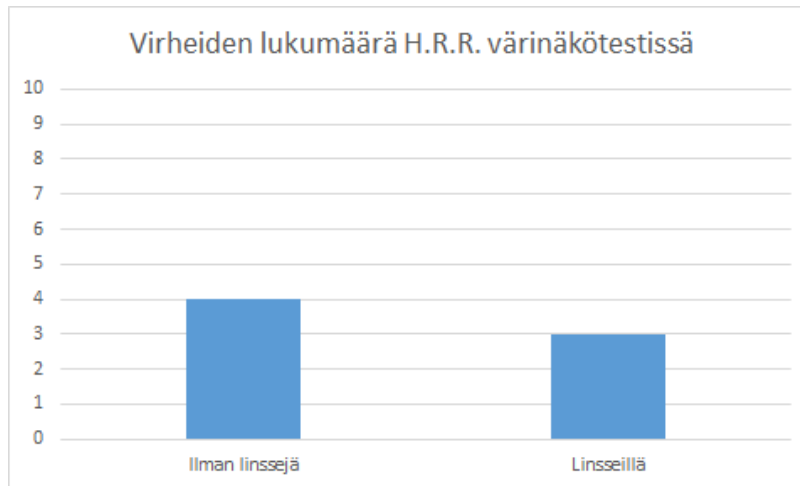
### 6.2.3 Tutkittava 3

Kolmas tutkittava oli 53-vuotias mies. Hänellä värinäönheikkous oli todettu ensimmäisen kerran 9-vuotiaana kouluterveydenhoitajan toimesta. Tämän jälkeen lääkäri oli tutkinut asiaa enemmän ja todennut tutkittavalla olevan vahva punaviherheikkous. Tutkimus aloitettiin jälleen refraktion tarkistuksella, jonka todettiin olevan ajantasainen. Tutkittavalla oli käytössään lukulasit, joten myös värinäkötestit tehtiin hänen omien lähilasivoimakkuuksien kanssa. Tutkittava sai kokeilla eri sävyisiä punaviherheikkouden avuksi tarkoitettuja linsskejä, joista värinäkötestien tekemistä varten valittiin miellyttävimmiltä tuntu- neet V-linssit (sävy Violet).

#### **H.R.R. pseudoisokromaattinen värinäkötesti**

Tutkittavalle tehtiin ensin H.R.R. pseudoisokromaattinen testi ilman linsskejä. Tauluissa 5-10 tuli kaksi virhettä. Virheet tulivat tauluissa 7 ja 10, joka viittaisi punaviherheikkouteen. Seuraavaksi tutkittavalle näytettiin taulut 11-20. Näissä tauluissa tuli myös kaksi virhettä ja viimeinen virheistä tuli taulussa 14, jolloin tulos viittaisi lievään punaviherheikkouteen. Enemmän merkintöjä tuli punaheikkoutta edustavaan sarakkeeseen, jolloin tutkittavalla tulkittaisiin olevan punaheikkous (ks. kuvio 12).

Linssien kanssa tehdyn H.R.R. testin tulokset eivät juurikaan muuttuneet. Tauluissa 5-10 tuli yksi punaviherheikkouteen viittaava virhe. Tauluissa 11-20 tuli kaksi virhettä, joista viimeinen taulussa 13. Tämä tulos viittaisi edelleen lievään punaviherheikkouteen. Merkintöjä tuli sekä viher- että punaheikkoutta edustaviin sarakkeisiin saman verran, yksi molempiin. Tulos voitiin tulkita lieväksi punaviherheikkoudeksi. Virheiden määrä väheni neljästä virheestä kolmeen linssien kanssa (ks. kuvio 12).

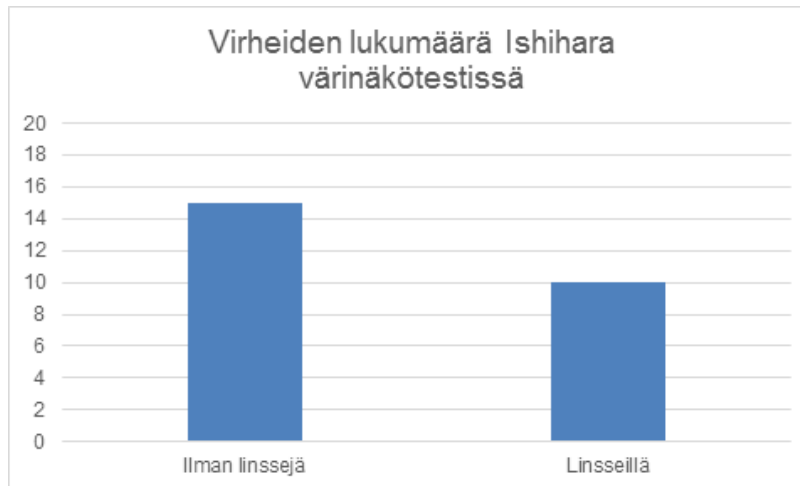


Kuvio 12. Virheiden lukumäärä H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä ilman linssettä ja linssien kanssa (Tutkittava 3).

### Ishihara värinäkötesti

Ishihara värinäkötestissä tutkittavalle näytettiin testitauluja, jotka sisälsivät joko numeroita tai polkuja. Ilman linssettä tehdyssä testissä tutkittavalle tuli kohdissa 1-15 kymmenen virhettä. Kohdissa 16 ja 17 tulisi nähdä kaksi numeroa. Kohdassa 16 tutkittava näki vain ensimmäisen numeron oikein, jolloin tulos viittaisi vahvaan viherheikkouteen. Kohdassa 17 tutkittava näki molemmat numerot oikein, jolloin näiden kahden taulun yhteistulos viittaisi lievään viherheikkouteen. Kohdissa 18-24 on polkuja. Tutkittava sai näistä tauluista oikein kolme. Kohdassa 18 tulisi näkyä violetti ja punainen polku. Näistä tutkittava näki vain punaisen polun, jolloin tulos viittaisi vahvaan viherheikkouteen. Yhteensä tauluista meni oikein 9/24 ja virheitä tuli 15 taulussa (ks. kuvio 13).

Punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen linssien kanssa Ishiharan tulos muuttui. Kohdissa 1-15 tuli enää vain kuusi virhettä. Kohdat 16 ja 17 tutkittava näki samalla tavalla kuin ilman linssettä, kohdassa 16 hän näki vain ensimmäisen numeron ja kohdassa 17 molemmat. Kohdissa 18-24 tuli yksi virhe vähemmän kuin ilman linssettä, oikein meni neljä taulua. Kohdassa 18 tutkittava näki edelleen linssien kanssa vain punaisen polun, mutta kerrottaessa erotti myös violetin polun. Tulos tulkittiin kuitenkin virheeksi. Yhteensä tauluista meni oikein 14/24 ja virheitä tuli kymmenessä taulussa (ks. kuvio 13).



Kuvio 13. Virheiden lukumäärä Ishihara värinäkötestissä ilman linssejä ja linssien kanssa (Tutkittava 3).

### Farnsworth-Munsell 100-Hue -testi

Värisävyjen erotuskykyä mittaavassa Farnsworth-Munsell 100-Hue -testissä virheitä tuli sekä ilman linssejä että linssien kanssa. Tutkittava järjesti neljän paneelin nappulat värisävyjärjestykseen yksi paneeli kerrallaan. Yhden paneelin suorittamiseen tulisi kulua noin kaksi minuuttia. Tutkittavalla kului kaikkien neljän paneelin järjestämiseen yhteensä 9,08 minuuttia ilman linssejä ja linssien kanssa 8,53 minuuttia. Tutkittavan saama värisävyjärjestys merkittiin tuloskaavakkeeseen ja jokaiselle nappulalle laskettiin virhearvo. Virhearvot siirrettiin koordinaatistoon, johon piirtyi väriheikkoutta ja sen vahvuutta ilmaiseva kuvaaja. Kuvaajat tuloksista löytyvät liitteestä 1. Nappuloiden virhearvoista laskettiin koko testin virhearvo, joka oli ilman linssejä 169 ja linssien kanssa 174. Kumpikin tulos viittasi alhaiseen värien erotuskykyyn tai värinäönheikkouteen.

### Lanthonyn desaturoitu testi

Lanthonyn desaturoidussa D-15 testissä tuli myös virheitä sekä ilman linssejä että linssien kanssa. Ilman linssejä testin tekemiseen kului 1,25 minuuttia. Tutkittava järjesti osan nappuloista väärään kohtaan, mutta virheet olivat lieviä eivätkä tulokset viitanneet mihinkään selvään värinäönheikkouteen. Linssien kanssa testin tekemiseen kului 2,18 minuuttia. Tutkittava ei huomannut eroa, oliko testi helpompi tehdä ilman linssejä vai linssien kanssa. Linssien kanssa tehdyssä testissä tuli hieman suurempia virheitä ja tuloskaavakkeeseen piirtyi enemmän siksak-kuviota. Tulos voitaisiin tulkita viherheikkoudeksi.

## Toiminnallinen värinäkö ja subjektiiviset kokemukset

Toiminnallista värinäköä testattiin puuvärikynien ja sähköjohtonipun avulla. Puuvärikynistä pyydettiin ensin valitsemaan sininen kynä ja piirtämään sillä neliö. Ilman linssejä tutkittava valitsi vain tummansinisen kynän, kun linssien kanssa hän valitsi myös vaaleansinisen kynän. Muut pyydetyt värit tutkittava valitsi samalla tavalla ilman linssejä ja linssien kanssa. Kaikki värit menivät oikein. Johdot tutkittava pystyi erottelemaan tarkasti sekä ilman linssejä että linssien kanssa. Toiminnallista värinäköä testatessa linseillä ei havaittu olevan suurta vaikutusta.

Tutkittavan mielestä kolmesta eri sävyvaihtoehdosta violet-sävyn linssit olivat parhaimmat, koska ne korostivat värejä riittävän paljon, mutta ei liikaa. Ensivaikutelma linseistä oli, että maisema muuttui punaiseksi ja hieman tummemmaksi kuin ilman linssejä. Yleinen punaisuus kuitenkin hävisi kun linssihin totutteli hetken. Tutkittava koki linssien parantavan kontrastia sekä tuovan värejä enemmän esille. Erityisesti punaiset ja oranssit värit tulivat voimakkaammin esille. Vihreässä värissä tutkittava ei havainnut suurta eroa. Linssien kanssa vihreä väri näytti hieman tummemmalta.

Linssien kanssa tutkittava kertoi näkevänsä puissa ruskan värit selkeämmin. Normaalisti puut ovat hänen mielestään syksyisin tylsän rusehtavia, kun nyt linssien kanssa puut näyttivät olevan ikään kuin tulessa. Tutkittava totesi huomaavansa nyt, millainen oikeasti on punainen vaahteranlehti. Aiemmin puissa ei ole näkynyt punaisia lehtiä.

Tutkittava kertoi havaitsevänsä punaiset värit ympäristössä herkemmin linssien kanssa. Hän totesi ymmärtävänsä nyt, miksi punaista väriä käytetään esimerkiksi varoitusmerkeissä. Ympäristö voisi käydä jopa stressaavaksi tutkittavan mielestä, jos aina näkisi niin paljon punaista. Tutkittava koki kuitenkin, että linseistä olisi hyötyä erityisesti työssä, jossa hän kokee puutteellisesta värien erottelukyvystä olevan haittaa.

### 6.2.4 Tutkittava 4

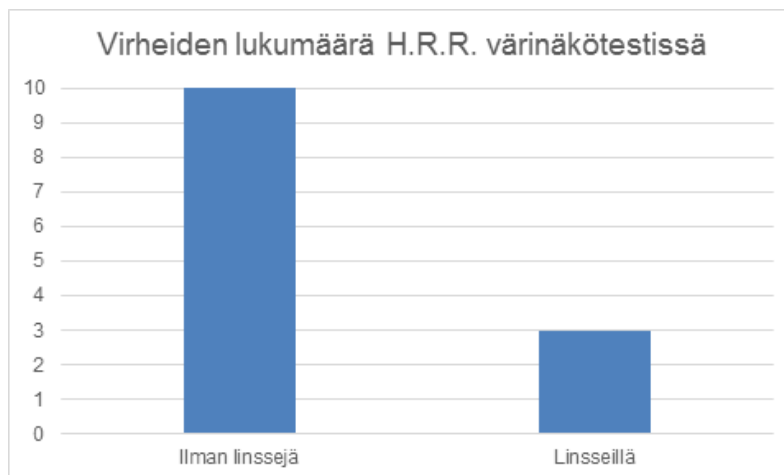
Neljäs tutkittava oli 22-vuotias mies, jolla punaviherheikkous oli todettu sekä ala- että yläasteella ja myöhemmin myös armeijassa. Tutkittavalla ei ollut käytössään minkäänlaisia laseja eikä hän kokenut näössään olevan mitään ongelmaa. Tutkimus aloitettiin

refraktion tarkistuksella, eikä kauko- tai lähikorjaukselle ollut tarvetta. Tutkittava sai kokeilla punaviherheikkouden avuksi tarkoitettuja linsskejä kolmessa eri sävyssä ja koki parhaimmiksi P-linssit (sävy Pink), joiden kanssa värinäkötestit tehtiin.

### H.R.R. pseudoisokromaattinen värinäkötesti

Ensin tutkittava teki H.R.R. pseudoisokromaattisen värinäkötestin ilman linsskejä. Testitauluissa 5-10 virheitä tutkittavalla tuli kohdissa 7, 8 ja 9. Tämän tuloksen perusteella hänellä olisi punaviherheikkous. Tämän tuloksen vuoksi tutkittavalle näytettiin seuraavaksi kohdat 11-20, jotka erottelevat puna- ja viherheikkouden sekä kertovat väriheikkouden vahvuuden. Merkintöjä tuli enemmän viherheikkoutta edustaviin sarakkeisiin, joten tulos voidaan tulkita viherheikkoudeksi (deutan). Kohdissa 11-20 viimeiset virheet tulivat kohdassa 18. Tämä viittaisi keskivahvaan viherheikkouteen. (Ks. kuvio 14.)

Punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen linssien kanssa tulokset paranivat huomattavasti. Kohdissa 5-10 virheitä tuli ainoastaan kohdissa 7 ja 10. Kohdassa 10 tutkittava huomasi, että testitaulussa on jokin kuvio, mutta ei saanut selvää mikä. Kohdissa 11-20 virheitä tuli enää ainoastaan yksi ja tämäkin kohdassa 11. Testitulosten perusteella linssit paransivat tuloksia huomattavasti, sillä koko testissä virheiden määrä väheni kymmenestä virheestä kolmeen linssien kanssa. (Ks. kuvio 14.)



Kuvio 14. H.R.R. pseudoisokromaattisen värinäkötestin virheiden lukumäärä ilman linsskejä ja linssien kanssa (Tutkittava 4).

## Ishihara värinäkötesti

Ilman linssejä tehdyssä Ishihara värinäkötestissä (24 plates) kohdissa 1-15, joissa on numeroita, tutkittavalla tuli 12 virhettä. Kohdat 16 ja 17 sisältävät molemmat kaksi numeroa ja niillä pystyy erottelemaan onko kyseessä puna- vai viherheikkous ja kuinka vahva heikkous on. Kohdassa 16 tutkittava näki vain ensimmäisen numeron samoin kuin kohdassa 17. Tämän tulos viittaisi vahvaan viherheikkouteen. Kohdat 18-24 sisältävät polkuja ja ne näytetään tutkittavalle kirjan viimeisestä taulusta alkaen. Kohdassa 18 testitaulussa on kaksi polkua. Normaalin värinäön omaava henkilö näkee molemmat polut, mutta väriheikkoinen henkilö vain toisen. Punaheikkoinen erottaa vain violetin polun ja viherheikkoinen vain punaisen polun. Tutkittava näki vain punaisen polun, joten tulos viittaisi voimakkaaseen viherheikkouteen. Kohdissa 19-23 virheitä tutkittavalla tuli neljä. Ilman linssejä testitauluista 5/24 meni oikein, joten virheitä koko testissä tuli yhteensä 19 testitaulussa. (Ks. kuvio 15.)

Virheiden lukumäärä erosi selvästi ilman linssejä ja linssien kanssa tehdyissä testeissä. Linssien kanssa virheitä tuli enää yhdeksässä testitaulussa. Kohdissa 1-15 virheitä tuli seitsemässä testitaulussa, kun ilman linssejä virheitä tuli 12. Kohdissa 16 ja 17 tutkittava erotti linssien kanssa molemmat numerot, kun ilman linssejä hän erotti vain ensimmäisen numeron kummassakin kohdassa. Myös kohdassa 18 tutkittava erotti linssien kanssa molemmat polut, kun ilman linssejä hän erotti vain punaisen polun. Linssien kanssa tulokset vastasivat normaalia värinäköä. Kohdissa 19-24 tutkittavalla tuli vain kaksi virhettä linssien kanssa. Linssien kanssa tehdyssä testissä tauluista 15/24 meni oikein. Koko testissä virheiden lukumäärä väheni linssien kanssa huomattavasti ja linsseistä oli havaittavissa selvä hyöty tuloksiin. (Ks. kuvio 15.)





Kuvio 15. Ishihara värinäkötestin virheiden lukumäärä ilman linsejä ja linssien kanssa (Tutkittava 4).

### **Farnsworth-Munsell 100-Hue -testi**

Värisävyjen erottolukykyä mittaavassa Farnsworth-Munsell 100-Hue –testissä tutkittavalla tuli virheitä ilman linsejä ja linssien kanssa, mutta linssien kanssa tulokset paraniivat. Tuloksista laskettiin aluksi jokaisen nappulan virhearvo, joiden avulla koordinaatioon saatiin piirrettyä kuvaaja, joka kertoo värinäönheikkouden ja sen vahvuuden. Tulosten kuvaajat ilman linsejä ja linssien kanssa ovat liitteessä 1. Jokaisen nappulan virhearvosta pystytään laskemaan koko testin virhearvo. Ilman linsejä koko testin virhearvo oli 104, kun linssien kanssa virhearvoksi tuli 53. Ilman linsejä tehdyn testin tulos viittaisi värinäköheikkouteen, mutta linssien kanssa tulos viittasi keskiverto värisävyjen erotuskykyyn. Tulos parani selvästi linssien kanssa tehdystä tutkimuksesta. Testissä mitattiin myös jokaisen paneelin tekemiseen mennyt aika. Ilman linsejä aikaa koko testin tekemiseen kului 8,20 minuuttia. Linssien kanssa aikaa kului 7,57 minuuttia, joten myös testin tekemiseen kului vähemmän aikaa linssien kanssa.

### **Lanthony'n desaturoitu testi**

Lanthony'n desaturoidussa testissä tulokset muuttuivat ilman linsejä ja linssien kanssa. Ilman linsejä nappulat olivat sekalaisessa järjestyksessä. Linssien kanssa ensimmäiset kaksi nappulaa olivat oikealla paikallaan, jonka jälkeen nappulat olivat kolmannesta nappulasta viimeiseen nappulaan asti oikeassa järjestyksessä, mutta käänteisesti. Aikaa nappuloiden järjestämiseen meni ilman linsejä 2,45 minuuttia ja linssien kanssa 2,05 minuuttia. Aika testin tekemiseen parani linssien kanssa ja tutkittava koki testin tekemisen helpommaksi linssien kanssa kuin ilman linsejä.

### **Toiminnallinen värinäkö ja subjektiiviset kokemukset**

Toiminnallista värinäköä testattiin puuvärikynien ja sähköjohtopätkien avulla. Tutkittava valitsi puuvärikynistä samat värit ilman linsejä ja linssien kanssa. Molemmissa tutkittava valitsi pyydetyt värit oikein. Sähköjohtoja eroteltaessa värien mukaan hän erotteli johdot oikein ilman linsejä ja linssien kanssa. Linssien kanssa tutkittava erotteli keltavihreät johdot vielä tarkemmin eri nippuihin. Keltavihreät johdot erosivat toisistaan vihreiden raitojen määrän perusteella.

Tutkittava koki linssivaihtoehdoista parhaimmaksi pink-sävyn. Linssien sävyyn tottui nopeasti tutkittavan mukaan, eikä punaisuus ollut häiritsevää. Punaiset värit tulivat kuitenkin hyvin voimakkaasti esille ja näyttivät räikeämmiltä kuin ilman linsejä. Tutkittava totesi näkevänsä ruskapuista nyt myös punaiset lehdet, kun ilman linsejä hän kiinnitti huomiota vain keltaisiin lehtiin. Kuitenkin myös keltaiset ja oranssit värit erottuivat linssien kanssa selkeämmin. Vihreät ja siniset värit näyttivät tutkittavan mielestä selvästi tummemmilta linssien kanssa. Lisäksi vihreän eri sävyt erottuivat nyt helpommin.

Tutkittava kertoi kohdanneensa haasteita esimerkiksi koulussa, kun hän ei näe vihreälle taululla punaisella liidulla piirrettyjä asioita. Tutkittava kokee kuitenkin, ettei punaviherheikkoudesta ole kovinkaan suurta haittaa hänen elämässään. Muut ihmiset kiinnittävät siihen enemmän huomiota kuin hän itse. Linssellä havaittiin olevan vaikutusta värien näkemiseen, mutta tutkittava ei kuitenkaan kokenut saavansa linseistä suurta hyötyä.

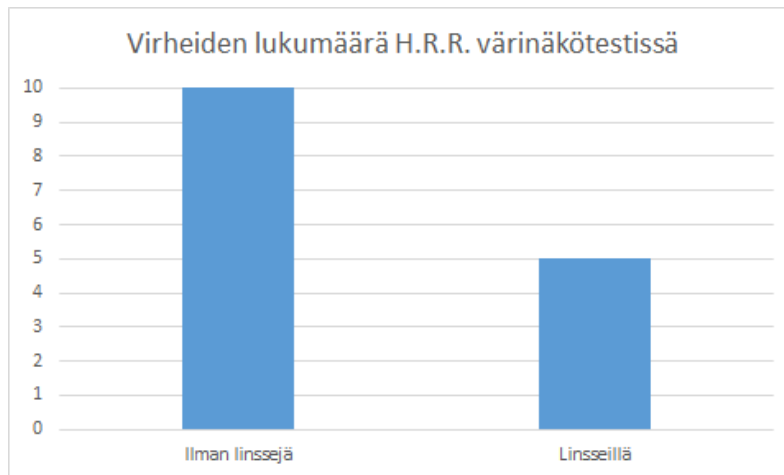
#### 6.2.5 Tutkittava 5

Viides tutkittava oli 21-vuotias mies. Punaviherheikkous hänellä oli todettu ensimmäisen kerran ala-asteella ja myöhemmin myös armeijassa. Tutkittavalla ei ollut käytössään minkäänlaisia laseja, eikä hän kokenut näkemisessä olevan mitään ongelmaa. Tutkimus aloitettiin refraktion tarkistuksella, jonka perusteella varmistuttiin, ettei kauko- tai lähikorjaukselle ollut tarvetta. Tutkittava sai kokeilla eri sävyisiä punaviherheikkouden avuksi tarkoitettuja linsejä ja koki V-linssit (sävy Violet) miellyttävimmiksi, joten värinäköttestit tehtiin hänelle näiden linssien kanssa.

#### **H.R.R. pseudoisokromaattinen värinäköttesti**

Testien tekeminen aloitettiin H.R.R. pseudoisokromaattisella värinäköttestillä ilman linsejä. Testitauluissa 5-10 tutkittavalla tuli virheitä kohdissa 7, 8, 9 ja 10. Seuraavaksi näytettiin kohdat 11-20, jotka erottelevat puna- ja viherheikkouden ja kertovat väriheikkouden vahvuuden. Kohdissa 11-20 tutkittavalla tuli kuusi virhettä. Viimeinen virhe tuli kohdassa 16. Tässä testissä tuloksista ei suoraan pystytty osoittamaan, onko tutkittavalla puna- vai viherheikkous, sillä virheitä tuli saman verran molemmissa osioissa (ks. kuvio 16).

Punaviherheikkouden avuksi tarkoitettujen linssien kanssa tehdyssä testissä tulokset muuttuivat jälleen merkittävästi. Kohdissa 5-10 tutkittavalla tuli enää kolme virhettä. Merkittävin muutos tuli kohdissa 11-20, sillä virheitä tuli enää vain kaksi, kun ilman linsejä tehdyssä testissä niitä tuli kuusi. Viimeinen virhe linssien kanssa tuli kohdassa 13. Tulokset olivat tässä värinäkötestissä huomattavasti paremmat linssien kanssa kuin ilman linsejä. Virheiden lukumäärä puoliintui linssien kanssa tehdyssä testissä. Ilman linsejä virheiden määrä oli kymmenen ja linssien kanssa viisi (ks. kuvio 16).



Kuvio 16. Virheiden lukumäärä H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä ilman linsejä ja linssien kanssa (Tutkittava 5).

### Ishihara värinäkötesti

Ilman linsejä tehdyssä Ishihara värinäkötestissä (24 plates) kohdissa 1-15, joissa on numeroita, tuli tutkittavalla 13 virhettä. Kohdat 16 ja 17 sisältävät kaksi numeroa, joilla pystytään erottamaan puna- ja viherheikkous sekä selvittämään väriheikkouden vahvuus. Kohdassa 16 tutkittava näki vain ensimmäisen kahdesta numerosta. Myös kohdassa 17 hän erotti vain ensimmäisen numeron, joten nämä tulokset viittaisivat vahvaan viherheikkouteen (deutan). Kohdat 18-24 sisältävät polkuja, jotka näytetään tutkittavalle kirjan lopusta alkaen. Kohdassa 18 on kaksi polkua, josta normaalivärinäköinen näkee molemmat polut. Punaheikkoinen henkilö näkee vain violetin polun ja viherheikkoinen henkilö vain punaisen polun. Kohdassa 18 tutkittava erotti vain punaisen polun, joten tämäkin tulos viittaisi vahvaan viherheikkouteen. Kohdissa 19-24 tuli kolme virhettä. Ilman linsejä testitauluista 6/24 meni oikein, joten virheitä koko testissä tuli yhteensä 18 (ks. kuvio 17).

Virheiden lukumäärä ei juurikaan eronnut ilman linsejä tai linssien kanssa tehdyissä Ishiharan testeissä. Kohdissa 1-15 virheitä tuli linssien kanssa yhteensä 12 ja ilman linsejä 13. Kohdissa 16 ja 17, joissa oli kaksi numeroa, tutkittava erotti edelleen vain ensimmäiset numerot. Kohdassa 18, jossa normaali värinäköinen henkilö erottaa violetin ja punaisen polun, tutkittava näki jälleen vain punaisen polun. Nämä tulokset viittaisivat edelleen vahvaan viherheikkouteen. Kohdissa 19-24 virheitä tuli kolme, joka on sama määrä kuin ilman linsejä. Linssien kanssa tehdyssä tutkimuksessa testitauluista 7/24 meni oikein ja virheitä tuli yhteensä 17. Tässä testissä linseistä ei ollut havaittavissa suurta hyötyä testituloksiin (ks. kuvio 17).



Kuvio 17. Virheiden lukumäärä Ishihara värinäkötestissä ilman linsejä ja linssien kanssa (Tutkittava 5).

### Farnsworth-Munsell 100-Hue -testi

Värisävyjen erottelukykyä mittaavassa Farnsworth-Munsell 100-Hue -testissä virheitä tuli ilman linsejä ja linssien kanssa. Linssien kanssa tulos kuitenkin parani. Tuloksista laskettiin aluksi jokaisen nappulan virhearvo, jonka perusteella koordinaatistoon saatiin piirrettyä kuvaaja, joka kertoo mahdollisen väriheikkouden ja sen vahvuuden. Tulosten kuvaajat ilman linsejä ja linssien kanssa näkyvät liitteessä 1. Jokaisen nappulan virhearvosta pystytään laskemaan koko testin virhearvo. Virhearvo ilman linsejä koko testille oli 47 ja linssien kanssa 34. Virhearvo viittasi ilman linsejä ja linssien kanssa keski-verta värisävyjen erotuskykyyn, vaikka tulos parani selvästi linssien kanssa. Testissä mitattiin myös jokaisen paneelin tekemiseen kulunut aika. Yhteensä koko testin tekemiseen ilman linsejä kului 8,08 minuuttia ja linssien kanssa 11,08 minuuttia. Vaikka virhearvo pieneni linssien kanssa, aikaa kului enemmän.

### **Lanthonyn desaturoitu testi**

Lanthonyn desaturoidussa testissä tulokset muuttuivat hieman ilman linssejä ja linssien kanssa tehdyssä testissä. Ilman linssejä tutkittava sai ensimmäisen nappulan oikeaan kohtaan. Tämän jälkeen nappuloiden järjestys oli käänteinen, eli seuraavana jonossa oli viimeinen nappula. Täysin oikein ei käänteinkään järjestys mennyt, sillä numero 12 oli viimeisenä. Linssien kanssa tutkittava sai myös ensimmäisen nappulan oikeaan kohtaan, mutta tämän jälkeen numerot olivat taas käänteisessä järjestyksessä. Nappulat 15-2 olivat kuitenkin nyt käänteisesti oikeissa kohdissa, joten virheitä tuli hieman vähemmän. Aikaa nappuloiden järjestämiseen meni ilman linssejä 2,50 minuuttia ja linssien kanssa 2,26 minuuttia. Linssien kanssa virheitä siis tuli hieman vähemmän ja myös aikaa kului vähemmän.

### **Toiminnallinen värinäkö ja subjektiiviset kokemukset**

Toiminnallista värinäköä tutkittavilta testattiin puuvärikynien ja sähköjohtonipun avulla. Puuvärikynistä tutkittava valitsi samat värit ilman linssejä ja linssien kanssa, joten tässä testissä linseistä ei ollut havaittavissa suurta hyötyä. Molemmissa tutkittava valitsi pyydetyt värit oikein. Sähköjohtoja eroteltaessa ilman linssejä tutkittava lisäsi harmaan johdon sinisten sekaan, kun linssien kanssa hän huomasi sen olevan erivärinen. Linssien kanssa tulos parani ja voidaan sanoa, että linseistä oli hyötyä tässä testissä.

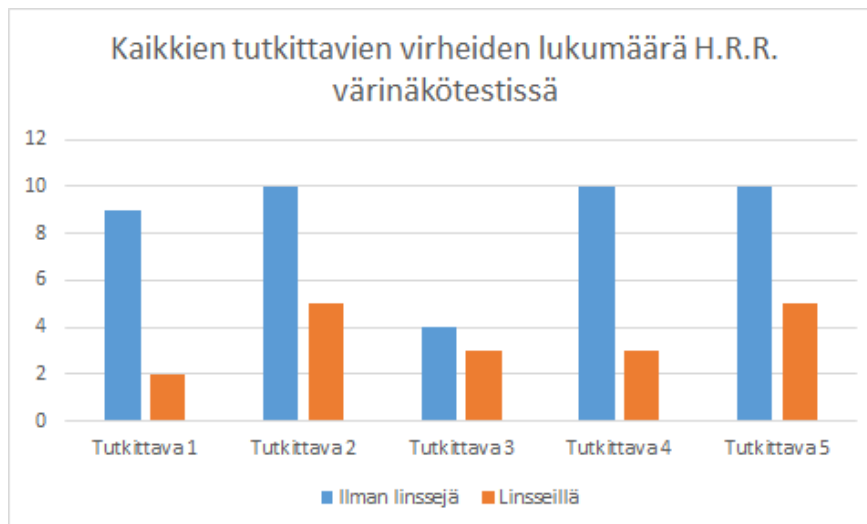
Tutkittava havaitsi violet-sävyn linseillä värien erot selkeämmin. Punaiset värit korostuivat selkeästi enemmän linssien kanssa. Ilman linssejä punaiset yksityiskohdat jäivät huomioimatta. Vihreän eri sävyt erottuivat myös paremmin ja näyttivät kirkkaammilta. Tutkittava huomasi erottavansa etenkin vaaleat värit nyt paremmin toisistaan.

Punaviherheikkous aiheuttaa erilaisia haasteita tutkittavalle. Syysmaisemassa puiden väryksestä häviää punaiset sävyt, lehdissä näkyy eniten keltaista ja hieman vihreänruskeaa väriä. Myös pihlajanmarjat on vaikea erottaa. Tutkittavan subjektiiviset kokemukset olivat erittäin positiivisia ja hän koki saavansa linseistä kaipaamaansa apua värien erottamisessa.

## 7 Johtopäätökset ja pohdinta

Jokaisella viidellä tutkittavalla tulokset olivat samankaltaisia. Erityisesti Ishiharassa ja H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä tulokset paranivat linssien kanssa kaikilla tutkittavilla. Farnsworth-Munsell 100-Hue -testin ja Lanthony'n desaturoidun testin tuloksissa oli myös samankaltaisuuksia, vaikka tulokset eivät olleet yhtä täysin yksiselitteisiä.

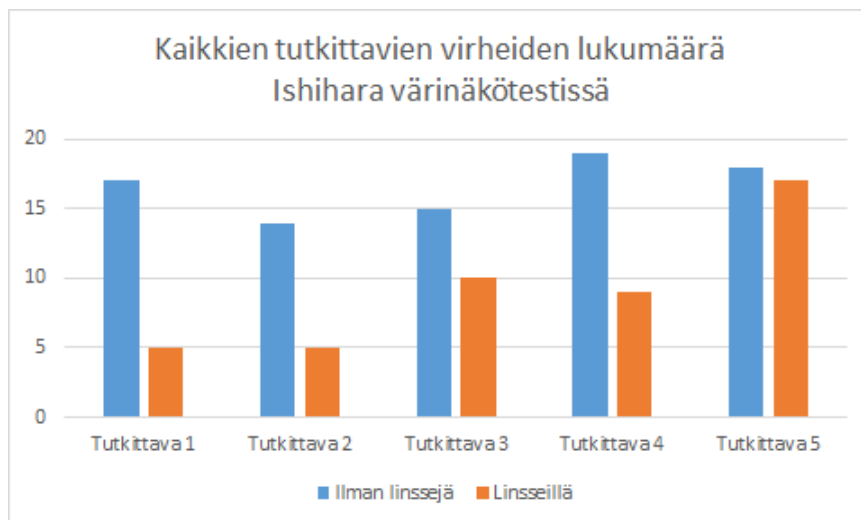
H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä jokaisella tutkittavalla virheitä tuli enemmän ilman linsejä kuin linseillä. Useimmilla tutkittavilla virheiden määrä väheni huomattavasti linssien kanssa. Vain yhdellä tutkittavalla (tutkittava 3) virheiden määrä väheni vain yhdellä linssien kanssa. Tässä tutkittavalla tosin virheitä tuli myös ilman linsejä melko vähän, vain neljä. Suurin osa tutkittavista myös koki, että linssien kanssa tehty testi oli helpompi, kuin ilman linsejä. Vaikka tutkimuksen otos oli vain viisi tutkittavaa, oli jokaisen H.R.R. pseudoisokromaattisen värinäkötestin tulokset yhteneväisiä ja linseistä oli havaittavissa suuri hyöty. Kaikkien tutkittavien virheiden määrä näkyy kuviossa 18.



Kuvio 18. Kaikkien tutkittavien virheiden lukumäärä H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä ilman linsejä ja linssien kanssa.

Myös Ishihara värinäkötestissä virheitä tuli jokaisella tutkittavalla enemmän ilman linsejä. Linssien kanssa virheet vähenivät suurimmalla osalla tutkittavista selvästi. Eniten virheiden määrä linseillä väheni ensimmäisellä, toisella ja neljännellä tutkittavalla. Myös

kolmannella tutkittavalla Ishihara -testin tulokset paranivat selvästi, vaikka H.R.R. pseudoisokromaattisessa värinäkötestissä linsseistä ei ollut havaittavissa niin suurta hyötyä. Vain viidennellä tutkittavalla virheet vähenivät vain yhdellä linssien kanssa. Viidennellä tutkittavalla linsseistä oli havaittavissa suurempi hyöty H.R.R. -testissä. Kokonaisuudessaan myös Ishihara värinäkötestissä linsseistä oli suuri hyöty tuloksiin, sillä jokaisella tutkittavalla virheet vähenivät. Virheiden määrä kaikkien tutkimusten osalta näkyy kuviossa 19.



Kuvio 19. Kaikkien tutkittavien virheiden lukumäärä Ishihara värinäkötestissä ilman linssijä ja linssien kanssa.

Farnsworth-Munsell 100-Hue- testissä tulokset poikkesivat hieman toisistaan. Toisen, neljännen ja viidennen tutkittavan tulosten virhearvot pienenevät linssien kanssa. Ensimmäisessä ja kolmannessa virhearvot sen sijaan kasvoivat linssien kanssa tehdyssä testissä. Useimmissa tutkimuksissa linsseistä oli siis havaittavissa hyötyä 100-Hue -testin tulosten kannalta, mutta ei yhtä paljon kuin H.R.R. värinäkötestissä ja Ishiharassa. Lantihonyn desaturoidussa testissä tulokset olivat hyvin samankaltaisia kuin Farnsworth-Munsell 100-Hue -testissä. Tähän on voinut vaikuttaa se, että kyseiset testit kertovat värisävyjen erottelukyvystä. Linssien kanssa värisävyt saattavat näyttää erilaisilta totuttuihin sävyihin verrattuna.

Toiminnallista värinäköä testatessa jokainen tutkittava erotti puuvärikynistä pyydetyt värit ilman linssijä ja linssien kanssa. Tähän on voinut vaikuttaa se, että tutkittavat ovat tot-

tuneet lapsesta asti elämään värinäköheikkouden kanssa. Toiminnallista värinäköä testatessa tuloksiin olisi voinut mahdollisesti vaikuttaa, jos puuvärikyniä olisi ollut enemmän ja useammassa sävyssä. Testissä käytetyt värit olivat tuttuja päävärejä.

Sähköjohdon pätkiä eroteltaessa tuloksissa oli eroja ilman linssejä ja linssien kanssa. Ilman linssejä kolme tutkittavaa sekoitti harmaan ja sinisen sävyisiä johtoja keskenään. Linssien kanssa tutkittavat pystyivät erottamaan harmaat johdot sinisistä ja erisävyiset siniset johdot omiin nippuihinsa. Myös keltavihreät johdot tutkittavat erottelivat tarkemmin linssien kanssa. Linsseistä oli siis selvästi hyötyä näille tutkittaville, joilla virheitä tuli ilman linssejä, sillä virheitä ei tullut enää ollenkaan linssien kanssa. Linsseistä ei ollut kuitenkaan haittaakaan värien havainnoimiseen, sillä tutkittavilla, joilla ei tullut virheitä ilman linssejä, ei tullut niitä myöskään linssien kanssa.

Subjektiiivisesti tutkittavat kokivat linsseistä olevan hyötyä. Moni heistä koki, että etenkin punainen väri kohoaa esille enemmän linssien kanssa. Yksi tutkittavista oli myös huomannut syksyisin, että omenapuissa olevat punaiset omenat eivät näkyneet, ennen kuin ihan lähietäisyydeltä. Kuviossa 20 on havainnollistettu tätä ilmiötä puissa olevien punaisten lehtien avulla. Tilassa, jossa tutkimukset tehtiin, oli paljon punaisia varoitusmerkkejä. Linssien kanssa tutkittavat huomasivat ne paljon paremmin. Yksi tutkittavista koki punaisen varoitusvärin paljouden jopa hieman häiritsevänä ja hän miettikin kuinka stressaavaa elämää olisi, jos punainen väri erottuisi aina niin hyvin.



Kuvio 20. Normaalisti värit näkevä henkilö erottaa puissa punaisia lehtiä, kun taas viherheikkoinen ei niitä näe.



Yksi tutkittavista harrasti suunnistusta ja hänelle punaviherheikkous aiheutti haittaa kartan värien tulkitsemisessa. Suunnistuskartoissa oli merkattu maa-alueita vaaleanvihreällä ja vaaleankeltaisella ja nämä värit olivat kartassa vierekkäin. Ilman linsskejä hän ei osannut erottaa näitä värejä toisistaan, mutta linssien kanssa hän erotti vaaleankeltaisen ja vaaleanvihreän värin toisistaan. Tämän perusteella linseistä olisi suuri hyöty suunnistusharrastuksessa. Tutkittava mainitsi myös, että rastimerkkejä merkataan usein punaisella nauhalla. Tämän erottaminen metsässä vihreää taustaa vasten tuotti myös hankaluuksia. Olisikin mielenkiintoista kokeilla, auttavatko linssit myös tämän erottamisessa.

Eräs tutkittavista kertoi merenkulussa käytettävän sellaisia värikoodauksia, jotka punaviherheikkoisen on vaikea tulkita. Punaviherheikkouden takia tutkittavalta oli evätty pääsy merivoimiin armeija-aikoina. Tutkittava koki linssien tuovan helpotusta värien ja värisävyjen erottamiseen tutkimustilanteessa, joten olisikin mielenkiintoista nähdä, helpottuisiko värikoodien tulkinta myös merellä.

Tutkimusten tekemisen aikaan puissa oli upeat ruskan värit, joten sitä hyödynnettiin subjektiivisten kokemusten havainnoimisessa. Tutkittavia pyydettiin katsomaan puiden lehtien väriä ilman linsskejä ja linssien kanssa. Suurin osa tutkittavista havaitsi puissa ilman linsskejä vain vihreän, keltaisen ja ruskean sävyjä. Linssien kanssa he huomasivat, että puissa on paljon myös punaisia lehtiä ja lehtien värit tulivat paremmin esille. Kuviossa 21 on havainnollistettu tätä värien erottumista.



Kuvio 21. Puiden lehtien värit normaali värinäköiselle ja viherheikkoiselle. (Salo)

Yksi jatkotutkimusehdotus olisi tutkimus linsien käyttökokemuksista. Olisi mielenkiintoista selvittää kokemuksia henkilöillä, joilla linssit olisivat olleet testikäytössä pidempään, esimerkiksi muutaman viikon ajan. Tutkimuksessa voisi selvittää, kokisivatko tutkittavat linseistä selvän hyödyn arkiaskareissa tai näyttäytyisikö maailma erilaisena kun linsejä käyttää kauemmin. Punaviherheikkouden avuksi tarkoitetuista linseistä voisi myös tehdä kirjallisuuskatsauksen, jossa verrattaisiin eri valmistajien linsejä.

Vaikka tutkimuksen otos oli melko pieni, voisi linsejä tutkimustulosten perusteella suositella punaviherheikkoisille henkilöille. Linsejä olisi ainakin syytä kokeilla, erityisesti jos on kokenut punaviherheikkoudesta olevan haittaa esimerkiksi jonkin harrastuksen tai muun ajanvietteen parissa.

## Lähteet

Acquired Colour Vision Defects. Color Blindness Awareness. Verkkodokumentti. <<http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/acquired-colour-vision-defects/>>. Luettu 1.10.2016.

Birch, Jennifer 1998. Diagnosis of Defective Colour Vision. Butterworth-Heinemann.

Color Blindness Tests 2006. Colblindor. Verkkodokumentti. <<http://www.color-blindness.com/color-blindness-tests/>>. Luettu 1.9.2016.

Color Vision Deficiency, n.d. American Optometric Association. Verkkodokumentti. <<http://www.aoa.org/patients-and-public/eye-and-vision-problems/glossary-of-eye-and-vision-conditions/color-deficiency?sso=y>>. Luettu 1.9.2016.

Deutanopia – Red-Green Color Blindness, n.d. Colblindor. Verkkodokumentti. <<http://www.color-blindness.com/deutanopia-red-green-color-blindness/>>. Luettu 16.9.2016.

Farnsworth D-15 and Lanthony Test Instructions 2006. Ohje. Richmond Products Inc.

Hirsjärvi, Sirkka - Remes, Pirkko - Sajavaara, Paula 2004. Tutki ja kirjoita. 10. painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Karpecki, Paul M. - Shechtman, Diana L. 2013. Review Of Optometry. Verkkodokumentti. <<https://www.reviewofoptometry.com/article/color-me-curious>>. Luettu 1.10.2016.

Kohl, Susanne – Jägle, Herbert – Wissinger, Bernd 2004. Achromatopsia. NCBI. Verkkodokumentti. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK1418/>>. Luettu 26.9.2016.

Pease, Paul L. 1998. Color Vision. In Faist Benjamin, William J. (eds.): Borish's Clinical Refraction. W.B. Saunders Company.

Protanopia – Red-Green Color Blindness, n.d. Colblindor. Verkkodokumentti. <<http://www.color-blindness.com/protanopia-red-green-color-blindness/>>. Luettu 1.10.2016.

Purves, D – Augustine, GJ – Fitzpatrick, D 2001. Cones and Color Vision. NCBI. Verkkodokumentti. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11059/>>. Luettu 20.9.2016.

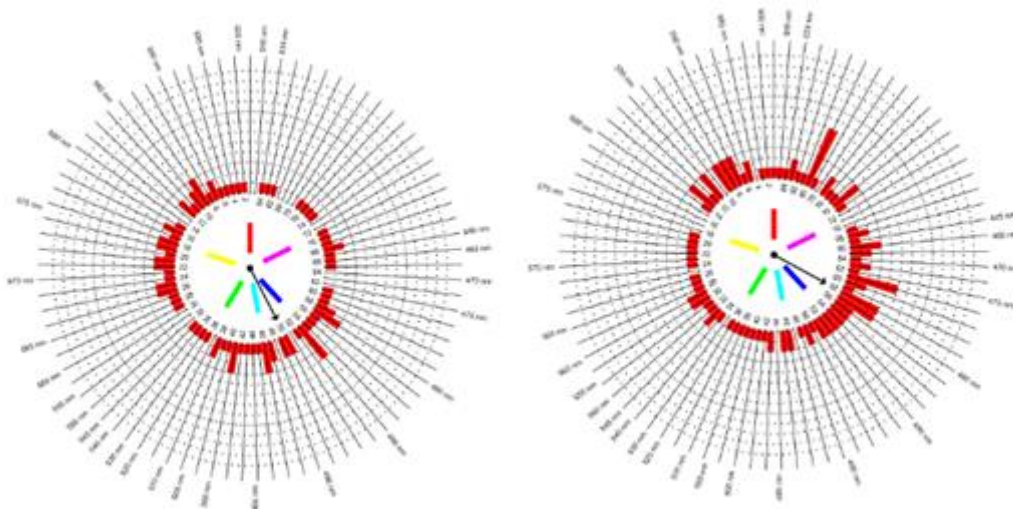
Red-Green Colour Blindness, n.d. Colblindor. Verkkodokumentti. <<http://www.color-blindness.com/red-green-color-blindness/>>. Luettu 16.10.2016.

Saarelma, Osmo 2016. Lääkärikirja Duodecim. Verkkodokumentti. <[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00347](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00347)>. Luettu 19.9.2016.

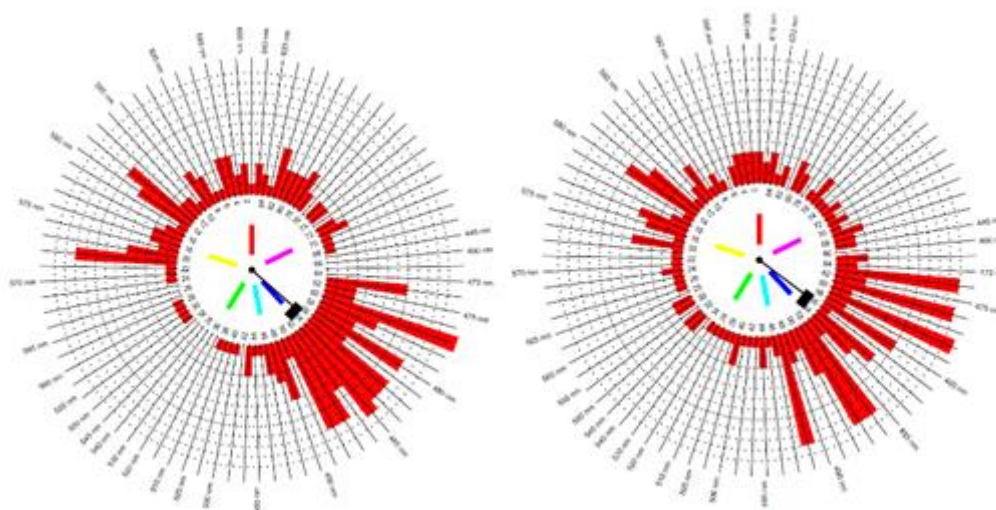
Salonen-Kajander, Riitta 2015. Lääkärikirja Duodecim. Verkkodokumentti. <[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00985](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00985)>. Luettu 19.9.2016.

Tritanopia – Blue-Yellow Color Blindness, n.d. Colblindor. Verkkodokumentti. <<http://www.color-blindness.com/tritanopia-blue-yellow-color-blindness/>>. Luettu 2.10.2016.

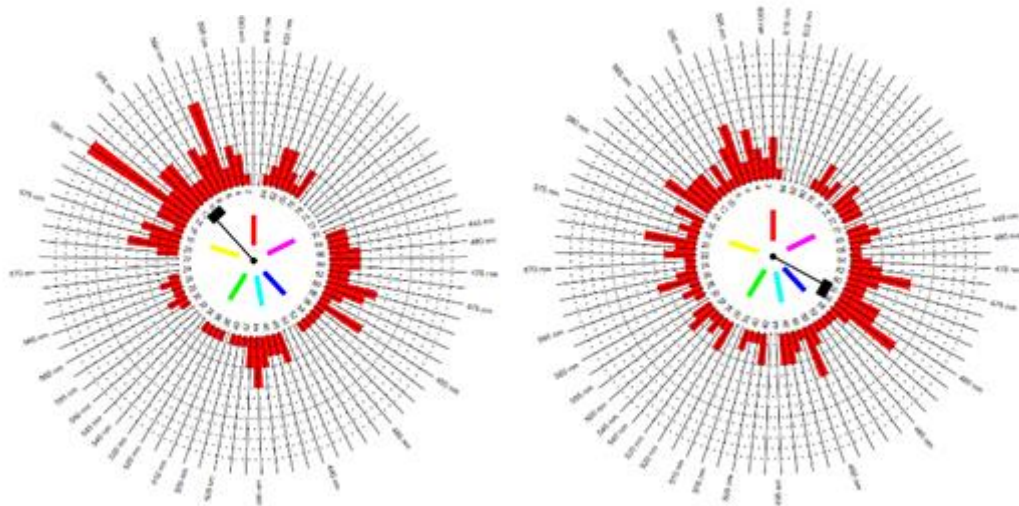
## Farnsworth-Munsell 100-Hue -testin tulokuvaajat



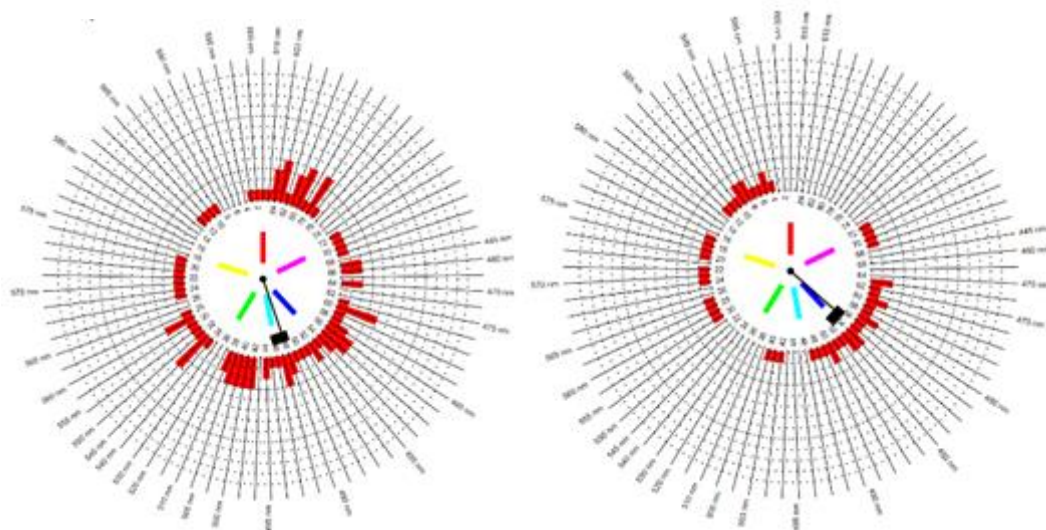
Tutkittava 1. Farnsworth-Munsell 100 Hue Test –värinäkötestin tulokset ilman linsejä ja linssien kanssa.



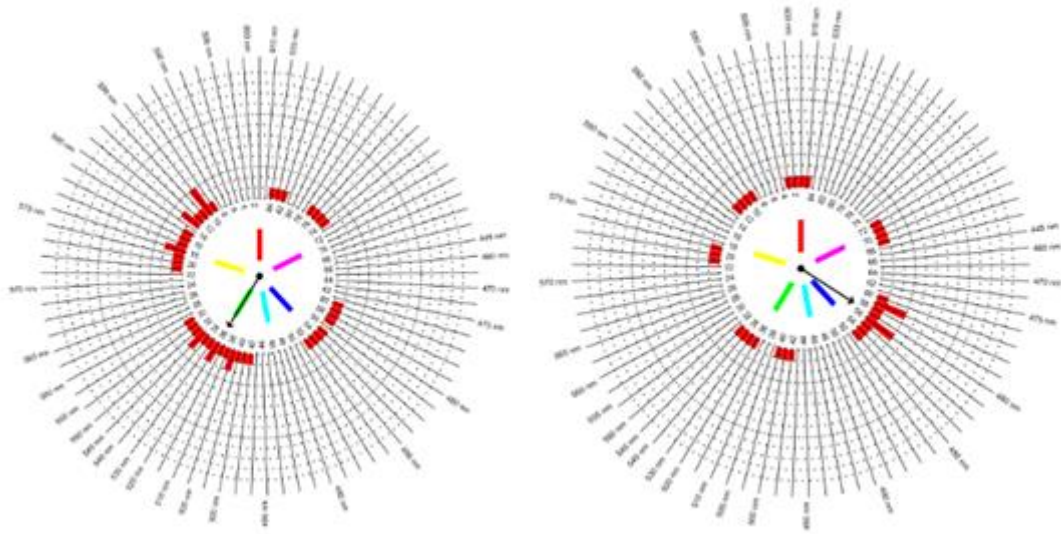
Tutkittava 2. Farnsworth-Munsell 100 Hue Test –värinäkötestin tulokset ilman linsejä ja linssien kanssa.



Tutkittava 3. Farnsworth-Munsell 100 Hue Test –värinäkötestin tulokset ilman linsejä ja linssien kanssa.



Tutkittava 4. Farnsworth-Munsell 100 Hue Test –värinäkötestin tulokset ilman linsejä ja linssien kanssa.



Tutkittava 5. Farnsworth-Munsell 100 Hue Test –värinäkötestin tulokset ilman linsejä ja linssien kanssa.