

Tapio Koivu, Oskari Lehvonen

Onko koolla väliä?

Tutkimus pupillin halkaisijan vaikutuksesta refraktioon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Optometrismi

Optometrian koulutusohjelma

Opinnäytetyö

28.03.2013

Tiivistelmä

<p>Tekijät Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Tapio Koivu, Oskari Lehvonen Onko koolla väliä?</p> <p>48 sivua + 7 liitettä Kevät 2013</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Optometrismi (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Optometrian koulutusohjelma</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Lehtori Eero Kokko Lehtori Juha Päällysaho</p>
<p>Opinnäytetyössämme selvitimme, vaikuttaako pupillin koon muutos näöntarkastuksessa saataviin refraktiivisiin tuloksiin. Seurasimme myös vaikuttaako pupillin laajentuminen heikentävästi tutkittavien näöntarkkuuteen. Aiemmin tehtyjen tutkimusten mukaan sekä likitaitteisuus että hajataitteisuus voivat lisääntyä merkittävästi pupillin halkaisijan kasvaessa.</p> <p>Yhdistimme tutkimuksessa kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Refraktiiviset tutkimukset tehtiin kymmenelle optometriaa opiskelevalle henkilölle. Tutkittavista kaikki olivat naisia ikäjakauman ollessa 22-36 vuotta. Koehenkilöiden pupillit laajennettiin sykloplegisilla silmätipoilta (Oftan® Tropicamid 5 mg/ml). Kaikille koehenkilöille tehtiin kolme näöntarkastusta, joista jokaisella kerralla pupillin koko rajattiin foropterin takalinssiin kiinnitettävillä neulanreikälinssillä. Mittauksissa käytettyjen neulanreikälinssien halkaisijat olivat kolme, viisi ja seitsemän millimetriä. Tutkimusaineisto koostuu näöntarkastuksista saaduista tuloksista ja tutkimusten aikana tehdyistä tai koehenkilöiden kertomista huomioista. Tutkimustulokset analysoitiin yksilöllisesti Microsoft Excel –taulukkolaskentaohjelmaa apuna käyttäen.</p> <p>Saatujen mittaustulosten mukaan pupillin koko ei aiheuta niin suuria refraktiivisia muutoksia kuin aiemmin julkaistut tutkimukset antoivat odottaa. Suurimmalla osalla tutkittavista refraktio muuttui vain jonkin verran mustuaisaukon halkaisijan kasvaessa. Koehenkilöiden väliset erot olivat kuitenkin suuria. Neulanreiän kasvun vaikutukset myös näöntarkkuuksiin vaihteli suuresti. Tutkittavien sfääriset voimakkuudet muuttuivat keskimäärin $0,11 \pm 0,13$ dioptriaa ja sylinteriarvot keskimäärin $0,24 \pm 0,26$ dioptriaa. Hajataitteisuuden akselisuunta muuttui keskimäärin $6 \pm 6,8$ astetta. Suurin mitattu sfäärisen voimakkuuden muutos oli 0,50 dioptriaa ja sylinterivoimakkuuden muutos 1,0 dioptriaa, kun pupillin koko kasvoi kolmesta millimetristä seitsemään millimetriin. Suurin akselisuunnan muutos oli 25 astetta. Tutkimustulokset osoittavat, että pupillin koko voi vaikuttaa merkittävästi yksittäisten henkilöiden taittovirhekorjaukseen, vaikka keskimääräisesti muutokset eivät olisikaan kovin merkittäviä.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>Pupilli, aberraatiot, i.Profiler, refraktio</p>

Abstract

Authors Title	Tapio Koivu, Oskari Lehtonen Does size matter?
Number of Pages Date	48 pages + 7 appendices Spring 2013
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Program	Optometry
Specialisation option	Optometry
Instructors	Eero Kokko, Senior Lecturer Juha Päälylyaho, Senior Lecturer
<p>The purpose of our Bachelor's Thesis was to investigate if the increase of the pupil size impacts on refractive results. We also measured if it has decreasing impact on visual acuity. Previous research of the topic shows that myopia and astigmatism may increase significantly because of the dilation of the pupil.</p> <p>In the study we combined both quantitative and qualitative research methods and the sample group consisted of ten students studying optometry. All the subjects were women. The youngest of whom was 22 years old and the oldest 36 years old. Subjects' pupils were dilated with cycloplegic eye drops (Oftan® Topicamid 5 mg/ml) and refracted through three different sizes of pinholes. Diameters of the pinholes were three, five and seven millimeters. The material of the study consisted of the refractive results and the notes made during the research. The results were analyzed case by case and using Microsoft Excel to draw charts and calculate the mean values.</p> <p>The effect of the pupil size wasn't as significant as expected based on previous researches. In most cases the refraction had some variation between the smallest and the biggest pinholes. Variation between subjects was remarkable. The mean change between the smallest and the biggest pinholes in spherical power was $0,11 \pm 0,13$ diopters and in cylinder power $0,24 \pm 0,26$ diopters. The axis changed $6 \pm 6,8$ degrees. The most significant change in spherical power was 0,50 diopters and in cylinder 1,00 diopters. The biggest change in the axis was 25 degrees. The results show that even though average changes in refractions between different sizes of pinholes were small, the size of the pupil may have remarkable effect on vision in some individuals.</p>	
Keywords	Pupil, aberrations, i.Profiler, refraction

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sarveiskalvo	3
2.1	Epiteeli	4
2.2	Bowmanin kerros	4
2.3	Strooma	4
2.4	Descementin kalvo	5
2.5	Endoteeli	5
3	Värikalvo ja pupilli	6
4	Mykiö	7
5	Taittovirheet	8
5.1	Myopia	9
5.1.1	Yömyopia	10
5.2	Hyperopia	11
5.3	Astigmatia	12
6	Aberraatiot	13
6.1	Aberraatioiden jaottelu	16
7	Tutkimuksen toteutus	18
7.1	Tutkimusjoukko	19
7.2	Tutkimuksen eteneminen	19
8	Tutkimustulokset	21
8.1	Koehenkilö 2	24
8.2	Koehenkilö 3	27
8.3	Koehenkilö 5	30
8.4	Koehenkilö 7	33
8.5	Koehenkilö 9	36
9	Tulosten analysointi	39
10	Pohdinta	41

Liitteet

Liite 1. Näöntarkastuslomake

Liite 2. Zeiss i.Profiler kuvat tutkimushenkilöiden silmien aberraatioista

Liite 3. Tutkimustulokset

Liite 4. Zeiss i.Profiler autorefraktometritulokset

Liite 5. Zeiss i.Profiler valopisteen kuvautuminen

Liite 6. Zeiss i.Profiler näöntarkkuus ilman korjausta

Liite 7. Zeiss i.Profiler aberraatioiden määrät mikrometreinä

1 Johdanto

Suomessa optikot ovat perinteisesti tehneet näöntarkastuksia hyvin vaihtelevissa valaistusolosuhteissa joko koekehysillä tai foropterilla, kiinnittämättä huomiota pupillin kokoon tai sarveiskalvon aiheuttamiin kuvautumisvirheisiin. Osa optikoista suosii täysin pimeää näöntarkastustilaa, toiset taas hyvin valaistua tilaa ja osa jotain näiden valaistustasojen väliltä. Näöntarkastustulos eli refraktio toimii yleensä hyvin niissä valaistusolosuhteissa, joissa se on mitattu. Muissa valaistusolosuhteissa se voi olla jonkinasteinen kompromissi. Kahden eri tutkijan, samalle henkilölle, tekemien näöntutkimusten tulokset voivat vaihdella jopa 1,55 dioptrian (Meister - Thibos 2010: 1). Tällainen tulosten vaihtelu voi johtua useista eri tekijöistä, kuten esimerkiksi valaistusolosuhteista, sarveiskalvon aiheuttamista kuvautumisvirheistä ja pupillin koosta. Pimeässä tarkastushuoneessa tehdyn näöntarkastuksen tulokset voivat olla myöppisempia eli isompia miinuskorjauksia, johtuen suuresta pupillin halkaisijasta ja sarveiskalvon laita-alueiden erilaisista valontaitto-ominaisuuksista. Tämä saattaa aiheuttaa asiakkaalle valaistuissa olosuhteissa ylikorjatut miinusvoimakkuudet. Vastaavasti valoisassa tehty tutkimus voi aiheuttaa alikorjatut voimakkuudet siirryttäessä pimeään ympäristöön. Ali- tai ylikorjatuilla silmälaseilla asiakkaan näkeminen ei todennäköisesti ole miellyttävää. Silmälasilinssteknologian ja hiontatekniikoiden digitalisoitumisen kehittyessä nopeasti ovat ensimmäiset valmistajat alkaneet tuoda markkinoille yksilöllisiä, yksilöllisen silmän anatomian huomioon ottavia linsejä. Niiden voimakkuuslaskennassa otetaan huomioon muun muassa pupillin koko, sarveiskalvon epäsäännöllisyydet ja silmän liikkeet. Nämä asiat huomioon otettaessa päästään perinteisessä näönkorjauksessa aivan uudelle tasolle.

Aloimme aktiivisesti miettiä opinnäytetyömme aihetta alkukeväästä 2012. Olimme päättäneet, että haluamme toiminnallisen aiheen, jossa voimme mahdollisesti saada esille uutta tietoa sen sijaan, että analysoisimme vanhoja tutkimustuloksia. Aluksi meillä oli useampiakin aiheita, kunnes ohjaajamme Juha Päällysaho ehdotti, että tutkisimme opinnäytetyössämme pupillin koon ja sarveiskalvon laita-alueiden aiheuttamien pienten kuvautumisvirheiden eli aberraatioiden vaikutusta refraktioon. Aihe on Suomessa nyt ajankohtainen optikoiden saatua vuonna 2010 luvan, lisäkoulutuksen hankittuaan, käyttää pupillia laajentavia tippoja omassa työssään. Mielenkiintomme lisääntyi entisestään Päällysahon kerrottua, ettei vastaavanlaisia

tutkimuksia ole juurikaan tehty, ja ettei hänelläkään ole tietoa siitä millaisiin tuloksiin tutkimuksessa päästäisiin.

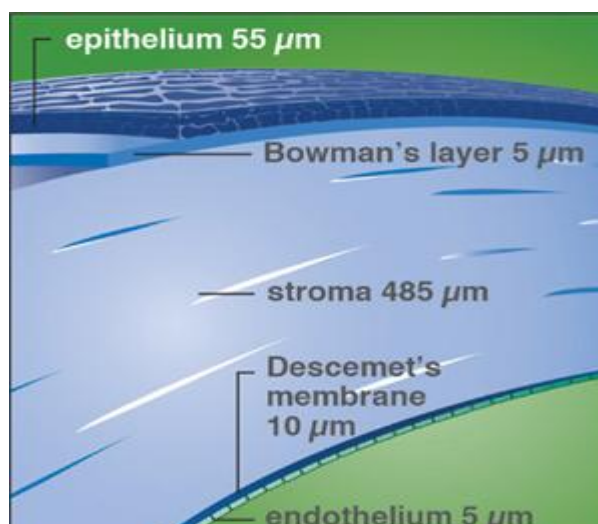
Valitsimme tutkimukseemme kymmenen koehenkilöä satunnaisotannalla omalta kurssiltamme SO10K1. Ohjaajamme avustuksella laajensimme tutkittavien pupillit Tropicamidi-tipoilla, (Oftan® Topicamid 5 mg/ml) jotta pupillin halkaisija pysyisi mahdollisimman suurena ja stabiilina koko tutkimuksen ajan. Lisäksi lääkeaine salpaa silmän mukautumiskyvyn eli akkommodaation, jolloin näöntarkastuksen tekeminen on helpompaa ja tulos on luotettavampi. Teimme jokaiselle koehenkilölle kolme kaukorefraktiota rajaamalla pupillin koon joka kerralla erikokoiseksi. Käytimme pupillin koon säätelyyn itse rakentamiamme neulanreikälinssijä, jotka kiinnitimme forofterin takalinssikiinnikkeeseen. Käyttämämme neulanreiät olivat halkaisijoltaan kolme, viisi ja seitsemän millimetriä. Teimme jokaiselle koehenkilölle refraktiot satunnaisissa järjestyksissä ja niin, ettei näöntutkimuksen suorittaja tai koehenkilö tiennyt minkä kokoinen neulanreikä milläkin kerralla oli käytössä. Näin varmistimme sen, etteivät kummankaan henkilön omat odotukset vaikuttaneet mittaustuloksiin. Lisäksi mittasimme koulultamme löytyvällä Zeiss i.Profiler aberrometrillä koehenkilöiden silmien kaikki kuvautumisvirheet eli aberraatit. Näiden mittausten tarkoituksena oli löytää selittäviä tekijöitä mahdollisille näöntarkastuksissa esiin tuleville voimakkuusmuutoksille. Zeiss i.Profiler -kuvantamislaitte mittaa silmän kuvautumisvirheet samoilta mustuaisaukon halkaisijoilta, joita me käytimme refraktion määrittämiseen. Analysoimme tutkimustulokset koehenkilökohtaisesti Microsoft Excel – taulukkolaskentaohjelmaa apuna käyttäen. Excelillä piirsimme tuloksista kuvaajia ja laskimme muun muassa keskiarvoja ja keskihajontaa.

Opinnäytetyömme kirjallinen osio koostuu teoriaosuudesta, tutkimuksessamme saaduista tuloksista ja niiden analyysistä sekä pohdinnasta. Lisäksi arvioimme tulosten merkitsevyyttä, luotettavuutta ja opinnäytetyön onnistumista. Teoriaosuudessa keskityimme sarveiskalvon ja pupillin toimintaan liittyvien elinten anatomiaan sekä taittovirheisiin ja näkemiseen vaikuttaviin kuvautumisvirheisiin eli aberratioihin. Työn tarkoituksena oli saada selville kuinka paljon pupillin koon vaihtelulla on todellisuudessa merkitystä näkemiseen ja näöntarkastustuloksiin. Optikoiden saama ”pro auctore” -lääkemääräämisoikeus tulee todennäköisesti lisäämään laajennetulle pupillille tehtyjen näöntarkastusten määrää, jonka vuoksi pupillin koon huomioiminen on entistä tärkeämpää ja ajankohtaisempaa.

2 Sarveiskalvo

Sarveiskalvo on yhdessä sitä peittävän kyynelnesteen kanssa silmän uloin ja tärkein valoa taittava kudus. Niiden yhteistaittovoima on noin 43 dioptriaa, mikä on kaksi kolmasosaa koko silmän taittovoimasta. Sarveiskalvo kattaa noin 7 % koko silmän pinta-alasta. Sarveiskalvon pintaa peittävä kyynelfilmi tasoittaa sarveiskalvon epätasaisuuksia ja yhdessä ne tarjoavat laadultaan erinomaisen optisen pinnan. (Lawrenson 2010: 10.) Normaali sarveiskalvon keskialue on kaarevuudeltaan säännöllinen, mutta reunoja kohti sen muoto loivenee. Sarveiskalvon tärkein ominaisuus on sen kirkkaus, jonka mahdollistaa sarveiskalvon säännöllinen lamellaarinen rakenne ja verisuonettomuus. Kirkas sarveiskalvo on tarkan näkökyvyn ehdoton edellytys.

Sarveiskalvo saa tarvitsemansa ravinteet sekä hapen sarveiskalvon ja kovakalvon erottavalta limbukselta, kammiovedestä ja kyynelneesteestä diffuusion avulla. Toinen lähes yhtä tärkeä sarveiskalvon tehtävä on myös suojata silmän sisäosia ulkoisilta vaurioilta ja infektioilta. (Kivelä 2011: 16.) Sarveiskalvo on muodoltaan elliptinen ja sen keskimääräinen halkaisija aikuisella on 11,7 millimetriä vaakasuunnassa ja 10,6 millimetriä ylä-alasuunnassa (Hamano – Kaufman 1997: 3). Sarveiskalvon paksuus keskialueella on keskimäärin 0,5 millimetriä ja laita-alueilla 0,7 millimetriä (Kivelä 2011: 146). Sarveiskalvo voidaan jakaa viiteen kerrokseen (kuviot 1 ja 2).



Kuvio 1. Sarveiskalvon rakenne (Morgan 2010).

2.1 Epiteeli

Sarveiskalvon uloin kerros on epiteelikerros. Se on noin 10 % sarveiskalvon koko paksuudesta (Lawrenson 2010: 11). Epiteeli itsessään koostuu noin kuudesta kerroksesta, jotka uusiutuvat jatkuvasti. Tämän ominaisuuden ansiosta epiteeliin tulevat haavaumat paranevat nopeasti. Epiteelin kantasolut sijaitsevat limbuksella, josta solut vaeltavat ensin sarveiskalvon keskusta ja sieltä sen pintaan. (Kivelä 2011: 16.) Epiteelin pintasolujen rakenne on muokkautunut sopimaan erinomaisesti sarveiskalvon uloimmaksi suojaavaksi kerrokseksi ja se toimii aktiivisessa vuorovaikutuksessa kyynelfilmin kanssa. (Lawrenson 2010: 11). Epiteeli on kiinnittynyt tyvikalvoonsa melko löysästi ja voi helposti irrota, jos sarveiskalvoa raapaistaan. (Kivelä 2011: 16.)

2.2 Bowmanin kerros

Epiteelin tyvikalvon alla sijaitsee tiivis sidekudoskerros, Bowmanin kerros. Se koostuu epäsäännöllisesti järjestyneistä kollageenisäikeistä ja sen kokonaispaksuus vaihtelee kahdeksasta neljääntoista mikrometriin. Toisin kuin epiteeli, Bowmanin kerros ei uusiudu, joten siihen ulottuvat vammat arpeutuvat. (Kivelä 2011: 16.) Bowmanin kerros päättyy ulkoreunoiltaan limbukseen (Forrester – Dick - McMenemy - Lee 1999: 15). Bowmanin kerroksen toiminta ja anatomia on vielä osittain epäselvä. Jotkut tutkijat ovat sitä mieltä, että Bowmanin kerros muodostuu epiteelistä ja on jollain tasolla myös epiteelin ylläpitämää. Bowmanin kerroksen arvoituksellisuutta lisää se, että suurimmalta osalta nisäkkäistä se puuttuu kokonaan, mutta sen ei ole havaittu vaikuttavan millään tavalla niiden sarveiskalvon toimintaan. (Lawrenson 2010: 12.)

2.3 Strooma

Strooma on tiivis ja paksu kerros, joka muodostaa suurimman osan (90 %) sarveiskalvosta. Se koostuu pääasiassa kerroksittaisista ja yhdensuuntaisista kollageenisäikeistä, joita on noin 200–250 kerrosta. (Lawrenson 2010: 12.) Kollageenisäikeet ovat järjestäytyneet säännönmukaisesti ja tarkasti juuri oikeanlaisiin kulmiin ja etäisyyksiin toisiinsa nähden. Tämä säännönmukaisuus on edellytys sarveiskalvon kirkkaudelle. Kollageenisäikeiden välissä on litteitä, keratosyyteiksi kutsuja, sidekudossoluja, jotka ylläpitävät kollageenisäikeiden säännönmukaista

rakennetta. (Forrester ym. 1999: 15–16). Strooman vahingoittuessa keratotsyytit muodostavat haavauman kohdalle samean arven. (Kivelä 2011: 16–17.)

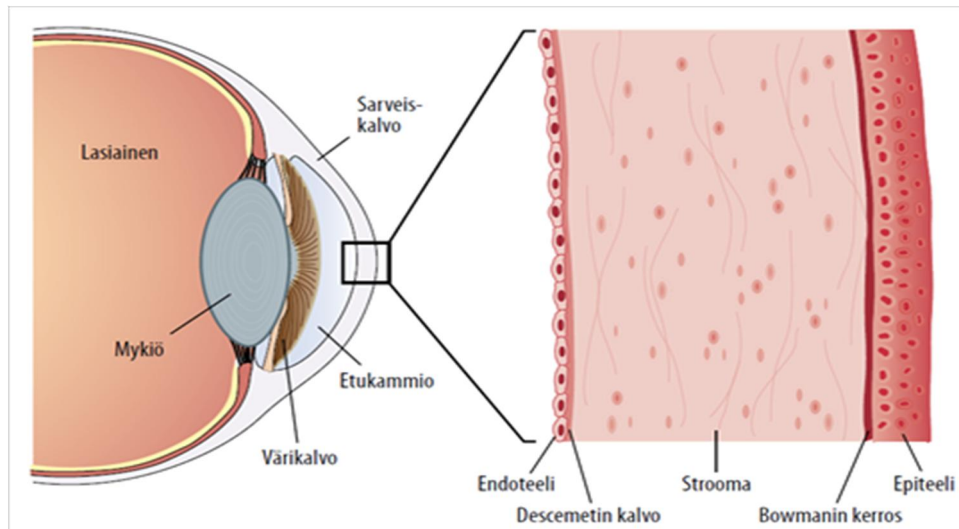
2.4 Descementin kalvo

Descementin kalvo on rakenteeltaan ohut ja homogeeninen sarveiskalvon endoteelisolujen tyvikalvo (Forrester ym. 1999: 17). Descementin kalvo paksuuntuu jatkuvasti iän myötä. Vastasyntyneellä sen paksuus on kolmesta neljään mikrometriä (μm) ja aikuisella 10-12 μm . Sen biokemiallinen rakenne on ainutlaatuinen verrattuna kaikkiin muihin tyvikalvoihin. Descementin kalvo koostuu tyypin VIII kollageenisäikeistä, kun muut tyvikalvot ovat tyypin IV kollageeneja. (Lawrenson 2010: 13.)

2.5 Endoteeli

Sarveiskalvon viimeisin kerros ennen etukammiota on endoteeli. Se muodostuu uusiutumattomista kuusikulmaisista endoteelisolusta, jotka pumppaavat aktiivisesti nestettä sarveiskalvosta etukammioon. (Kivelä 2011: 17.) Tämän pumpun tarkoitus on poistaa ylimääräistä nestettä sarveiskalvolta ja ilman sen aktiivista toimintaa sarveiskalvo turpoaa. Sarveiskalvon turpoaminen taas saattaa muuttaa strooman kollageenisäikeiden järjestystä ja vaikuttaa näin heikentävästi sarveiskalvon läpäisykykyyn. Myös endoteeliin asti ulottuva trauma voi aiheuttaa ongelmia silmän nestekierrossa.

Endoteelisolut eivät uusiudu, joten kun solut iän myötä vähenevät, viereiset endoteelisolut venyvät ja paikkaavat syntyneen tyhjiön. (Forrester ym. 1999: 17). Vastasyntyneellä endoteelisoluja on noin 500 000, mutta jo ensimmäisen elinvuoden aikana niiden määrä pienenee 26 %. Ensimmäisen vuoden jälkeen solujen väheneminen kuitenkin hidastuu huomattavasti. Solujen venymisen myötä niiden säännöllinen kuusikulmainen rakenne muuttuu. Endoteelisolujen vähenemiseen ja muodon muuttumiseen vaikuttavat myös esimerkiksi sairaudet, ulkoinen trauma ja pitkittynyt piilolinssien käyttö. (Lawrence 2010: 14.)



Kuvio 2. Sarveiskalvo (Holopainen – Krootila 2010).

3 Värikalvo ja pupilli

Värikalvo eli iiris sijaitsee etukammion ja takakammion välissä, lähellä mykiön etupintaa. Reunoiltaan värikalvo on kiinnittynyt sädekehään. Iiriksen keskelle jäävää reikää kutsutaan mustuaiseksi tai pupilliksi. Värikalvon pääasiallinen tehtävä on säädellä pupillin kokoa ja näin kontrolloida silmän sisään pääsevän valon määrää ja toisaalta estää valon heijastumista silmän sisällä. (Kivelä 2011: 19.) Pupillin mukautuminen eri valaistusolosuhteisiin mahdollistaa tarkan näkemisen kirkaassakin valossa (Meister – Thibos 2010: 2). Terveellä henkilöllä molempien silmien pupillit ovat yleensä samankokoiset, pyöreät ja sijaitsevat keskellä iiristä (Benjamin – Pensyl 1998: 304).

Pupillia rajaava värikalvo voidaan jakaa kahteen kerrokseen, stroomaan ja epiteeliin. Strooma on löyhästä sidekudoksesta koostuva värikalvon etummainen kerros. Strooman melanosyyttien sisältämä pigmentin määrä määrittää silmien värin. Lähellä pupilliaukkoa strooman takaosassa on mustuaisen kurojalihas. (Forrester ym. 1999: 22-24.) Värikalvon takapinnan muodostaa kaksikerroksinen epiteeli. Sen etummaisesta kerroksesta muodostaa laajentajalihas. Epiteelin takimmainen kerros koostuu paksuista pigmentoituneista soluista, joiden ainoa tehtävä on estää valon heijastuminen silmän sisällä. Värikalvon ja sädekehän yhtymäkohdassa, limbuksen kohdalla silmän sisällä, on kammiokulma, josta suurin osa silmän sisällä kiertävästä kammionesteestä

suodattuu pois silmästä. Jos kammionesteen uloskierto häiriintyy, paine silmässä kasvaa. (Kivelä 2011: 18–19.)

Pupillin kokoa säätelee kaksi autonomisen hermoston ohjaamaa lihasta, mustuaisen laajentaja- ja kurojalihasta. Laajentajalihasta hermottaa sympaattinen hermosto ja se saa nimensä mukaisesti aikaan pupillin laajenemisen. Lihaksista vahvempi, mustuaisen kurojalihasta on parasympaattisen hermoston kontrolloima ja se supistaa pupillia. Koska kurojalihasta on laajentajalihasta vahvempi, se myös lopulta määrää pupillin koon. (Benjamin – Pensyl 1998: 304)

Pupillin halkaisija on normaalissa valaistuksessa aikuisilla keskimäärin kolme millimetriä, mutta voi vaihdella 1,3 millimetristä aina 10 millimetriin saakka. Halkaisija alkaa kuitenkin hitaasti kaventua teini-ikäisen jälkeen. James Birrenin johtama tutkimusryhmä havaitsi vuonna 1950 julkaistussa tutkimuksessa (Birren – Casperson – Botwinic 1950), että pupillin koko pienenee merkittävästi iän myötä. Pupillin koko vaihtelee jatkuvasti myös katseluetäisyyksien, ja niiden aiheuttaman konvergenssi sekä akkommodaatiomuutosten takia, ja vallitsevien valaistusolosuhteiden mukaan. (Benjamin – Pensyl 1998: 303.) Hämärässä valaistuksessa pupillin halkaisija kasvaa, jolloin kaikki mahdollinen valo pääsee silmän sisään. Kirkkaassa valossa se taas pienenee ja vähentää häikäistymistä. (Meister - Thibos 2010: 6) Myös lähelle katsoessa pupillin koko pienenee, jolloin silmän syväterävyys paranee. (Kivelä 2011: 19.) Laskennallisesti näkeminen on terävintä pupillin halkaisijan ollessa noin kaksi millimetriä. Tällöin se estää verkkokalvon liiallisen häikäistymisen eikä sarveiskalvon laita-alueiden aberraatioita häiritse näkemistä. Lisäksi syväterävyys on hyvä pupillin ollessa pieni. (Benjamin – Pensyl 1998: 303.)

4 Mykiö

Mykiö on heti värikalvon ja pupilliaukon takana sijaitseva läpinäkyvä ja kaksoiskupera linssi. Se on täysin verisuoneton ja saa ravintonsa kammionesteestä. Mykiön kirkkaus perustuu mykiösäikeiden säännölliseen rakenteeseen sekä tarkasti toimivaan aineenvaihduntaan ja nestetasapainoon. Nestetasapainon järkkäytyminen mykiössä saattaa aiheuttaa sen turpoamisen ja pahimmillaan samentumisen. Iän myötä mykiö muuttuu kellertäväksi ja siihen kertyy näköä haittaavia samentumia. Näitä samentumia kutsutaan kaiheksi. (Kivelä 2011: 22–23)

Mykiön pääasiallinen tehtävä on hienosäätää näkemistä eri etäisyyksille muuttamalla taittovoimaansa. Tätä linssin polttovälin mukauttamista kutsutaan akkommodaatioksi. Mykiön kyky lisätä taittovoimaansa akkommodaation avulla mahdollistaa muun muassa lähelle katsomisen. Akkommodaation toiminta perustuu aktiiviseen lihastyöhön ja mykiön kimmoisuuteen. Sädekehän supistuessa mykiön ripustinsäikeet löystyvät ja mykiön elastisuus pakottaa sen pyöristymään, jolloin taittovoima lisääntyy. Lepotilassa mykiö on ohuimmillaan ja taittovoima pienimmillään. Mykiön taittovoima on noin 18 dioptriaa, joka on noin yksi kolmasosa koko silmän taittovoimasta. (Grosvenor 2007: 5)

Akkommodaatio toimii tahdosta riippumatta, mikä voikin vaikeuttaa esimerkiksi näöntarkastuksen tekemistä, koska silmän taittovoima ja sitä myötä myös taittovirheen määrä vaihtelevat kokoajan. Iän myötä akkommodaatiokyky eli akkommodaatiolaajuus vähenee mykiön kovettumisen myötä. Akkommodaation heikentyessä normaalitaitteinen ihminen ei pysty enää näkemään lähelle ilman oikeanalaista silmälasikorjausta. (Grosvenor 2007: 5.) Henry Hofstetter julkaisi vuonna 1950 kaavan (Goss 1995: 121), jolla voidaan laskea arvioitu akkommodaatiolaajuuden minimimäärä iän perusteella, $15 - 0,25 \times \text{ikä}$. Kaavan perusteella esimerkiksi 20-vuotiaalla on akkommodaatiota kymmenen dioptriaa ja 40-vuotiaalla viisi dioptriaa.

Mykiö jaetaan rakenteeltaan neljään kerrokseen. Uloimpana on mykiön kapseli, joka toimii mykiön epiteelisolujen tyvikalvona. Kapselin alla on epiteelikerros. Epiteelikerroksen pinnalla olevat epiteelisolut kulkeutuvat ajan myötä syvemmälle mykiöön ja menettävät lopulta tumansa. Nämä vuosien varrella kerääntyvät kuolleet epiteelisolut kovettavat mykiötä ja tekevät siitä paksumman. Nuorella ihmisellä mykiö on kimmoisa ja sen paksuus on noin 3,5–4,0 millimetriä, mutta 80–90 vuotiailla se voi olla jopa noin viisi millimetriä paksu. Kaksi mykiön sisintä kerrosta ovat pehmeistä nuorista mykiösäikeistä koostuva kuorikerros ja vanhoista mykiösäikeistä koostuva tuma. Tuma tiivistyy ja kovettuu jatkuvasti iän myötä. (Kivelä 2011: 22–23.)

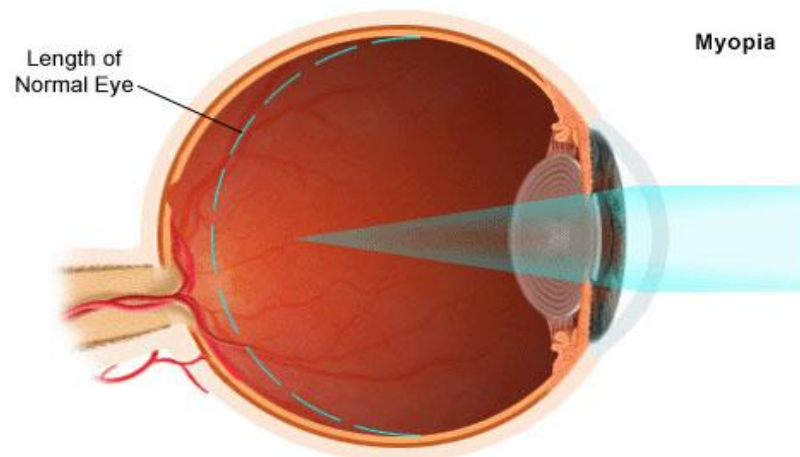
5 Taittovirheet

Silmää, jossa ei ole minkäänlaista taittovirhettä kutsutaan emmetroopiksi. Tällöin akkommodaation ollessa rentoutunut silmän sisään tulevat yhdensuuntaiset, paralleelit,

valonsäteet taittuvat verkkokalvon tarkannäkemisen alueelle eli fovealle. Jos silmän pituus on suhteessa taittovoimaansa liian lyhyt tai liian pitkä, taittavat valonsäteet joko verkkokalvon etu- tai takapuolelle. Kaikkia emmetropiasta poikkeavia tiloja voidaan kutsua yhteisesti ametropiaksi. (Rosenfield 2006: 3.) Tällöin näkeminen on epätarkkaa ja silmä tarvitsee valonsädekimppua kasaavan tai levittävän linssin tarkentamaan näkemistä. Seuraavissa kappaleissa esitellään tarkemmin yleisimpiä silmälaseilla korjattavia taittovirheitä.

5.1 Myopia

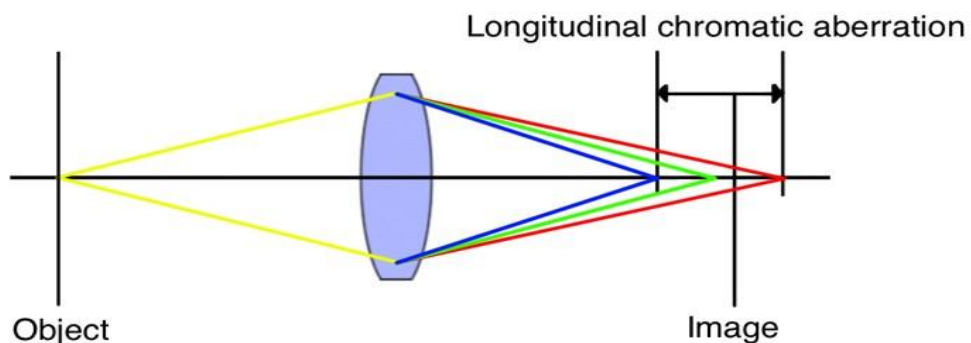
Myoppisessa eli likitaitteisessa silmässä silmän taittovoima on liian suuri silmän aksiaaliseen pituuteen nähden, jolloin valonsäteet taittuvat verkkokalvon eteen (kuvio 3). Tämä voi johtua joko silmän liian suuresta taittovoimasta tai silmän liiallisesta pituudesta tai näiden yhdistelmästä. Myoppi näkee hyvin lähelle, mutta kauas näkeminen on epätarkkaa. Myoppisen silmän kauimmainen tarkkana näkyvä piste metreissä, eli kaukopiste, saadaan laskemalla tarvittavan silmälaseikorjauksen dioptriaarvon käänteisarvo. (Rosenfield 2006, 3.) Esimerkiksi -2,0 dioptriaa likitaitteisen henkilön kaukopiste on $1 / -2,0$ eli 0,50 metriä. Myopiaa korjataan valonsäteitä hajottavalla miinuslinssillä.



Kuvio 3. Myopia (Rose Optivals PVT. LTD 2009).

5.1.1 Yömyopia

Joidenkin tutkimusten mukaan heikon valaistuksen aiheuttama pupillin laajeneminen lisää pitkittäisen kromaattisen aberraation vaikutusta näkemiseen. Kromaattisella aberraatiolla tarkoitetaan valon eri aallonpituuksien erilaista taittumista silmän pohjalla. Kromaattisessa aberraatiossa valon lyhyet siniset aallonpituudet taittuvat voimakkaammin kuin pitkäaaltoiset punaiset valonsäteet (kuvio 4). Valon määrän ollessa vähäistä silmä on herkimmillään juuri lyhyille sinisille valon aallonpituuksille, jotka taittuvat myoppiselle silmälle ominaisesti verkkokalvon eteen, tai hyperooppisessa silmässä normaalia vähemmän verkkokalvon taakse. Kromaattisen aberraation vaikutus refraktioon voi pimeässä olla -0,35 dioptriasta -0,40 dioptriaan. (Rosenfield 2006: 3, 8.) Kromaattisen aberraation lisäksi yömyopiaan on väitetty vaikuttavan myös sfäärisen aberraation määrä. Aberraatio syntyy, kun valonsäteet taittuvat voimakkaammin linssin, tai tässä tapauksessa sarveiskalvon, laita-alueita kohti siirryttäessä. (Grosvenor 2007: 13.)



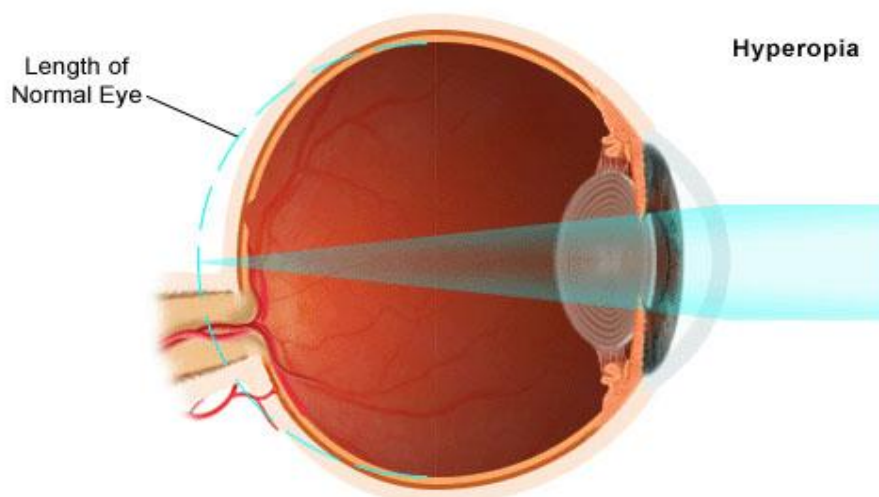
Kuvio 4. Kromaattinen aberraatio (Carl Zeiss Meditec 2012).

Toisaalta eräät tutkijat ovat sitä mieltä, että yömyopia johtuu akkommodaation lisääntymisestä. Teorian mukaan hämärässä ihminen näkee luonnostaan huonommin kuin valoisassa, mikä saa silmän yrittämään tarkentaa kuvaa lisäämällä akkommodaatiota (Rosenfield 2006: 6). Akkommodaation rentoutumisen edellytys on katseltavan kohteen tarkkarajaisuus. Mikäli kohde on epätarkka, niin kuin hämärässä yleensä on, akkommodaatio lisääntyy. (Grosvenor 2007: 15). Tutkimusten mukaan hämärän aiheuttama lisääntynyt akkommodaatio voi lisätä myopiaa 0,50 dioptriasta jopa 1,0 dioptriaan asti (Rosenfield 2006: 6). Vuonna 1983 julkaistussa tutkimuksessa

Epstein D. (Epstein 1983.) tutki yömyopiaa koehenkilöillä, joiden toisesta silmästä oli poistettu mykiö, eikä kyseisessä silmässä siis ollut toimivaa akkommodaatiota. Silmä, josta mykiö oli poistettu, toimi akkommodaatiokyky pois lukien normaalisti. Hän havaitsi, että valon määrän vähentäminen aiheutti myopian lisääntymistä ainoastaan siinä silmässä, jossa mykiö toimi normaalisti. Silmä, jossa mykiötä ei ollut, ei reagoinut merkittävästi valaistusvoimakkuuden vaihteluihin. Tästä hän teki johtopäätöksen, että yömyopia ei johdu niinkään pupillin koosta, vaan akkommodaation ylitoiminnasta.

5.2 Hyperopia

Hyperopialla tarkoitetaan tilaa, jossa, akkommodaation ollessa rentoutunut, silmään tulevat paralleelit valonsäteet taittuvat verkkokalvon taakse (kuvio 5). Tämä voi johtua silmän taittavien elementtien liian vähäisestä taittovoimasta tai silmän suhteellisen lyhyestä aksiaalisesta pituudesta. (Rosenfield 2006: 9.). Jotta hyperoppi näkisi terävästi, on hänen jatkuvasti käytettävä akkommodaatiotaan taittovirheensä verran. Silmän kyky korjata hyperopiaa riippuu kyseisen henkilön akkommodaatiokyvystä ja hyperopian määrästä. Tilaa, jossa akkommodaatio riittää korjaamaan hyperopian, kutsutaan latentiksi hyperopiaksi. Kun akkommodaatio ei enää yksin riitä korjaamaan hyperopiaa, siitä tulee manifesti hyperopia. (Grosvenor 2007: 16–17.) Hyperopiaa korjataan valonsäteitä kasaavalla pluslinssillä.



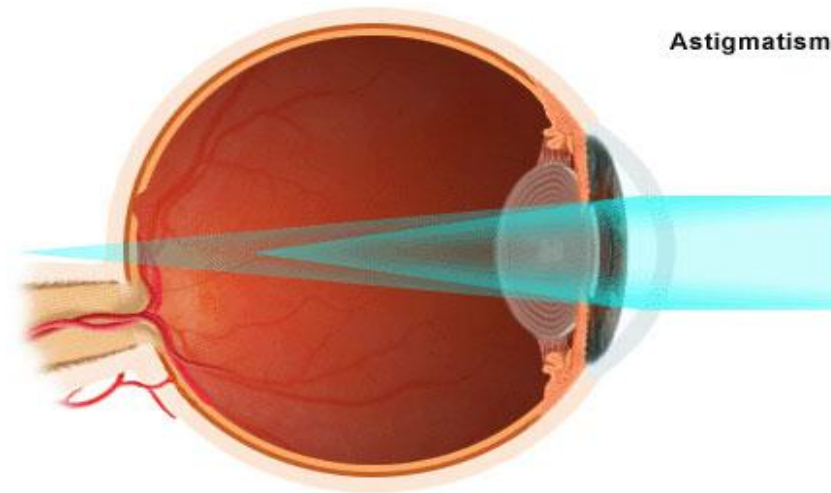
Kuvio 5. Hyperopia (Rose Opticals PVT. LTD 2009).

5.3 Astigmatia

Hajataitteisuus eli astigmatia johtuu yleensä sarveiskalvon etupinnan epäsymmetrisyydestä. Sarveiskalvo ei tällöin ole pallopintainen, vaan sillä on kaksi eri kaarevuussädettä eri meridiaaneilla (kuvio 6). (Saari 2001: 292.) Silmäluomen aiheuttama paino on yksi merkittävimmistä sarveiskalvon hajataitteisuuteen vaikuttavista tekijöistä, varsinkin nuorilla lapsilla (Rosenfield 2006: 10). Pienemmän kaarevuussäteen meridiaanilla taittovoima on suurempi kuin loivemmalla kaarevuussäteellä. Joskus pieni hajataitteisuus voi olla myös mykiön epäsymmetrisyyden aiheuttamaa, mutta huomattavammat hajataitteisuudet ovat yleensä sarveiskalvon muodostamia. (Grosvenor 2007: 18.) Astigmatiasta johtuen kaikki silmään tulevat valonsäteet eivät taitu silmässä yhteen pisteeseen vaan epäsäännölliseksi alueeksi. Hajataitteisuus heikentää näöntarkkuutta noin puolet vähemmän kuin vastaava määrä sfääristä taittovirhettä. Tyypillisiä astigmatian aiheuttamia oireita ovat katselukohteiden venyminen, päänsärky ja silmien ärtyminen. (Saari 2001: 292.)

Astigmatia voidaan jakaa säännölliseen ja epäsäännölliseen muotoon. Säännöllisessä astigmatiassa suurimman ja pienimmän kaarevuussäteen meridiaanit ovat kohtisuorassa toisiaan vasten. Epäsäännöllisessä astigmatiassa taas meridiaanien väli on pienempi tai suurempi kuin 90 astetta. Epäsäännöllinen astigmatia voi johtua esimerkiksi sarveiskalvolla olevasta arvasta tai keratokonuksesta. (Saari 2001: 292.)

Säännönmukaisessa astigmatiassa sarveiskalvon pienempi kaarevuussäde on pystysuunnassa ja suurempi kaarevuussäde vaakasuunnassa. Tällöin valonsäteet taittuvat vähemmän vaakasuunnassa. Säännönvastaisessa hajataitteisuudessa pienempi kaarevuussäde on vaakasuunnassa tai vinossa suunnassa, esimerkiksi 60 tai 120 asteessa. (Saari 2001: 292.)



Kuvio 6. Astigmatia (Rose Optivals PVT. LTD 2009).

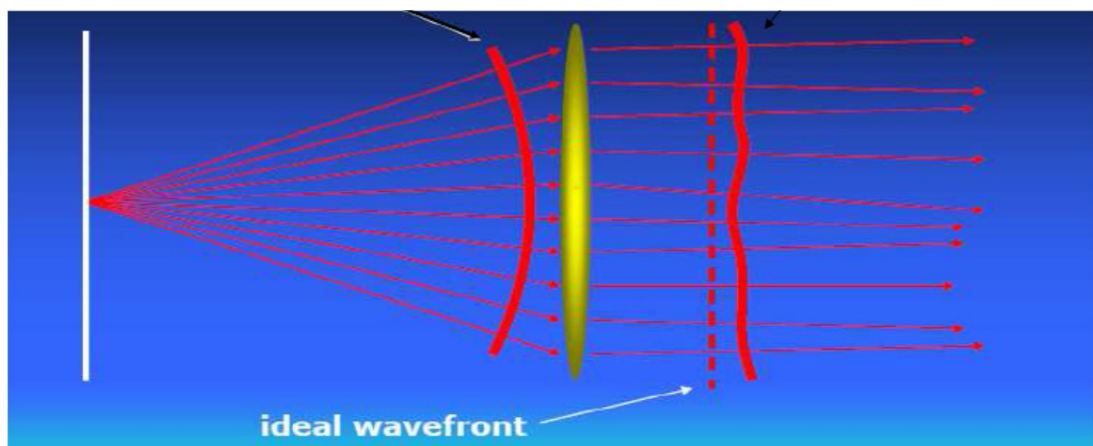
6 Aberraatiot

Valonsäteiden läpäistessä silmän, ne taittuvat verkkokalvon tarkannäkemisen alueelle, fovealle. Jos silmän optiikka olisi täydellinen, emmetrooppisessa silmässä kaikki yhtenä aaltorintamana silmään tulevat valonsäteet taittaisivat verkkokalvolla samaan pisteeseen ja näkeminen olisi terävää. Näin ei kuitenkaan yleensä tapahdu, vaan sarveiskalvon epäsäännöllisyydestä johtuen sen eri kohdat taittavat valoa erilailla. Taittuneiden valonsäteiden poikkeamia teoreettisesta laskennallisesta taitumisesta kutsutaan aberraatioiksi (kuvio 7) eli kuvautumisvirheiksi ja niiden yksikkönä käytetään mikrometriä (μm). Kaikki aberraatiot alentavat kontrastiherkkyyttä ja näöntarkkuutta (kuvio 8) ja niitä on kaikissa optisissa elementeissä. Suurin osa aberraatioista syntyy sarveiskalvon laita-alueilla. Pupilliaukon ollessa pieni, valo pääsee silmään vain sarveiskalvon keskiosan läpi, jolloin sarveiskalvon laita-alueiden aiheuttamat vääristymät eivät vaikuta näkemiseen. (Meister – Thibos 2010: 2-4.) Pupillin koko näöntarkastushetkellä saattaa näin vaikuttaa myös näöntarkastuksen tulokseen.

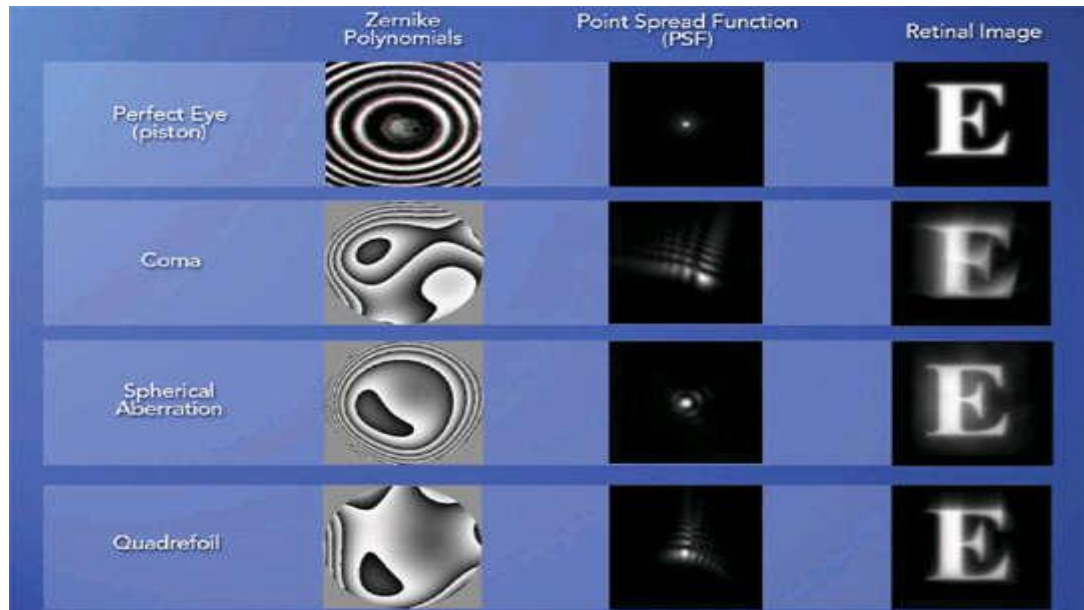
Vuonna 2002 tehdyssä tutkimuksessa Michael Collins (Collins - Shaw - Menkens - Davis - Franklin 2002) ryhmineen tutkivat pupillin koon vaikutusta refraktioon. He tutkivat kymmenen henkilöä, joilla oli normaali säännöllinen sarveiskalvo ja yhdeksän epäsäännöllisen sarveiskalvon omaavaa henkilöä. Tutkimushenkilöillä, joilla sarveiskalvo oli säännöllinen, näöntarkastustulokset vaihtelivat kolmen ja seitsemän millimetrin pupillihalkaisijoiden välillä sfäärisen voimakkuuden osalta keskimäärin

0,18±0,24 dioptriaa ja sylinterivoimakkuuden osalta keskimäärin 0,25±0,35 dioptriaa. Koehenkilöillä, joilla oli epäsäännöllinen sarveiskalvo, vastaavat voimakkuuden vaihtelut olivat, keskimäärin 0,86±0,18 dioptriaa ja 1,14±0,25 dioptriaa. Tutkimuksen perusteella refraction sfäärinen ja sylinterivoimakkuus voivat muuttua jopa yhden dioptrian verran, kun refraktio tehdään pupillin ollessa kolme millimetriä tai seitsemän millimetriä.

Yoon, Jeong, Cox ja Williams tutkivat Yhdysvalloissa sitä, miten korkean asteen aberraatioiden korjaaminen vaikuttaa näöntarkkuuteen. He huomasivat, että koehenkilöiden näöntarkkuus parani korkeamman asteen aberraatioiden korjaamisen jälkeen 0,23 merkkiriviä, kun näöntarkkuus mitattiin korkeakontrastisella näöntutkimustaululla, ja peräti 1,2 riviä matalakontrastisella näöntutkimustaululla. Tästä he tekivät sen johtopäätöksen, että näöntarkkuutta voidaan parantaa huomattavasti korkeamman asteen aberraatioita korjaamalla. (Yoon - Jeong - Cox - Williams 2004.)

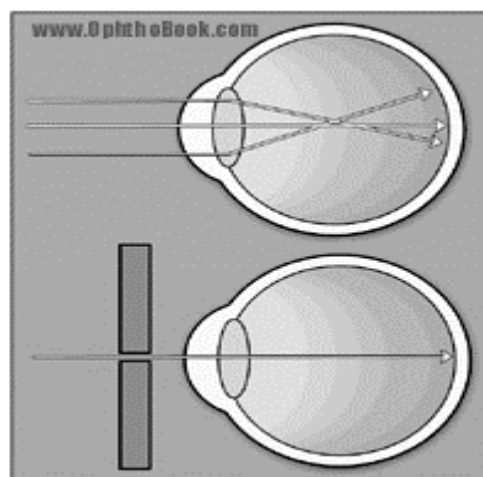


Kuvio 7. Aberraation synty (Alcocer, Javier Ruiz 2012).



Kuvio 8. Aberraatioita ja niiden vaikutus näkemiseen (Perret Opticians 2012).

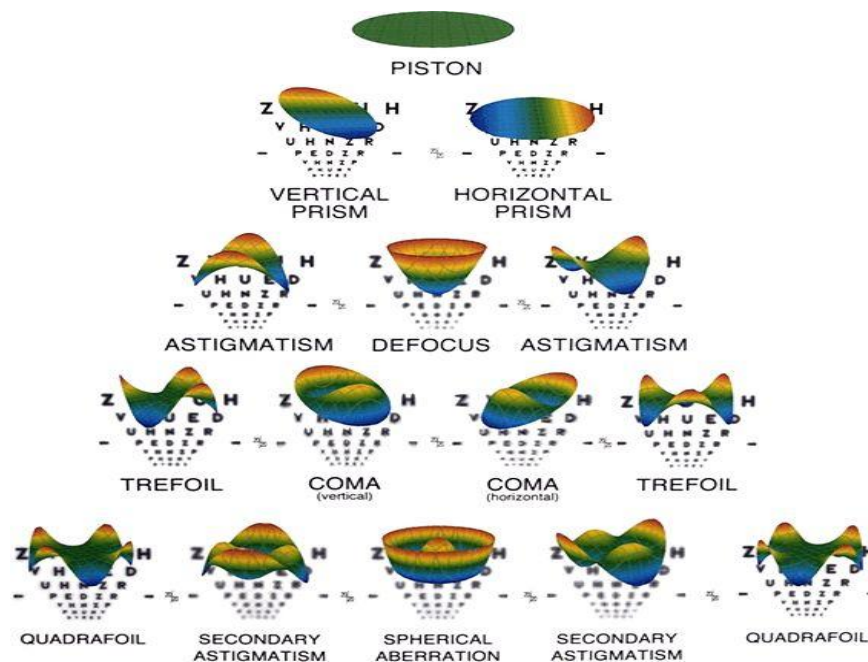
Sarveiskalvon laita-alueiden aberraatioiden vaikutusta näkemiseen voidaan hillitä niin sanotulla neulanreikälinssillä. Se on yksinkertaisimmillaan silmän eteen asetettava valo läpäisemätön levy, jonka keskellä on pieni reikä, josta valo pääsee kulkemaan läpi (kuvio 9). Neulanreiän tehtävä on päästää silmän sisään valonsäteitä vain tietyistä kohdasta sarveiskalvoa. Sen avulla sekä paraksiaaliset, lähellä optista akselia kulkevat, että perifeeriset valonsäteet saadaan tarkentumaan samaan pisteeseen, ilman silmän omaa tarkentamista. (Benjamin – Borish 1998: 629) Lisäksi se estää sarveiskalvon laita-alueiden mahdollisesti aiheuttamien kuvautumisvirheiden pääsemistä silmään.



Kuvio 9. Neulanreikälinssi (Root).

6.1 Aberraatioiden jaottelu

Sarveiskalvon aiheuttamat muutokset valoaltorintaman muotoon voidaan analysoida ja muuttaa matematiikassa käytettyihin käyrän polynomifunktioihin. Näin monimutkaiset kuvautumisvirheet saadaan yksinkertaistetumpaan muotoon. Yleisimmin käytetty ryhmittelymalli on Zerniken polynomisarja, joka kuvaa miten aberraatiot muuttuvat pupilliaukon kasvaessa. Aberraatiot voidaan jakaa kahteen ryhmään: ensimmäisen ja toisen asteen aberraatiot sekä korkeamman asteen aberraatiot (kuvio 10). (Meister – Thibos 2010: 2-3.)

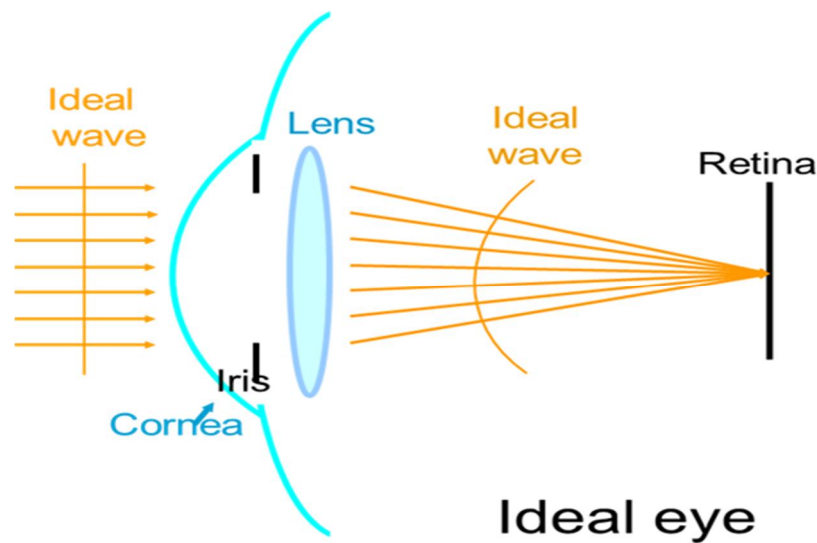


Kuvio 10. Zerniken aberraatiopyramidi (Perret Opticians 2012).

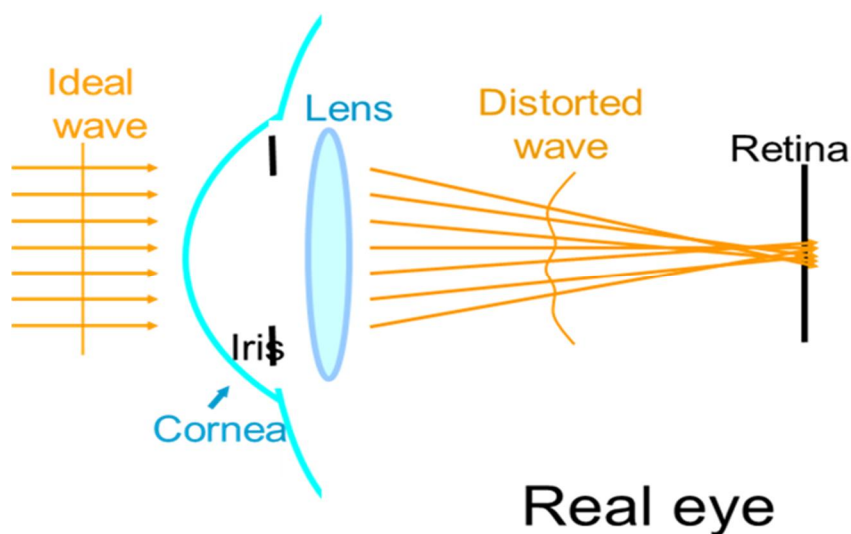
Ensimmäisen ja toisen asteen aberraatiot ovat niitä kuvautumisvirheitä, joita pystytään korjaamaan tavallisimmilla silmälaseilla. Näitä ovat myopia, hyperopia ja astigmatia. Ensimmäisen ja toisen asteen aberraatioita aiheuttavat sarveiskalvon muodot sijaitsevat yleensä koko sarveiskalvon alueella, joten ne alentavat näöntarkkuutta niin suurella kuin pienelläkin pupilliaukolla. Kuitenkin sekä sfäärisen- että sylinterikorjauksen määrä ja akselisuunta voivat muuttua sarveiskalvon laita-alueille siirryttäessä. (Meister – Thibos 2010: 3.)

Korkeamman asteen aberraatioita ovat esimerkiksi kolmannen ja neljännen asteen aberraatiot. Korkeamman asteen kuvautumisvirheet johtuvat sarveiskalvon laita-

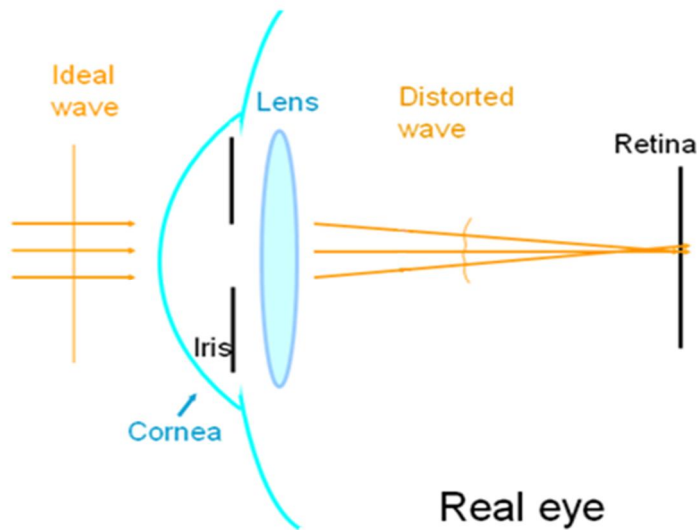
alueiden epäsäännöllisyydestä ja korostuvat hämärässä valaistuksessa, jolloin pupilliaukko kasvaa (kuviot 11, 12, ja 13). Lähes jokaisesta "normaalistakin" silmästä löytyy sekä ensimmäisen että korkeamman asteen aberraatioita. Tutkimusten mukaan korkeamman asteen kuvautumisvirheet aiheuttavat silmään keskimäärin noin 0,25 dioptrian taittovirheen pupilliaukon halkaisijan ollessa kuusi millimetriä. Korkeamman asteen aberraatiot voivat aiheuttaa esimerkiksi epäsäännöllistä astigmatiaa tai useita erilaisia sylinterivoimakkuuden yhdistelmiä. (Meister – Thibos 2010: 4, 6.) Eniten ihmissilmään vaikuttavia korkeamman asteen aberraatioita ovat kromaattinen ja sfäärinen aberraatio (Grosvenor 2007: 13).



Kuvio 11. Valon taittuminen ideaalissa silmässä hämärässä valossa (Carl Zeiss Vision).



Kuvio 12. Valon taittuminen normaalissa silmässä kirkaassa valossa (Carl Zeiss Vision).



Kuvio 13. Valon taittuminen normaalissa silmässä hämärässä valossa (Carl Zeiss Vision).

7 Tutkimuksen toteutus

Teimme kvantitatiivisen tutkimuksen pupillin koon vaikutuksesta refraktioon ja näöntarkkuuteen. Tilastokeskus määrittelee kvantitatiivisen tutkimuksen seuraavalla tavalla:

Kvantitatiivinen (määrällinen) tutkimus kuvaa ja tulkitsee yhteiskuntailmiöitä tieteen yleisen logiikan mukaisesti kehittämällä mahdollisimman tarkkoja mittausmenetelmiä, keräämällä tutkimusaineistot muun muassa edustavista väestötöksistä ja käsittelemällä tutkimusaineistoja tilastotieteen menetelmin oikeiden johtopäätösten tekemiseksi. (Tilastokeskus 2012.)

Näöntarkastustilanteen subjektiivisen luonteen vuoksi käytimme työssämme myös kvalitatiivista eli laadullista tutkimusta, joka jättää tilaa tutkimushenkilöiden omille tulkinnoille. (Tilastokeskus 2012.) Mielestämme kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tutkimusmenetelmien yhdistäminen antoi kattavamman kuvan tutkimastamme ilmiöstä. Tutkimuksella pyrimme selvittämään vaikuttaako pupillin koko merkittävästi näöntarkastuksen tulokseen ja näöntarkkuuteen eli visukseen.

7.1 Tutkimusjoukko

Valitsimme tutkimukseen kymmenen optometrian opiskelijaa satunnaisotannalla keväällä 2013 valmistuvasta ryhmästä SO10K1. Koehenkilöt valittiin kyseiseltä kurssilta, koska he olivat jo laajentaneet toistensa pupilleja ja tehneet siinä yhteydessä toisilleen jo turvalliseen mustuaiseen laajentamiseen liittyvän esitutkimuksen. Näin varmistimme, että laajentavien silmätippojen käyttö olisi varmasti turvallista. Oletimme myös, että näkemiseen tarkemmin perehtyneet koehenkilöt osaisivat analysoida näkemistään tarkemmin ja havaitsisivat pienemmätkin erot vaihtoehtojen välillä. Tutkimistamme silmistä 11 oli likitaitteisia ja yhdeksän kaukotaitteisia tai lähes emmetrooppeja. Koehenkilöiden ikäjakauma oli 22–36 vuotta. Kaikki koehenkilöt olivat naisia ja kaikilla paitsi yhdellä oli alle puoli vuotta vanha silmälasimääräys, jota käytimme tutkimuksen pohjana. Yhdellä koehenkilöistä ei ollut silmälaseja lainkaan, joten hänen kohdallaan aloitimme näöntarkastuksen ilman perustietoja. Tutkimus toteutettiin kaksoissokko menetelmällä, jossa kumpikaan osapuolista, ei tutkija eikä tutkittava, tiedä minkä kokoinen neulanreikä kullakin kerralla oli käytössä. Näin varmistimme, etteivät tutkijan ennakko-odotukset vaikuttaneet tuloksiin. (Rieki 2010.)

7.2 Tutkimuksen eteneminen

Keväällä 2012 saimme ohjaajaltamme Lehtori Juha Päälysalolta mielenkiintoisen ja ajankohtaisen opinnäytetyö idean. Hänelle oli ensimmäisten optikoille järjestettyjen diagnostisten lääkeaineiden käyttökoulutusten aikana herännyt ajatuksia sykloplegisten lääkeaineiden aiheuttamista haasteista refraktion määritykseen. Oletus oli, että laajalla pupillilla tulokset saattaisivat olla hieman myoppisempia ja astigmatian määrä sekä suunta voisivat muuttua. Tämän kimmokkeen edesauttamana aloimme tutkia tarkemmin kyseistä ilmiötä. Tutkimuksemme tulisi koskemaan pupillin kokoa ja sen vaikutusta näkemiseen sekä kaukorefraktion tulokseen.

Varsinaiset tutkimukset suoritimme loppuvuoden 2012 ja alkuvuoden 2013 välisenä aikana Metropolia Ammattikorkeakoulun Mannerheimintien toimipisteen näöntarkastusluokassa. Tutkimme kaikki kymmenen koehenkilöä samassa näöntarkastustilassa ja samaa näöntutkimusyksikköä käyttäen. Käyttämällämme automaattiforopterilla (Nidek RT-5100) saimme mitattua hajataitteisuuden akselisuunnat yhden asteen tarkkuudella ja hajataitteisuuden määrän 0,25 dioptrian tarkkuudella.

Aloitimme tutkimuksen mittaamalla tutkittavan silmänpaineet iCare-silmänpainemittarilla (iCare TA01i). Jos paineet olivat lähellä normaaliarvojen ylärajaa tai jos muuten katsoimme sen aiheelliseksi, tutkimme myös heiltä silmän kammiokulman syvyyden silmämikroskoopilla Van Herichin -menetelmää apuna käyttäen. Näin varmistimme, että pupillin laajentaminen ei aiheuta äkillisen silmänpaineen nousun riskiä. Tämän jälkeen laajensimme tutkittavan pupillit Oftan Tropicamid (5mg/ml) silmätipoilla. Tropicamidi aiheuttaa pupillin laajenemisen värikalvon kurojalihaksen toimintaa lamauttamalla. Sen aiheuttama pupillin laajeneminen saattaa ahtauttaa kammiokulmaa ja aiheuttaa silmänpaineen nousua. (Frazier – Jaanus 2008: 125.) Tropicamidin käyttö tapahtui lehtori Päälylsahon valvonnassa, koska hänellä on diagnostisten lääkeaineiden käyttöoikeus. Odotimme lääkeaineen vaikutuksen alkamista noin 15 minuuttia ja seurasimme tänä aikana myös silmänpaineita.

Suoritimme tutkimukset vuorotellen, jolloin vuorollaan kirjurina toiminut arpoi ja kiinnitti neulanreiät paikalleen foropteriin. Kirjurina toiminut tutkija teki myös muistiinpanoja koehenkilöiden omista havainnoista tutkimuksen edetessä. Käytimme tarkastuksen pohjana koehenkilön sen hetkisiä silmälasitietoja. Teimme tutkittaville kaikki kolme tarkastusta peräkkäin, joissa jokaisessa pohjana olivat vanhat lasitiedot, eikä edellinen tutkimus. Määritimme jokaisessa tutkimuksessa sfäärisen voimakkuuden ja hajataitteisuuden määrän sekä akselisuunnan. Määritimme voimakkuudet 0,25 dioptrian ja hajataitteisuuden akselisuunnan asteen tarkkuudella. Aivan lopuksi otimme vielä silmien aberratiokuvat Zeiss i.Profilerilla. Zeiss i.Profiler lähettää tutkittavan silmänpohjalle yhtenäisen monokromaattisen valonsädekimpun (aallonpituus 555 nanometriä). Laite mittaa silmänpohjalta takaisin heijastuvasta valosta valoaltorintaman muodossa tapahtuneita muutoksia. Havaittujen poikkeamien perusteella laite piirtää kuvan tutkittavan sarveiskalvon ja mykiön aiheuttamista poikkeamista eli aberratioista. (Today's Vision 2013.) Aberratiokuvien lisäksi Zeiss i.Profiler mittaa niin sanotun objektiivisen refraktion pupillin halkaisijoilta kolme ja viisi millimetriä (liite 4). Objektiivisellä refraktiolla tarkoitetaan refraktion määrittystä ilman asiakkaan tai tutkimushenkilön osallistumista tarkastuksen kulkuun. Kaiken kaikkiaan yhteen tutkimukseen kului aikaa noin 45–60 minuuttia. Tropicamidin aikaansaama mydriaasi on voimakkaimmillaan 15–30 minuutin jälkeen tipan silmään laitosta ja kestää muutaman tunnin ajan (Oftan Tropicamid 2004).

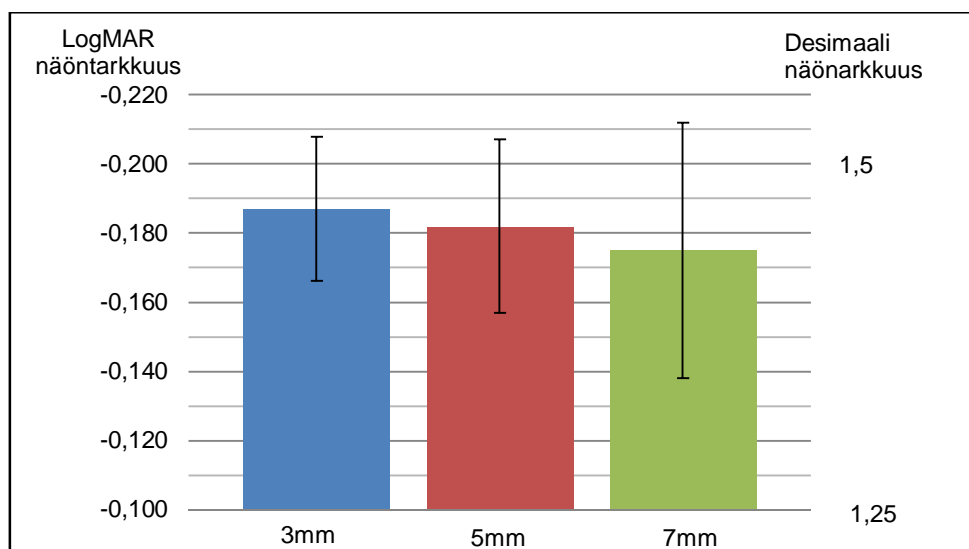
Arvioimme saamiamme tutkimustuloksia tapauskohtaisesti ja Microsoft Exceliä apuna käyttäen. Excelin avulla saimme laskettua tulostemme keskiarvoja, keskihajontaa sekä minimi- ja maksimiarvoja. Excelin avulla piirsimme myös diagrammeja saamiemme tulosten perusteella.

8 Tutkimustulokset

Tulosten arvioinnissa keskityimme vertailemaan sfäärissä ja sylinteri voimakkuuksissa sekä hajataitteisuuden akselisuunnissa tapahtuvia muutoksia neulanreikälinssin halkaisijan kasvaessa. Seuraavissa kappaleissa käsittelemme saamiamme tuloksia laskettujen keskiarvojen perusteella ja sen jälkeen esittelemme viisi tutkimustapausta yksityiskohtaisemmin. Viiden muun koehenkilön tulokset ja Zeiss i.Profilerilla tehdyt mittaukset ovat työmme liitteenä (liitteet 2-7). Voimakkuusmuutoksien laskemisen helpottamiseksi käytimme sfäärisen ja sylinterivoimakkuuden lisäksi myös sfääristä ekvivalenttiarvoa. Sillä tarkoitetaan sfäärisen ja sylinterivoimakkuuden keskiarvoa, joka saadaan yhdistämällä puolet sylinterivoimakkuudesta sfääriseen voimakkuuteen (Fannin – Grosvenor 1996: 40). Jos esimerkiksi sfäärinen voimakkuus on -1,00 dioptrian ja sylinteri -0,50 dioptrian, on sfäärinen ekvivalenttiarvo -1,25 dioptrian. Vertasimme myös alentaako neulanreiän halkaisijan suurentaminen tutkittavien näöntarkkuutta. Näöntarkkuuden mittayksikkönä käytimme perinteisesti Suomessa käytettävien desimaalilukujen sijaan LogMAR-asteikkoa. Siinä visus 1.0:n arvo on 0.0 ja jokainen testimerkki on 0.02:n arvoinen. Jos koehenkilö näki esimerkiksi visus 1.25 rivin, on sen arvo LogMAR-asteikolla -0.1. Jos henkilö taas näki visusrivin 1.25 ja lisäksi yhden optotyypin seuraavalta riviltä, on visus LogMAR-asteikolla -0,12. Yhdellä visusrivillä on aina viisi optotyyppiä. LogMAR-asteikon käyttö mahdollisti tarkemman optotyyppikohtaisten näöntarkkuusmuutoksien merkitsemisen.

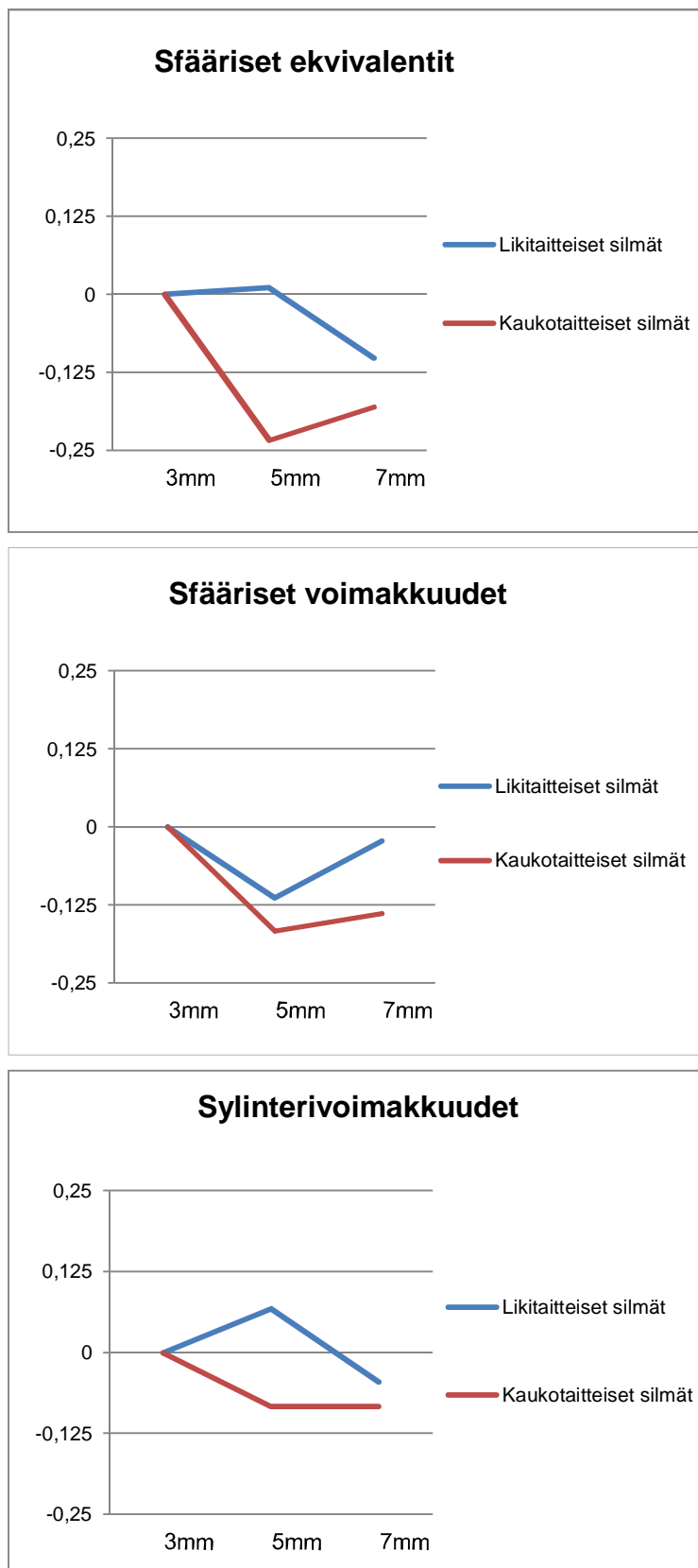
Tutkimushenkilöiden näöntarkkuudet laskivat keskimäärin $0,6 \pm 1,4$ optotyypin verran neulanreiän kasvaessa kolmesta millimetristä seitsemään millimetriin. Tutkimushenkilöiden välillä oli kuitenkin suuria yksilöllisiä eroja. Suurin mitattu näöntarkkuuden heikentyminen tuli esille koehenkilöllä 2. Hänen visuksensa laski oikeassa silmässä neljä optotyyppiä ja vasemmassa silmässä kolme optotyyppiä. Vastaavasti esimerkiksi koehenkilöllä 7 oikean silmän näöntarkkuus parani kahdella

optotyypillä pienimmän ja isoimman neulanreiän välillä. Eri neulanrei'illä saavutettuja keskimääräisiä näöntarkkuuksia on kuvattu kuviossa 14.



Kuvio 14. Keskimääräiset näöntarkkuudet ja keskihajonnat

Perusoletus mittaustulosten muuttumisesta likitaitteisemmaksi piti paikkansa. Sfääriset voimakkuudet muuttuivat miinusvoimakkuuden suuntaan keskimäärin $-0,08 \pm 0,16$ dioptriaa. Kokonaismuutosta kolmen ja seitsemän millimetrin neulanreikien välillä oli kuitenkin keskimäärin $0,11 \pm 0,13$ dioptriaa. Kokonaismuutoksella tarkoitetaan voimakkuusmuutosta, jossa ei ole huomioitu korjauslinssien etumerkkejä. Sylinterivoimakkuudet muuttuivat miinusvoimakkuuden suuntaan keskimäärin $-0,07 \pm 0,35$ dioptriaa, kokonaismuutoksen ollessa keskimäärin $0,24 \pm 0,26$ dioptriaa. Hajataiteisuus lisääntyi suurimmillaan $-0,50$ dioptriaa, mutta esimerkiksi koehenkilöllä 7 hajataiteisuus väheni $1,00$ dioptrian verran pienimmän ja suurimman neulanreiän välillä. Akselisuunnat muuttuivat keskimäärin $6 \pm 6,8$ astetta, maksimi muutoksen ollessa 25 astetta ja minimin 0 astetta. Sfäärinen ekvivalenttisarvo muuttui likitaitteempaan suuntaan keskimäärin $-0,14 \pm 0,13$ dioptriaa, kokonaismuutoksen ollessa keskimäärin $0,15 \pm 0,12$ dioptriaa. Kuviossa 15 on kuvattu keskimääräisiä voimakkuusmuutoksia pupillin halkaisijan kasvaessa. Lähtöarvona on käytetty kolmen millimetrin neulanreiällä mitattua refraktiota. Kuvioista on nähtävissä kaukotaitteisten silmien hieman voimakkaampi myopisoituminen pupillin halkaisijan kasvaessa. Tutkituista yhdeksästä kaukotaitteisestä silmästä kuusi muuttui likitaitteisemmaksi (66,6 %), kun taas likitaitteisistä silmistä vain viisi 11:sta (45,5 %) myopisoitui neulanreiän koon kasvaessa kolmesta millimetristä seitsemään millimetriin.



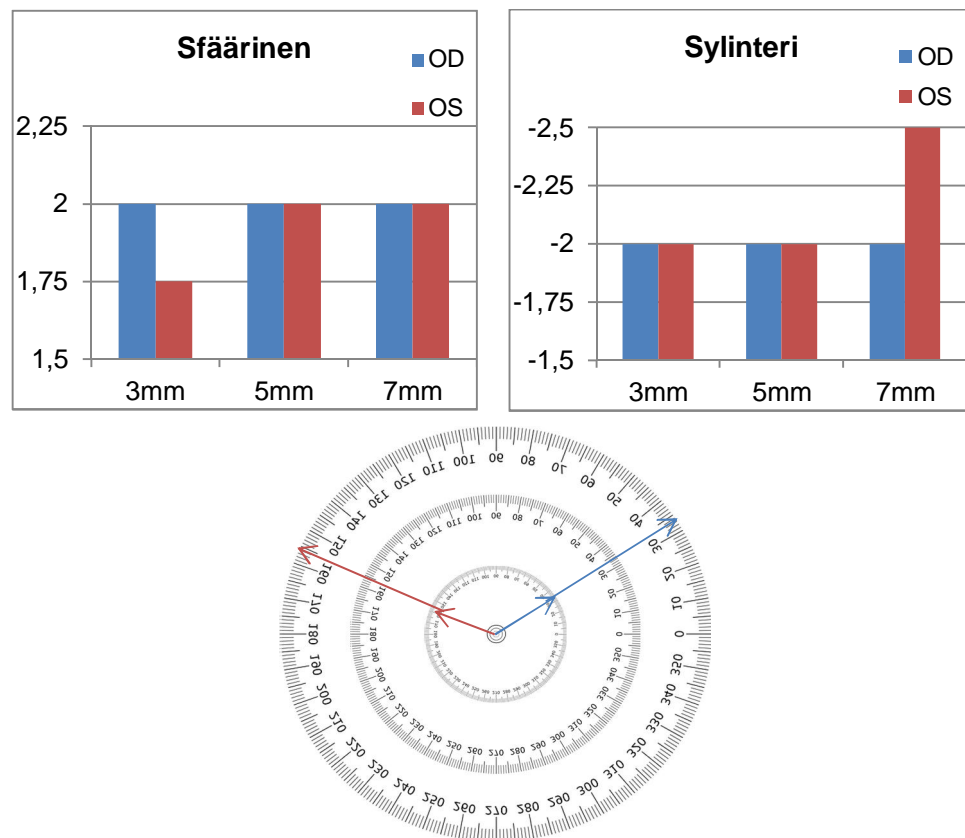
Kuvio 15. Näöntarkastustuloksissa esille tulleet muutokset pupillin halkaisijan kasvaessa

8.1 Koehenkilö 2

Koehenkilö 2		Sfäärinen	Sylinteri	Akseli	Visus	Visus vanhoilla arvoilla
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	+1,50	-1,75	155		
	vasen silmä	+1,50	-2,00	30		
3mm neulanreikä	oikea silmä	+2,00	-2,00	160	1.5	1.5 [*]
	vasen silmä	+1,75	-2,00	32	1.5	1.5 [*]
5mm neulanreikä	oikea silmä	+2,00	-2,00	156	1.2 ^{**}	1.2 ^{**}
	vasen silmä	+2,00	-2,00	33	1.2 ^{**}	1.5 ^{**}
7mm neulanreikä	oikea silmä	+2,00	-2,00	156	1.2 ^{**}	1.2 ^{**}
	vasen silmä	+2,00	-2,50	33	1.2 ^{**}	1.2 ^{**}

Tutkimusjärjestys 3mm, 5mm ja 7mm

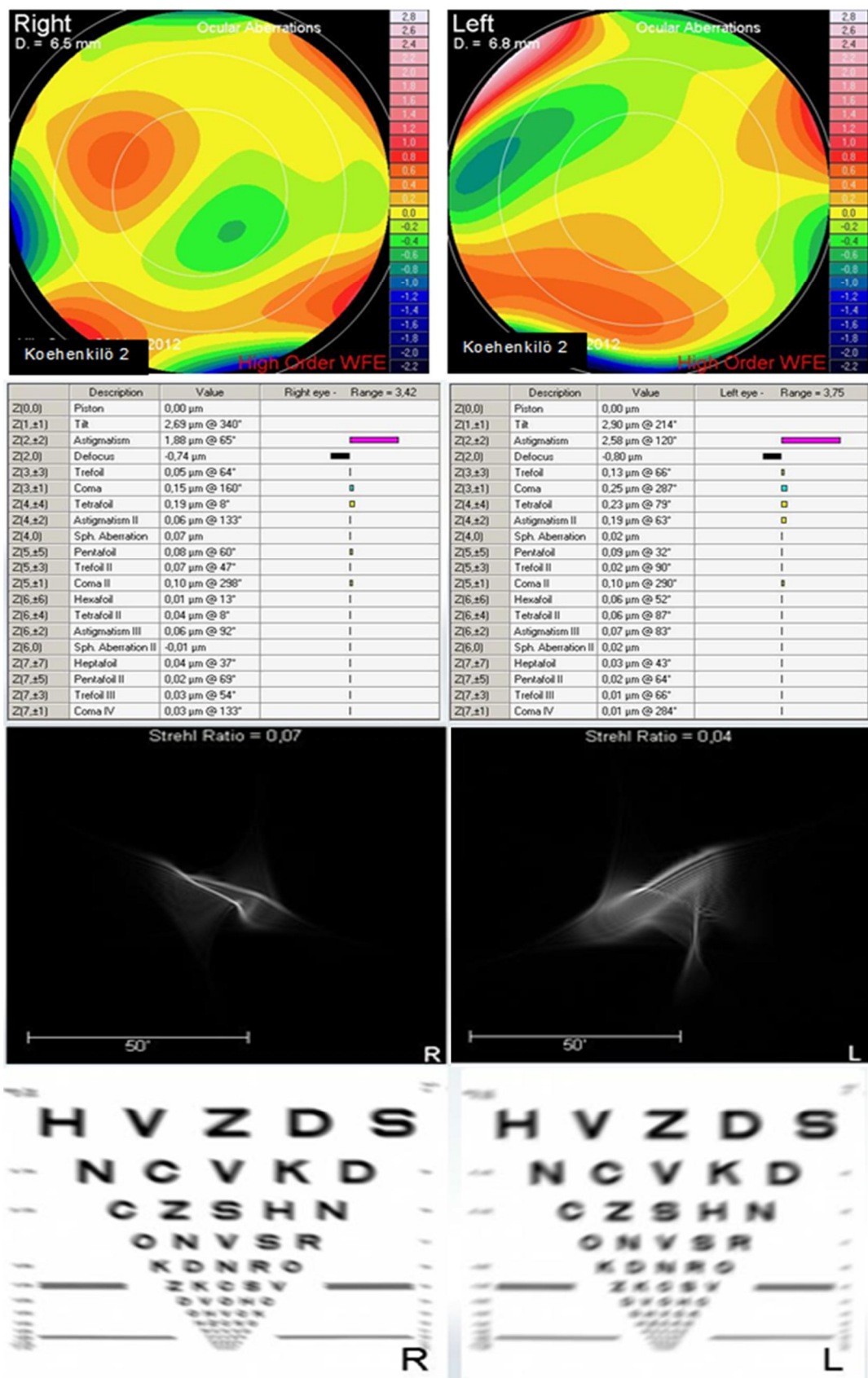
Kuvio 16. Koehenkilön 2 tutkimustulokset



Kuviosta 16 on esitetty koehenkilön 2 tutkimustulokset ja kuvioon 17 on piirretty kuvaajat oikean (OD) ja vasemman (OS) silmän sfäärisistä arvoista ja sylinterivoimakkuuksista sekä akselisuunnista. Akselisuuntia kuvaavaan diagrammiin on piirretty oikean ja vasemman silmän akselisuunnat eri pupillin halkaisijoilla. Kuviosta on havaittavissa koehenkilön 2 vasemman silmän sfäärisen voimakkuuden lisääntyminen siirryttäessä kolmen millimetrin neulanreiästä viiden millimetrin neulanreikään. Vasemman silmän sylinterin määrä puolestaan lisääntyi -0,50 dioptriaa, josta seuraa, että sfäärinen ekvivalentti pysyy kuitenkin ennallaan. Hajataitteisuuden akselisuunta muuttui yhden asteen. Oikean silmän voimakkuudet sen sijaan eivät poikenneet toisistaan millään neulanreiällä, ainoastaan akselisuunta muuttui neljä astetta. Tutkittavan näöntarkkuudet laskivat selvästi neulanreiän kasvaessa. Kaiken kaikkiaan näöntarkkuus heikkeni oikeassa silmässä neljä optotyyppiä ja vasemmassa silmässä kolme optotyyppiä.

Kuviossa 18 on koehenkilön 2 silmistä otetut Zeiss i.Profiler-kuvat. Niissä on esitettyä kuvautumisvirheet värein, mikrometreinä, valopisteen kuvautumisena sekä näkeminen ilman lasikorjausta. Vasemmanpuoleiset kuviot kuvaavat koehenkilön oikeaa silmää ja oikeanpuoleiset vasenta silmää. Kaksi ylimmäistä kuvaa esittävät aberraatioiden vaikutusta valorintaman kulkuun. Kuvissa olevat vaaleat renkaat kuvaavat silmien aiheuttamia kuvautumisvirheitä kolmen, viiden ja seitsemän millimetrin pupillin halkaisijoilla. Kuvassa keltainen väri edustaa virheetöntä valon aaltorintaman kuvautumista. Kylmät värit kuvaavat valon loivempaa taittumista ja lämpimät sävyt puolestaan jyrkempää. Seuraavassa rivissä on esitettyä kuvautumisvirheen määrät mikrometreinä. Taulukosta näkyy, että hajataitteisuutta on oikeassa silmässä $1,88\mu\text{m}$, defokusta $-0,74\mu\text{m}$, komavirhettä $0,15\mu\text{m}$ ja tetrafoilia $0,19\mu\text{m}$. Seuraavissa kuvissa on ensin esitettyä valopisteen kuvautuminen silmässä ja se, kuinka hyvin kyseinen henkilö näkee ilman lasikorjausta. Valopisteen kuvautumisessa on selvästi havaittavissa hajataitteisuuden aiheuttama valopisteen leviäminen.

Vasemmassa silmässä hajataitteisuutta on $2,58\mu\text{m}$, Defokusta $-0,80\mu\text{m}$, trefoilia $0,13\mu\text{m}$, komavirhettä $0,25\mu\text{m}$, tetrafoilia $0,23\mu\text{m}$, sekä hajataitteisuus II $0,19\mu\text{m}$. Myös vasemman silmän hajataitteisuus on selvästi havaittavissa valopisteen kuvautumista esittävässä kuvassa. Silmän oma optiikka muuttaa valopisteen leveäksi juovaksi.

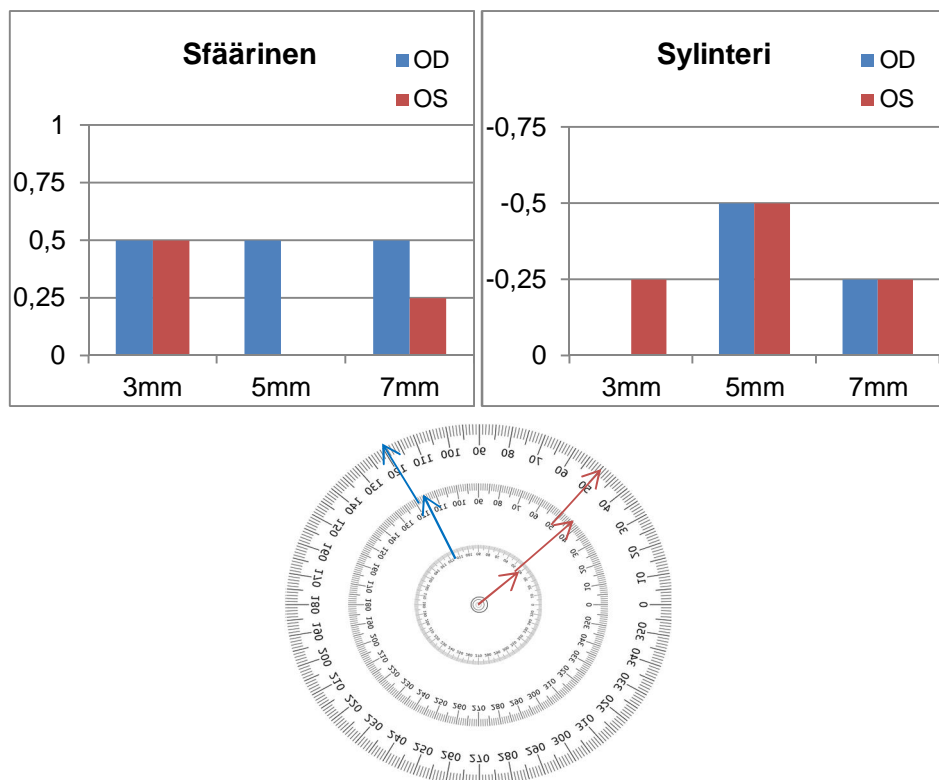


Kuvio 18. Koehenkilön 2 Zeiss i.Profiler mittaukset

8.2 Koehenkilö 3

Voimakkuudet		Sfäärinen	Sylinteri	Akseli	Visus	Visus vanhoilla arvoilla
Koehenkilö 3						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	0,00				
	vasen silmä	0,00				
3mm neulanreikä	oikea silmä	+0,50			1.5	1.5
	vasen silmä	+0,50	-0,25	40	1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	+0,50	-0,50	115	1.5	1.5
	vasen silmä	0,00	-0,25	43	1.5	1.5
7mm neulanreikä	oikea silmä	+0,50	-0,25	119	1.5	1.5
	vasen silmä	+0,25	-0,25	50	1.5	1.5
Tutkimusjärjestys 7mm, 5mm ja 3mm						

Kuvio 19. Koehenkilön 3 tutkimustulokset



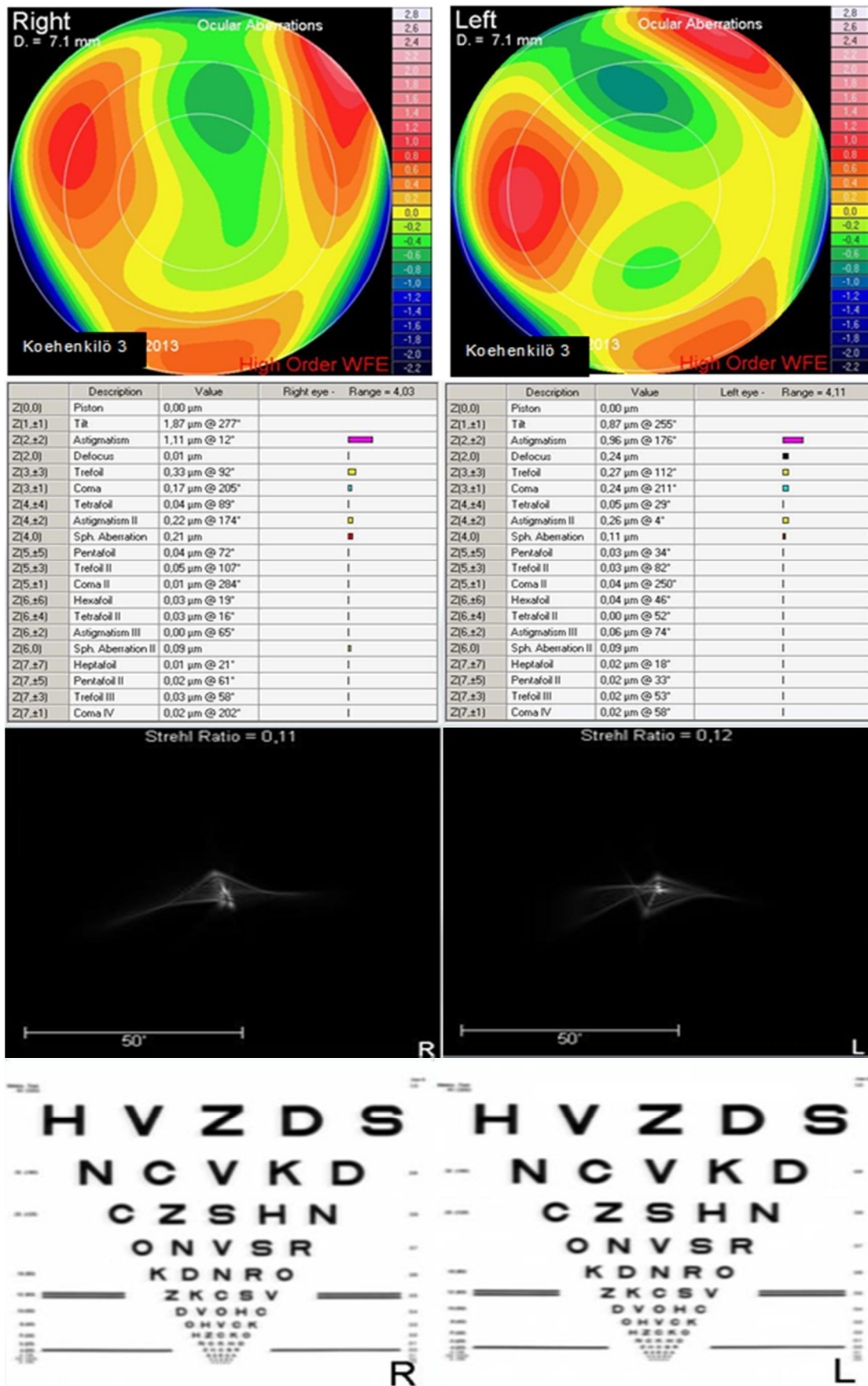
Kuvio 20. Koehenkilön 3 numeeristen arvojen kuvaajat

Koehenkilöllä 3 (kuviot 19 ja 20) näöntarkastustulosten vaihtelut eivät olleet suurimmillaan isoimman ja pienimmän neulanreiän välillä, vaan kolmen ja viiden millimetrin reikien välillä. Neulanreiän kasvaminen viiteen millimetriin lisäsi oikean silmän sylinterivoimakkuutta $-0,50$ dioptriaa, sfäärisen voimakkuuden pysyessä ennallaan. Suurimalla neulanreiällä sfäärinen voimakkuus pysyi edelleen $+0,50$ dioptriassa, hajataitteisuuden laskiessa $-0,25$ dioptriaan. Hajataitteisuuden akselisuunta muuttui viiden ja seitsemän millimetrin reikien välillä neljä astetta.

Vasemmassa silmässä sfäärinen plusvoimakkuus väheni $-0,50$ dioptriaa ja sylinterikorjauksen määrä pysyi ennallaan. Akselisuunta pysyi lähes ennallaan. Suurimalla neulanreiällä sfäärinen voimakkuus oli $+0,25$ dioptriaa ja sylinterivoimakkuus säilyi edelleen $-0,25$ dioptriassa. Akselisuunta muuttui kolmen millimetrin neulanreikään verrattuna 10 astetta. Näöntarkkuudet säilyivät koko tutkimuksen ajan molemmissa silmissä ja kaikilla neulanreiän halkaisijoilla arvossa 1,5 (LogMAR 0.2).

Kuviossa 21 on koehenkilön 3 silmistä otetut Zeiss i.Profiler-kuvat. Kuvioista on havaittavissa, että oikeassa silmässä on hajataitteisuutta $1,11\mu\text{m}$, komavirhettä $0,17\mu\text{m}$, trefoilia $0,33\mu\text{m}$, hajataitteisuus II $0,22\mu\text{m}$ ja sfääristä aberraatiota $0,21\mu\text{m}$. Johtuen suhteellisen pienistä aberraatioiden määristä, valopisteen kuvautumiskuvassa ja visustaulun esimerkkikuvassa näkyy vain pientä hajontaa.

Vasemmassa silmässä hajataitteisuutta on $0,96\mu\text{m}$, defokusta $0,24\mu\text{m}$, trefoilia $0,27\mu\text{m}$, komavirhettä $0,24\mu\text{m}$, hajataitteisuus II $0,26\mu\text{m}$ sekä sfääristä aberraatiota $0,11\mu\text{m}$. Myös vasemman silmän kuvautuminen on melko tarkkaa, johtuen vähäisistä aberraatiosta.

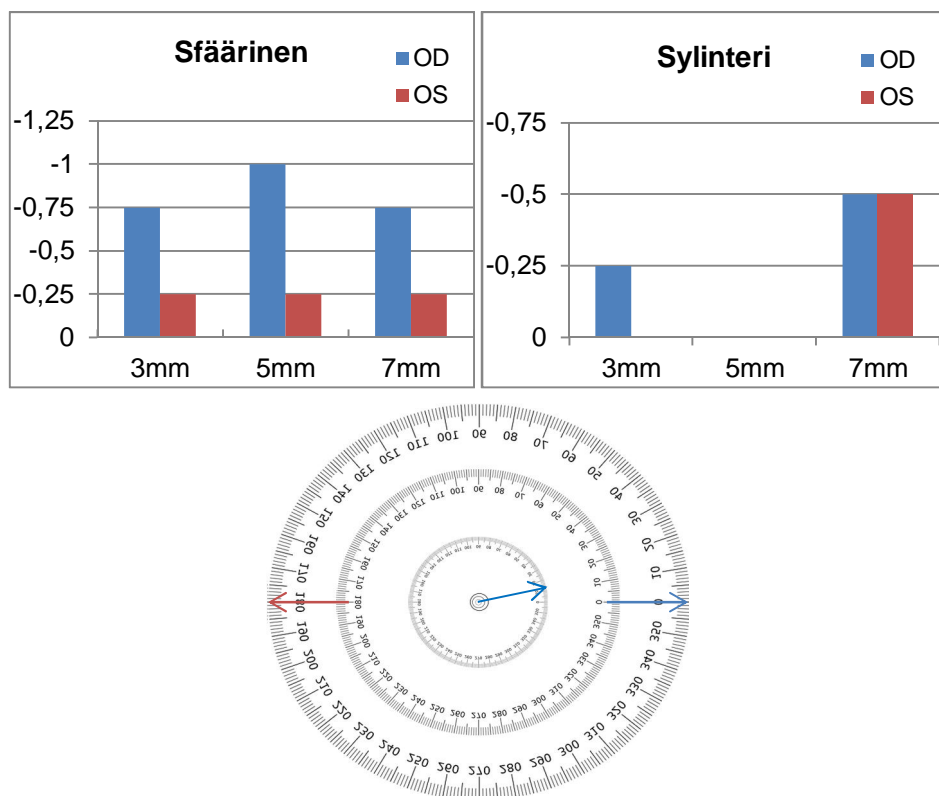


Kuvio 21. Koehenkilön 3 Zeiss i.Profiler mittaukset

8.3 Koehenkilö 5

Voimakkuudet		Sfäärinen	Sylinteri	Akseli	Visus	Visus vanhoilla arvoilla
Koehenkilö 5						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	-1,00				
	vasen silmä	-0,25				
3mm neulanreikä	oikea silmä	-0,75	-0,25	13	1.5	1.5
	vasen silmä	-0,25			1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	-1,00			1.5	1.5
	vasen silmä	-0,25			1.5	1.5
7mm neulanreikä	oikea silmä	-0,75	-0,50	180	1.5	1.5
	vasen silmä	-0,25	-0,50	180	1.5	1.5 ^c
Tutkimusjärjestys 5mm, 7mm ja 3mm						

Kuvio 22. Koehenkilön 5 tutkimustulokset

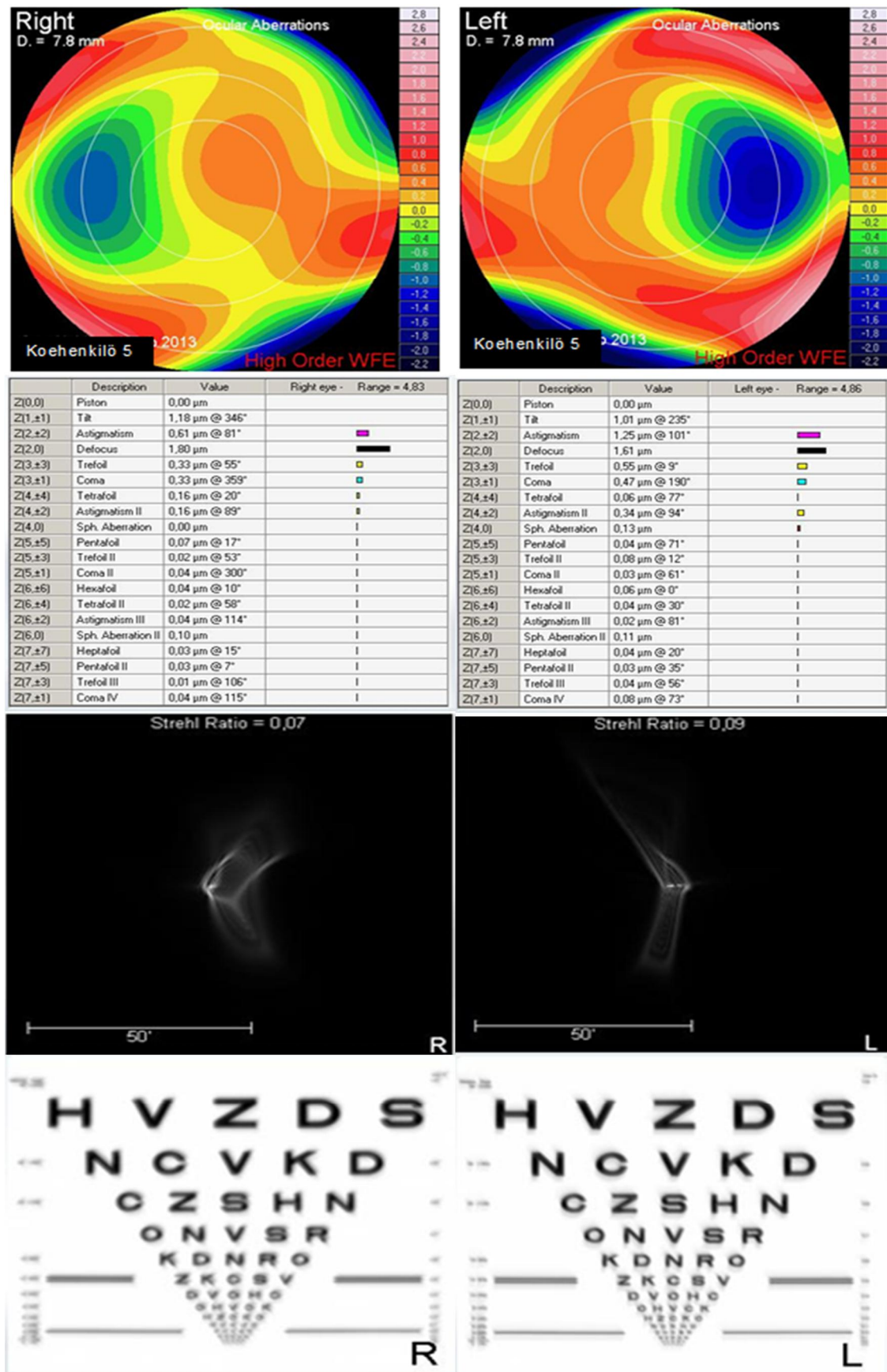


Kuvio 23. Koehenkilön 5 numeeristen arvoien kuvaajat

Koehenkilön 5 (kuviot 22 ja 23) oikean silmän sfäärinen voimakkuus kasvoi -1,0 dioptriaan viiden millimetrin reiällä, kun se kolmella millimetrillä oli -0,75. Kolmen millimetrin neulanreiällä mitattu hajataiteisuus hävisi viiteen millimetriin siirryttäessä. Suurimmalla neulanreiällä sfäärinen voimakkuus oli -0,75 dioptriaa, mutta hajataiteisuus lisääntyy edelleen -0,50 dioptriaan. Hajataiteisuuden akselisuunnan muutos kolmen ja seitsemän millimetrin välillä oli 13 astetta.

Vasemman silmän voimakkuudet eivät muuttuneet kolmen ja viiden millimetrin neulanreikien välillä. Myös seitsemän millimetrin reiällä sfäärinen voimakkuus pysyi -0,25 dioptriassa, mutta hajataiteisuus lisääntyi -0,50 dioptriaan. Näöntarkkuudet olivat kaikilla mittauksilla 1.5 (LogMAR 0.2).

Kuvion 24 perusteella koehenkilön 5 aberraatiot jakautuvat oikeassa silmässä seuraavanlaisesti: hajataiteisuutta $0,61\mu\text{m}$, defokusta $1,80\mu\text{m}$, trefoilia $0,33\mu\text{m}$, komavirhettä $0,33\mu\text{m}$, tetrafoilia $0,16\mu\text{m}$ ja hajataiteisuus II:ta $0,16\mu\text{m}$. Vasemmassa silmässä hajataiteisuutta on $1,25\mu\text{m}$, defokusta $1,61\mu\text{m}$, trefoilia $0,55\mu\text{m}$, komavirhettä $0,47\mu\text{m}$, hajataiteisuus II:ta $0,34\mu\text{m}$ sekä sfääristä aberraatiota $0,13\mu\text{m}$ että sfäärinen aberraatio II:ta $0,11\mu\text{m}$.

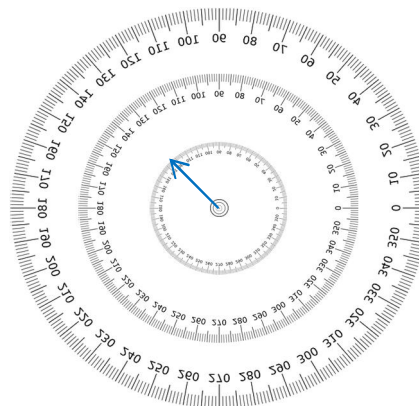
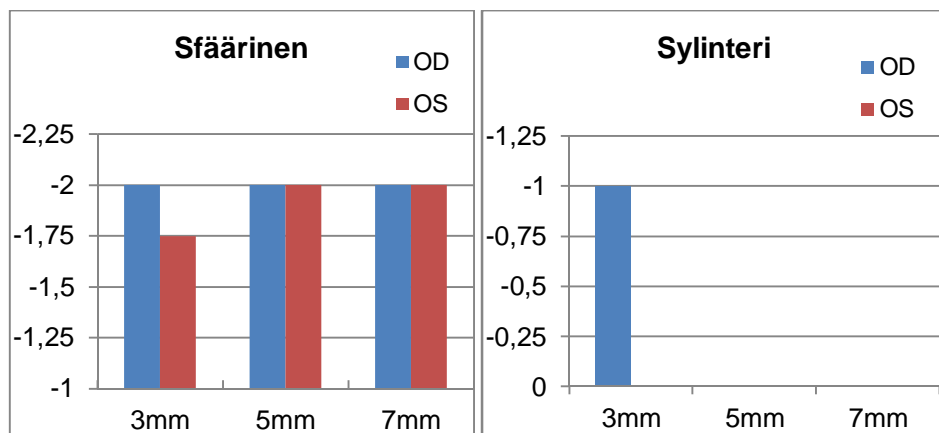


Kuvio 24. Koehenkilön 5 Zeiss i.Profiler mittaukset

8.4 Koehenkilö 7

Voimakkuudet		Sfäärinen	Sylinteri	Akseli	Visus	Visus vanhoilla arvoilla
Koehenkilö 7						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	-2,50			1.2 ³	
	vasen silmä	-2,50			1.5 ³	
3mm neulanreikä	oikea silmä	-2,00	-1,00	134	1.5 ⁴	1.2 ³
	vasen silmä	-1,75			1.5 ³	1.5 ³
5mm neulanreikä	oikea silmä	-2,00			1.5	1.5 ⁴
	vasen silmä	-2,00			1.5 ³	1.5 ³
7mm neulanreikä	oikea silmä	-2,00			1.5	1.5 ³
	vasen silmä	-2,00			1.2 ³	1.2 ³
Tutkimusjärjestys 5mm, 3mm ja 7mm						

Kuvio 25. Koehenkilön 7 tutkimustulokset



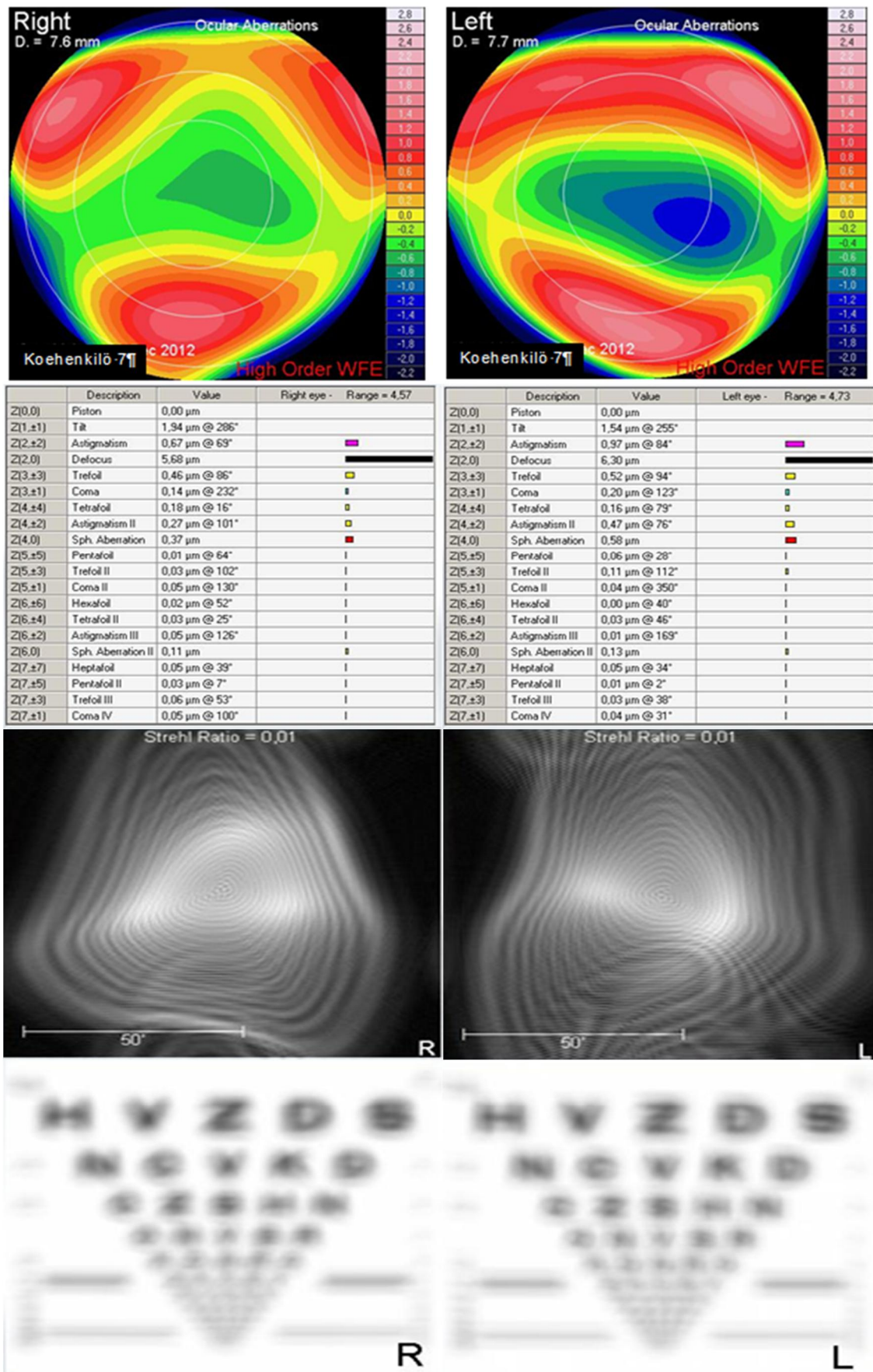
Kuvio 26. Koehenkilön 7 numeeristen arvojen kuvaajat

Koehenkilöllä 7 (kuviot 25 ja 26) suurimmat muutokset mitattiin oikeassa silmässä kolmen millimetrin neulanreiällä. Kolmella millimetrillä mittasimme koehenkilölle -1,0 dioptrian hajataitteisuuden, jota muilla neulanreiillä emme saaneet esille. Sfäärinen voimakkuus pysyi kaikilla halkaisijoilla samana, -2,0 dioptriassa. Myös näöntarkkuus oli huonoin pienimmän neulanreiän läpi katsottuna.

Vasempaan silmään emme saaneet mitattua hajataitteisuutta millään neulanreiällä. Sfäärinen voimakkuus oli sekä viidellä että seitsemällä millimetrillä -2,0, kun taas kolmella millimetrillä se oli -1,75. Näöntarkkuus laski vasemmassa silmässä suurimmalla neulanreiällä kolme optotyyppiä.

Kuvion 27 perusteella koehenkilön 7 silmän kuvautumisvirheet ovat: hajataitteisuus $0,67\mu\text{m}$, defokus $5,68\mu\text{m}$, trefoil $0,46\mu\text{m}$, komavirhe $0,14\mu\text{m}$, tetrafoil $0,18\mu\text{m}$, hajataitteisuus II $0,27\mu\text{m}$, sfäärinen aberratio $0,37\mu\text{m}$ ja sfäärinen aberratio II $0,11\mu\text{m}$. Defokuksen suuresta määrästä johtuen valopisteen kuvautuminen on hajonnutta. Sen aiheuttama epätarkkuus on havaittavissa myös näöntarkkuustaulua simuloivassa kuvassa.

Vasemmassa silmässä hajataitteisuutta on $0,97\mu\text{m}$, defokusta $6,30\mu\text{m}$, trefoilia $0,52\mu\text{m}$, komavirhettä $0,20\mu\text{m}$, tetrafoilia $0,16\mu\text{m}$, hajataitteisuus II:ta $0,47\mu\text{m}$, sfääristä aberratiota $0,58\mu\text{m}$, trefoil II:ta $0,11\mu\text{m}$ ja sfäärinen aberratio II:ta $0,13\mu\text{m}$. Myös vasemman silmän defokuksen määrä on havaittavissa valopisteen kuvautumista esittävässä kuvassa. Ilman optista korjausta koehenkilön silmä muuttaa valopisteen laajaksi rengasmaiseksi alueeksi.



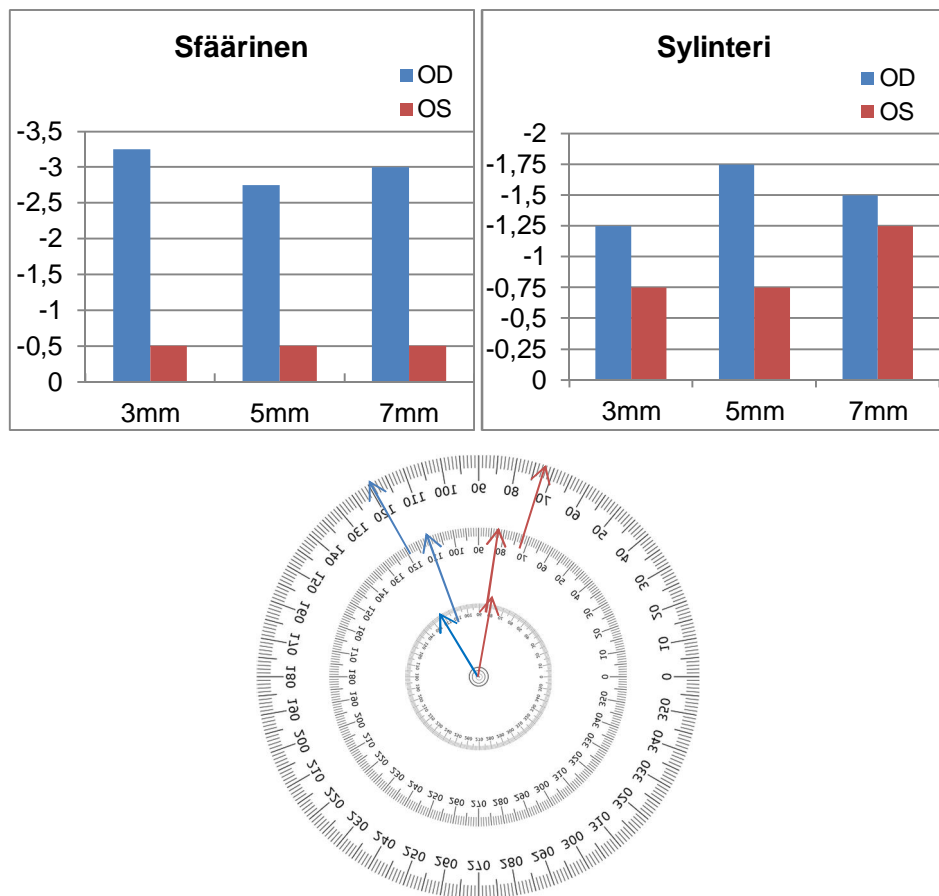
Kuvio 27. Koehenkilön 7 Zeiss i.Profiler mittaukset

8.5 Koehenkilö 9

Voimakkuudet						
Koehenkilö 9						
		Sfäärinen	Sylinteri	Akseli	Visus	Visus vanhoilla arvoilla
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	-3,25	-1,25	116	1.2 ²	
	vasen silmä	-0,75	-1,00	80	1.5	
3mm neulanreikä	oikea silmä	-3,25	-1,25	122	1.2 ²	1.2 ²
	vasen silmä	-0,50	-0,75	80	1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	-2,75	-1,75	110	1.2 ²	1.2 ¹
	vasen silmä	-0,50	-0,75	83	1.5	1.5
7mm neulanreikä	oikea silmä	-3,00	-1,50	119	1.2 ¹	1.2 ²
	vasen silmä	-0,50	-1,25	72	1.5	1.5

Tutkimusjärjestys 3mm, 5mm ja 7mm

Kuvio 28. Koehenkilön 9 tutkimustulokset

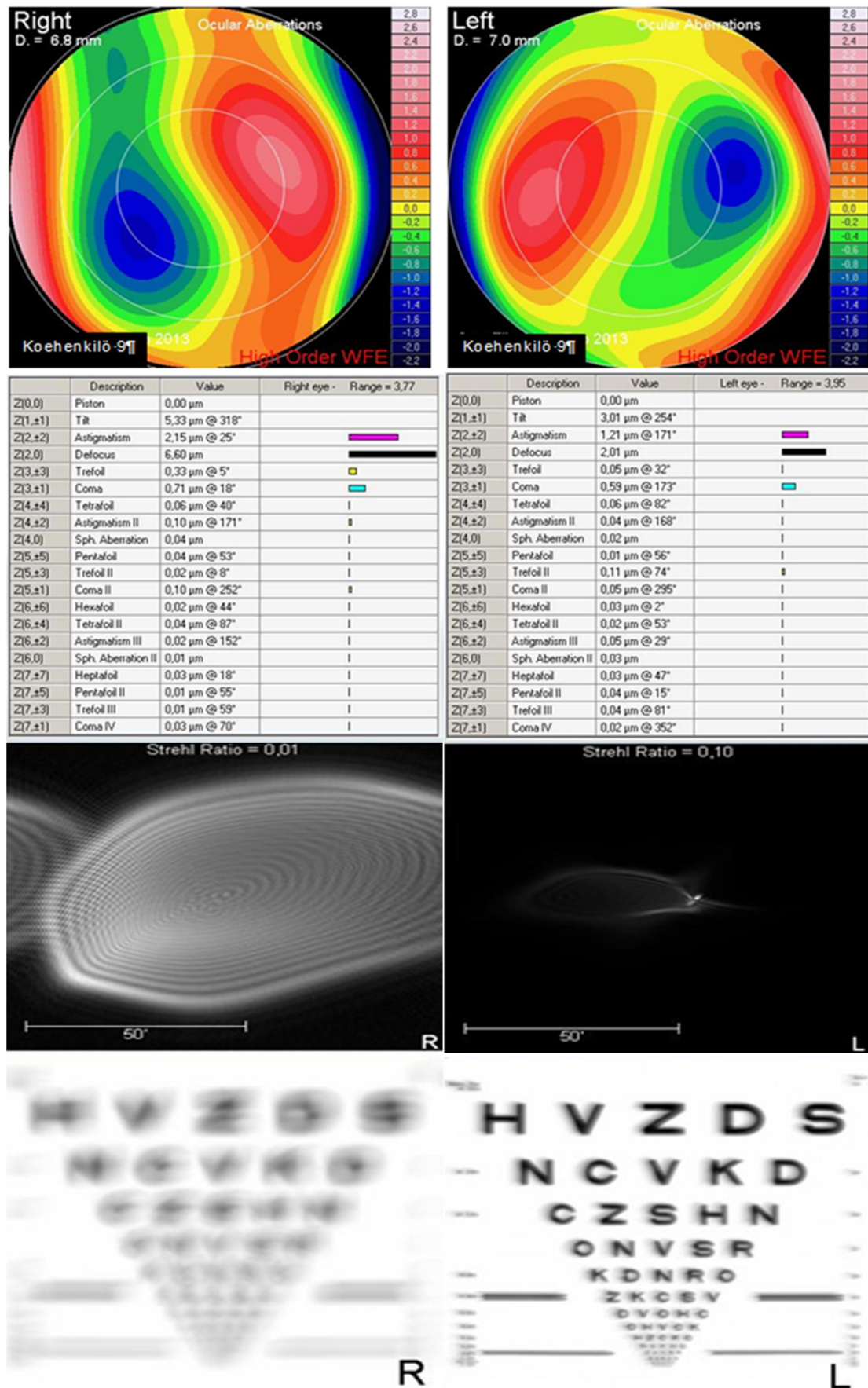


Kuvio 29. Koehenkilön 9 numeeristen arvojen kuvaajat

Oikean silmän sfäärinen voimakkuus koehenkilöllä 9 (kuviot 28 ja 29) muuttui kolmen ja viiden millimetrin neulanreikien välillä -3,25:stä -2,75:een, kun taas seitsemän millimetrin halkaisijalla se oli -3,0. Myös hajataiteisuus vaihteli eri halkaisijoilla. Kolmella millimetrillä hajataiteisuutta oli -1,25 ja viidellä millimetrillä -1,75. Seitsemän millimetrin reiällä hajataiteisuus oli taas -1,50. Sylinterikorjauksen akselisuunta vaihteli 110 ja 122 asteen välillä.

Vasemmassa silmässä sfäärinen sekä sylinterivoimakkuus pysyvät samassa kolmesta viiteen millimetriin. Myös seitsemällä millimetrillä sfäärinen voimakkuus oli -0,50, mutta astigmatia lisääntyi -1,25 dioptriaan. Sylinterikorjauksen akselisuunta vaihteli erikokoisilla rei'illä 72 asteesta 83 asteeseen. Näöntarkkuudet olivat kaikilla halkaisijoilla 1.5.

Koehenkilön 9 oikean silmän kuvautumisvirheet ovat (kuvio 30) hajataiteisuus $2,15\mu\text{m}$, defokus $6,60\mu\text{m}$, trefoil $0,33\mu\text{m}$ ja komavirhe $0,71\mu\text{m}$. Valopisteen kuvautuminen on levinnyt laajaksi, hieman astigmatian suuntaan kallistuneeksi, pyöreäksi alueeksi. Valopisteen leviäminen koehenkilön 9 kohdalla johtuu pääosin defokuksesta. Vasemmassa silmässä hajataiteisuutta on $1,21\mu\text{m}$, defokusta $2,01\mu\text{m}$, komavirhettä $0,59\mu\text{m}$ ja trefoil II:ta $0,11\mu\text{m}$.



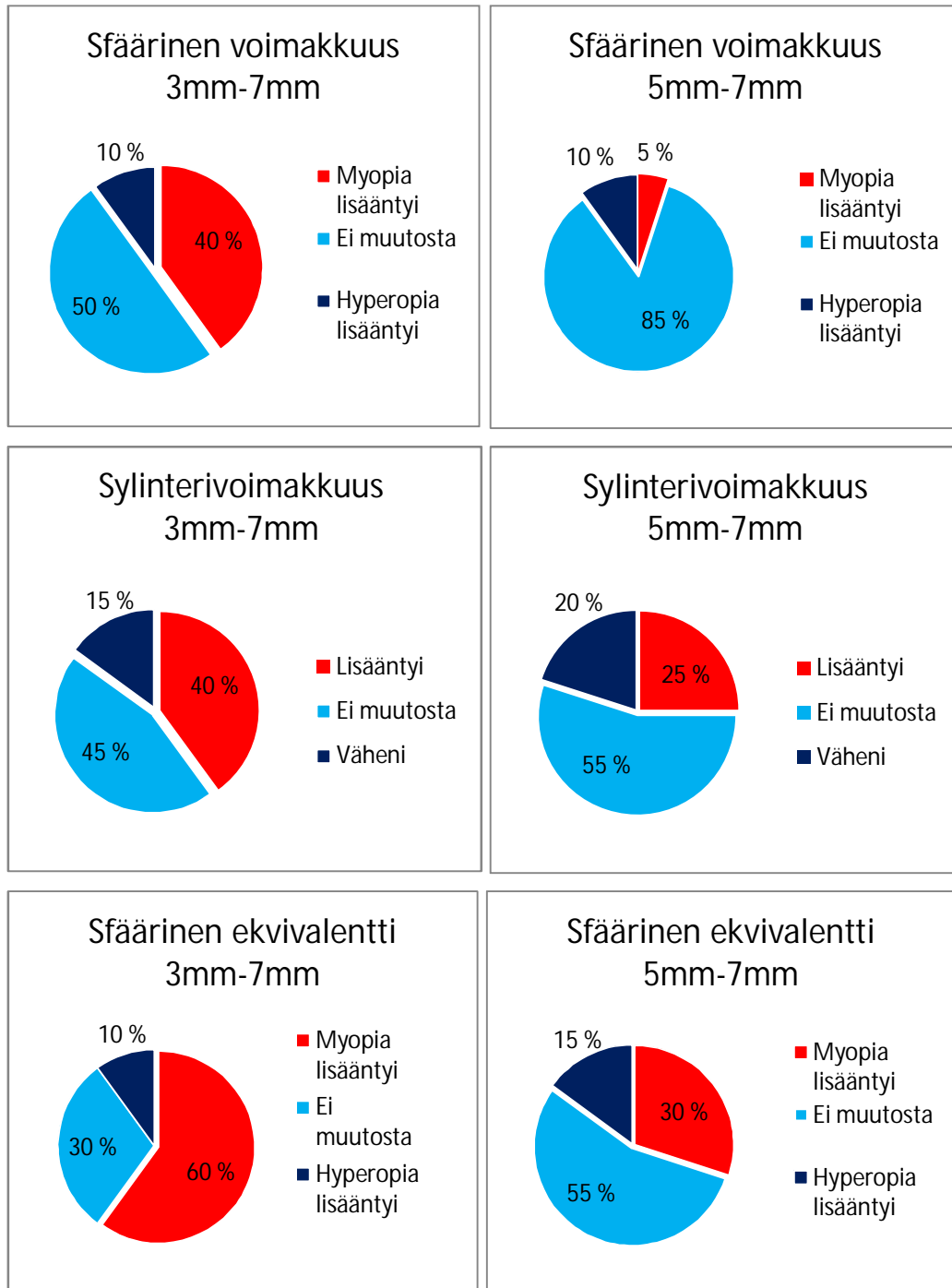
Kuvio 30. Koehenkilön 9 Zeiss i.Profiler mittaukset

9 Tulosten analysointi

Vaikka esille saamamme näöntarkastustulosten vaihtelut eivät olleet niin suuria kuin aiemmin julkaistut tutkimukset antoivat odottaa, olimme silti yllättyneitä siitä, kuinka merkittävästi pupillin koko vaikutti yksittäisten henkilöiden refraktiotulokseen ja näöntarkkuuteen. Todennäköisesti pienestä koehenkilöryhmästä johtuen mittaamamme keskiarvo muutokset jäivät pieniksi. Tämän takia pelkästään keskiarvojen ja sfääristen ekvivalenttien perusteella tuloksistamme voisi olettaa, että pupillin koolla ei ole juurikaan merkitystä näöntarkastuksen lopputulokseen. Kuitenkin, kun tarkastellaan tarkemmin yksittäisiä mittaustuloksia, huomataan että muutokset voivat olla yllättävän suuria jo kolmen ja viiden millimetrin pupillien välillä. Hyvänä esimerkkinä tästä on koehenkilö 7, jolle kolmen millimetrin neulanreiän läpi mittasimme oikeaan silmään -1,0 dioptrian verran hajataitteisuutta, vaikka viiden ja seitsemän millimetrin rei'illä hajataitteisuutta ei ollut lainkaan. Tutkimuksen aikana koehenkilö itse kuvaili katsoessaan pienimmän neulanreiän läpi omilla silmälasiarvoillaan, että näkeminen oli todella epätarkkaa ja tuntui siltä kun silmän edessä olisi ollut ylimääräinen sylinterilinssi. Hän myös saavutti paremman näöntarkkuuden tuon -1,0 hajataitteisuuskorjauksen kanssa, kuin omilla silmälaseillaan, katsoessaan kolmen millimetrin reiän läpi.

Vaikka tutkimusongelmassamme oletimme, että tutkittavien näöntarkastustulokset muuttuisivat likitaitteisemmiksi pupillin koon kasvaessa, näin ei kuitenkaan kaikkien koehenkilöiden kohdalla tapahtunut. Tutkimistamme silmistä viidessä (25 %) hyperopia lisääntyi tutkimusaukon kasvaessa kolmesta millimetristä suuremmaksi. Tulosten analysoinnissa keskityimme pääasiassa vertailemaan saamiamme tuloksia kolmen ja seitsemän millimetrin neulanreikien välillä, koska oletimme suurimpien muutosten tapahtuvan niiden kesken. Kuitenkin tutkimistamme 20 silmästä seitsemässä silmässä (35%) mittaustulokset poikkesivat eniten viiden millimetrin neulanreiällä suhteessa kahteen muuhun rajattuun pupillin halkaisijaan. Alla olevaan kuvioon (Kuvio 31) on kerätty rinnakkain kolmen ja seitsemän millimetrin välillä tapahtuneet voimakkuusmuutokset sekä viiden ja seitsemän millimetrin välillä tapahtuneet muutokset. Kuvion perusteella voidaan päätellä, että valtaosa pupillin koon aiheuttamista voimakkuusmuutoksista tapahtuu jo pupillin kasvaessa kolmesta millimetristä viiteen millimetriin.

Mielestämme huomionarvoista oli myös se, että ainoastaan kolmessa (15 %) tutkimistamme silmistä ei tapahtunut minkäänlaista dioptrialista muutosta eri neulanreikien välillä. Tosin vaikka heidän voimakkuuksissaan ei muutoksia tapahtunut, hajataitteisuuden suunnan muutokset näissä kolmessa silmässä olivat kuitenkin yleistä keskiarvoa suuremmat, keskimäärin 28 astetta.



Kuvio 31. Voimakkuusmuutokset kolmen ja seitsemän millimetrin sekä viiden ja seitsemän millimetrin neulanreikien välillä

10 Pohdinta

Vaikka saamamme tutkimustulokset ovat samansuuntaisia aikaisemmin samasta aiheesta tehtyjen tutkimusten kanssa, yllätyimme silti, että eri neulanreikien läpi tehdyt näöntarkastustulokset vaihtelivat lähes jokaisella tutkimushenkilöllä. Osalla tutkimushenkilöistä tulokset vaihtelivat hyvinkin paljon. Tutkimus sai meidät pohtimaan, huomioidaanko pupillin koon vaihteluja tarpeeksi työelämässä. Esimerkiksi mahdollisissa näöntarkastuksissa ilmenevissä ongelmatilanteissa tai epäjohtonmukaisuuksissa selitystä voisi hakea pupillin koon vaihteluista, silmän aberraatioista ja niiden jakaumasta erikokoisten pupillien pinnan alueella. Tämän vuoksi optikoilla olisi hyvä olla jonkinlainen käsitys siitä, miten pupillin koko voi vaikuttaa näöntutkimuksen lopputuloksiin ja näkemisen laatuun.

Opinnäytetyötä tehdessämme huomasimme myös miten paljon silmien kuvautumisvirheet voivat vaikuttaa näöntarkastuksessa saatuihin tuloksiin. Tutkimuksen edetessä opimme tunnistamaan aberraatioiden aiheuttamia epäjohtonmukaisuuksia näöntarkastuksessa ja osasimme jo mielessämme kuvitella millaiselta kyseisen koehenkilön aberraatiokuva todennäköisesti tulisi näyttämään. Esimerkiksi koehenkilön 9 vasemman silmän akselisuunnan määrittäminen oli vaikeaa, sillä hän ei huomannut akselisuunnan muutosten parantavan tai huonontavan näöntarkkuutta niiden ollessa 60 ja 85 asteen välissä. Kyseisellä henkilöllä oli hajataitteisuutta noin -1,0 dioptriaa, jolloin yleensä jo 5-10 asteen muutos akselisuunnassa havaitaan. Otettuamme Zeiss i.Profilerilla aberraatiokuvat koehenkilön silmistä ymmärsimme, että kuvautumisen epäsäännöllisyyden takia mikään tietty akselisuunta ei ollut selkeästi paras.

Opinnäytetyötä tehdessämme saimme paljon hyödyllistä kokemusta sykkloplegisen refraktion tekemiseen, joka tulevaisuudessa tulee todennäköisesti olemaan oleellinen osa optikon työtä. Huomasimme muun muassa, että koulussa oppimamme hajataitteisuuden määrittäminen pallokuviolla, antoi helposti tutkittavalle ylikorjattuja hajataitteisuusarvoja, jotka vain laskivat näöntarkkuutta. Siirryttyämme käyttämään rajattua optotyyppiä hajataitteisuuden määrittäksessä näitä ylikorjauksia ei enää tullut esille.

Vaikka tutkimustuloksemme olivatkin yhteneviä aikaisemmin julkaistujen tutkimustulosten kanssa, ei siitä voi tehdä pitkälle vietyjä yleistyksiä pienen otannan takia. Toinen tutkimuksen luotettavuuteen mahdollisesti vaikuttava tekijä on näöntarkkuusrivien ulkoa oppiminen tutkimuksen aikana. Emme voineet vaihtaa käyttämiämme optotyyppejä kesken tutkimuksen, koska se olisi vääristänyt tuloksia. Vaikka ohjeistimme koehenkilöitä, että heidän tulisi suhtautua kirjaimiin niin kuin eivät muistaisi niitä, voi joskus olla vaikea arvioida pystyisivätkö he arvaamaan kyseisen merkin, jos eivät tietäisi mikä se on. Mielestämme tutkimuksen luotettavuus olisi parantunut, jos käyttämiemme optotyyppirivien kirjainten järjestystä olisi voinut muuttaa kesken tutkimuksen. Tämä olisi tehnyt jokaisesta tutkimuksesta yksilöllisemmän, tulosten vertailtavuutta kuitenkin muuttamatta. Samalla se olisi poissulkenut oppimisen mahdollisuuden.

Toinen näöntarkkuusriveihin liittyvä parannusehdotus olisi käyttää pidemmälle ulottuvaa visusasteikkoa. Käyttämässämme tutkimushuoneessa pienin visusrivi oli 1.5, jonka useat tutkittavistamme näkivät. Jos käytössämme olisi ollut 2.0:n tai 2.5:n asti ulottuvat visusrivit, olisi näöntarkkuuksien vaihteluiden mittaaminen ollut vielä tarkempaa. Tutkimuksessa määritimme voimakkuudet Suomessa standardina käytetyn 0,25 dioptrian tarkkuudella. Muutoksien tarkemman mittaamisen olisi mahdollistanut 0,125 dioptrian linssit. Mielestämme 0,25 dioptrian linssit saattoivat voimakkuudeltaan olla liian suuret ja pyöristää tuloksia liian paljon.

Opinnäytetyömme aikana keksimme parannusehdotuksen myös laitevalmistajille. Tulevaisuudessa sykloplegisten refraktioiden todennäköisesti yleistyessä olisi hyödyllistä, jos forofterista tai koelinssilaatikosta löytyisi valmiina esimerkiksi kolmen ja viiden millimetrin kokoiset neulanreikälinssit, perinteisen kahden millimetrin neulanreiän lisäksi. Niiden avulla voitaisiin tarvittaessa helposti tarkistaa erikokoisen pupillin vaikutus refraktioon. Pupillin kokoa rajaava linssi poistaisi myös sarveiskalvon laita-alueiden ylimääräisten aberraatioiden vaikutukset ja tekisi syklorefraktiosta helpompaa sekä luotettavampaa.

Työmme luotettavuutta lisäsi myös se, että olimme molemmat paikalla jokaisessa näöntarkastuksessa. Tällöin pystyimme keskustelemaan keskenämme ongelmatilanteissa eikä meidän mahdollisesti erilaiset näöntarkastustekniikkamme vääristäneet tuloksia. Teimme kaikki opinnäytetyöhömmme liittyvät mittaukset samassa näöntarkastushuoneessa ja samoilla välineillä. Käyttämämme forofteri oli

automaattinen, jolla saimme mitattua akselisuunnat tarkasti yhden asteen tarkkuudella. Kyseisessä laitteessa oli neulanreikien keskelle asentamista helpottavat asennusristit sekä kahden millimetrin integroitu neulanreikä. Niiden ansiosta saimme asennettua tekemämme neulanreiät tarkasti keskelle forofterin takalinssiä, jolloin forofterin linssit eivät aiheuttaneet ylimääräistä prismavaikutusta. Samalla linssien optiikka säilyi virheettömänä.

Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista tutkia, miten esimerkiksi Zeiss i.Profilerin aberratiokuvien perusteella valmistetut korkean asteen aberratiot korjaavat silmälasit toimivat ja saavutetaanko niillä parempia näöntarkkuuksia erilaisissa valaistusolosuhteissa kuin perinteisillä silmälasilla. Toinen mielenkiintoinen tutkimusaihe olisi vertailla erikokoisilla neulanrei'illä saaduilla refraktioilla valmistettujen linssien toimivuutta käytännössä. Näin saataisiin selville, minkä kokoisella pupillilla tehty näöntarkastus olisi asiakkaan käyttömukavuuden kannalta miellyttävin.

Lopuksi haluaisimme esittää kiitokset opinnäytetyömme ohjaajille Eero Kokolle, jolta saimme apua tulosten analysointiin sekä tutkimuksen aiheen isälle, Juha Päällysaholle. Juhalta saimme paljon tietoa ja materiaalia aberratioista sekä niiden vaikutuksesta näkemiseen. Juha järjesti meille myös mahdollisuuden esitellä tutkimuksemme aihetta ja tuloksia optikoille diagnostisten lääkeaineiden käyttökoulutuskurssilla helmikuussa 2013. Erityiskiitoksen ansaitsevat myös opinnäytetyöhömmme osallistuneet koehenkilöt sekä koko SO10K1 kurssi.

11 Lähteet

Alcocer, Javier Ruiz 2012. Visual quality, adaptive optics and visual simulation. Power Point esitys.

Benjamin, William – Borish, Irwin 1998. Borish's Clinical Refraction. Monocular and binocular subjective refraction. USA, W.B. Saunders Company. 629-723.

Benjamin, William – Pensyl, Denise 1998. Borish's Clinical Refraction. Ocular motility. USA, W.B. Saunders Company. 303-340.

Birren, James – Casperson, Roland – Botwinic, Jack 1950. Age Changes in Pupil Size. Oxford Journals. Tiivistelmä. Verkkodokumentti. <<http://geronj.oxfordjournals.org/content/5/3/216.short>> Luettu 01.02.2013

Carl Zeiss Meditec 2012. Glossary. Verkkodokumentti. <http://meditec.zeiss.com/meditec/en_de/services/training-and-education/dentistry/dentistry-online-education/glossary.html#inpagetabs-5> Luettu 30.01.2013

Carl Zeiss Vision. i.Scription® - what is it? Next generation vision correction. PowerPoint-esitys.

Collins, M. - Shaw, A. - Menkens, E. - Davis, B. - Franklin, R., 2002. The Effect of Pupil Size on Subjective Refraction with Irregular Corneas. Tiivistelmä. Verkkodokumentti. <<http://eprints.qut.edu.au/12141/>> Luettu 15.01.2013

Epstein, D. 1950. Accommodation as the primary cause of low-luminance myopia. Experimental evidence. National Center for Biotechnology Information. PubMed 2009. Tiivistelmä. Verkkodokumentti. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6624409>> Luettu 01.02.2013

Forrester, John - Dick, Andrew- McMenamin, Paul - Lee, William 1999. The Eye - Basic sciences in practice. Lontoo, Harcourt Brace & Company Ltd.

Fannin, Troy E. – Grosvenor, Theodore 1996: Clinical Optics. Toinen painos. Boston. Butterworth Heinemann.

Frazier, Marcela – Jaanus, Siret D. 2008. Cycloplegics. In Bartlett, Jimmy D. – Jaanus, Siret D. (eds.): Clinical Ocular Pharmacology. Fifth Edition. St. Louis Missouri: Butterworth Heinemann Elsevier.

Goss, David 1995. Ocular Accommodation, Convergence and Fixation Disparity. A Manual of Clinical Analysis. 2. painos. USA: Butterworth Heinemann.

Grosvenor, Theodore 2007. Primary care optometry. 5. Painos. USA: Butterworth-Heinemann. 3-30.

Hamano, Hikaru - Kaufman Herbert 1997. Corneal physiology and disposable contact lenses. USA, Butterworth - Heinemann.

Holopainen, Juha – Krootila, Kari 2010. Sarveiskalvon kartiorappeuman uudet hoitomahdollisuudet. Lääketieteellinen Aikakausikirja Duodecim 126(2):152-8. Verkkodokumentti. <http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/etusivu?p_p_id=dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku&p_p_action=1&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=col-umn1&p_p_col_count=1&dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku__spage=%2Fportlet_action%2Fdlehtihakuartikkeli%2Fviewarticle%2Faction&dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_tunnus=duo98542> Luettu 19.01.2013

Kivelä, Tero 2011. Silmätautioppi. Silmän rakenne ja toiminta. Toim. Saari, Matti. Kandidaattikustannus Oy. 11-37.

Lawrenson, John 2010. Contact lens practise. The anterior eye. 2. Painos. USA: Butterworth-Heinemann.

Meister, Darryl – Thibos, Larry 2010. i.Scription by ZEISS: Setting the New Standard of Vision Correction.

Morgan, Philip 2010. Tear film proteins. Tear film proteins: Examining production, role and interaction with contact lenses. Verkkodokumentti. <<http://www.clspectrum.com/articleviewer.aspx?articleid=104177>> Luettu 21.01.2013

Oftan Tropicamid 2004. Valmisteyhteenveto. Fimea, lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus. Verkkodokumentti. <<http://spc.fimea.fi/indox/nam/html/nam/humspc/6/88596.pdf>>. Luettu 28.01.2013.

Perret Opticians 2012. High order Aberrations. Rodenstock Eye Lens Technology with DNEye®. 100% Vision with the holistic success concept for better vision from Rodenstock. Verkkodokumentti. <http://www.perretoptic.ch/optometrie/Test_aberrometrie/Aberrometrie_gb.htm> Luettu 20.01.2013

Riekki, Jussi 2010. Mielen voima: Plaseboefekti. Verkkodokumentti. <<http://keho.net/artikkelit/naytaartikkeli/Mielen-voima-plaseboefekti>> Luettu 21.01.2013.

Root Timothy. Ophthobook. Verkkodokumentti. <<http://www.ophthobook.com/questions/question-what-is-pinholing-a-patient>> Luettu 28.01.2013

Rose Opticals PVT. LTD. 2009. Know your eye. Refractive errors. Verkkodokumentti. <<http://www.roseopticals.com/html/knowureye.php>> Luettu 21.01.2013

Rosenfield, Mark 2006. Borish's Clinical Refraction. Refractive status of the eye. Second edition. St. Louis, Butterworth - Heinemann Elsevier.

Saari, Matti 2001. Silmätautioppi. Silmän refraktio ja akkomodaatio. Toim. Saari, Matti. Kandidaattikustannus Oy. 288-304.

Teräsvirta, Markku 2011. Silmätautioppi. Mykiö ja sen sairaudet. Toim. Saari, Matti. Kandidaattikustannus Oy. 207-223.

Tilastokeskus 2012. Kvantitatiivinen tutkimus. Verkkodokumentti. <<http://www.stat.fi/tup/verkkokoulu/data/tt/01/04/index.html>> Luettu 21.01.2013

Today's Vision 2013. ZEISS precision eyeglass lenses and i.Scription® enhance your vision and your life. Verkkodokumentti. <http://www.todayvision.com/Content/eye_glasses/lenses/zeiss/iscrition/iscrition.aspx> Luettu 13.02.2013

Yoon - Jeong - Cox - Williams 2004. Vision improvement by correcting higher-order aberrations with phase plates in normal eyes. PubMed 2009. Tiivistelmä. Verkkodokumentti. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15523969>> Luettu 07.02.2013

Näöntarkastuslomake

Päivämäärä:

Koehenkilö:

Tutkimuksen tekijä:

Nykyiset silmälasit:

OD: _____

OS: _____

Silmälasit hankittu _____

Refraktio 1.

OD _____

OS _____

Neulanreiän koko 3mm / 5mm / 7mm

Refraktio 2.

OD _____

OS _____

Neulanreiän koko 3mm / 5mm / 7mm

Refraktio 3.

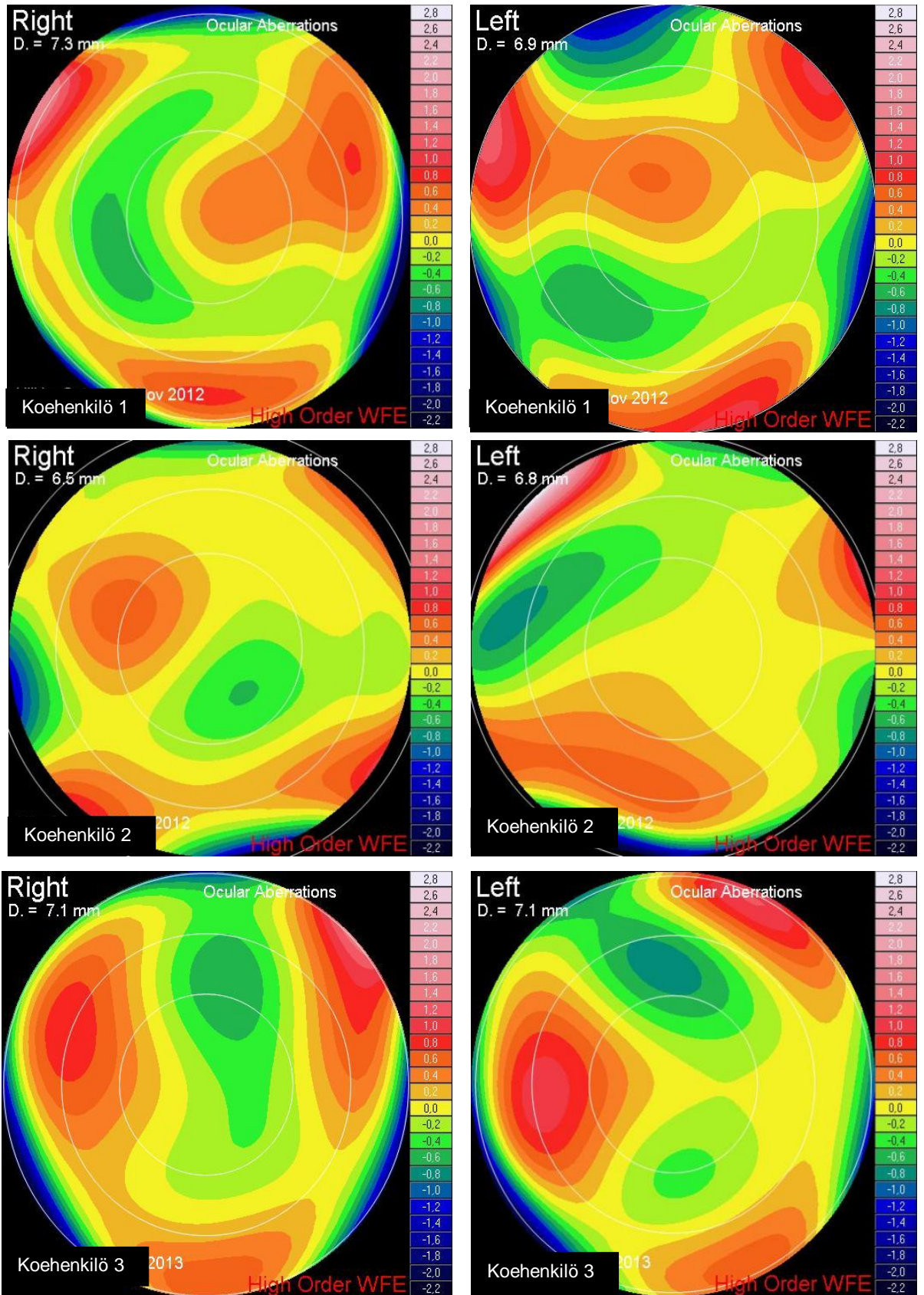
OD _____

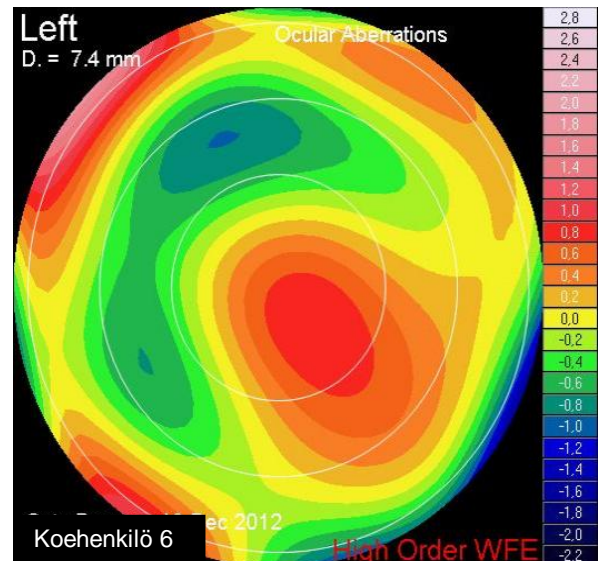
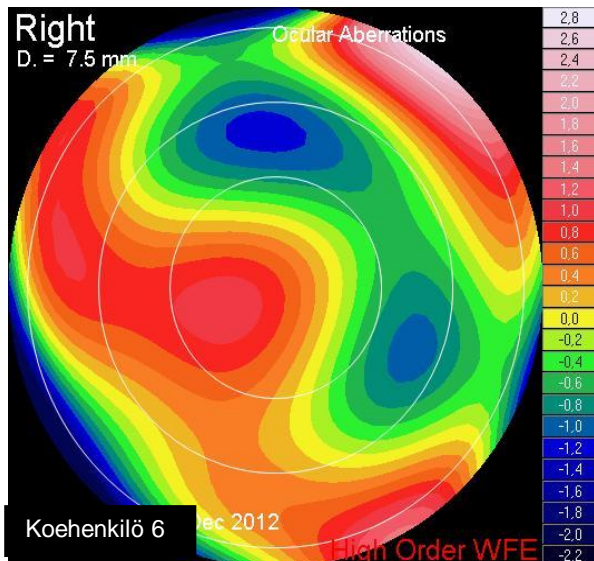
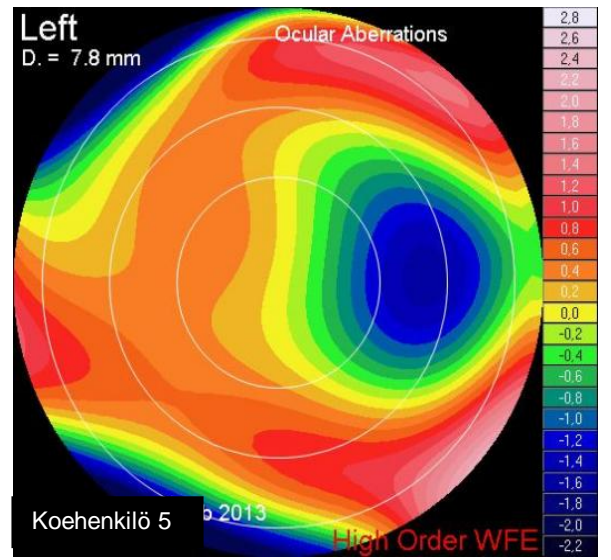
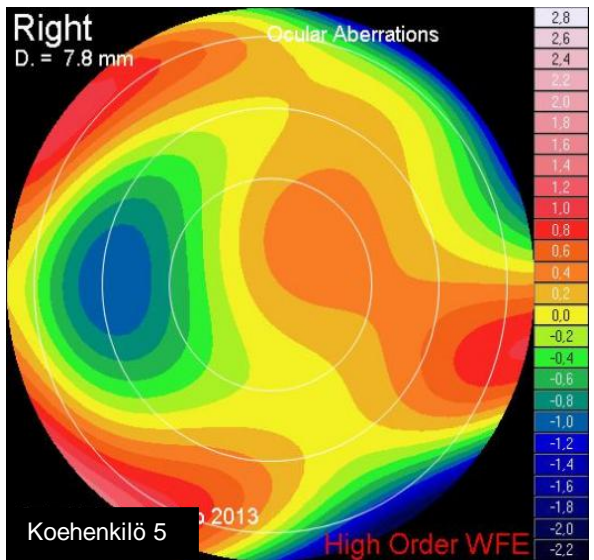
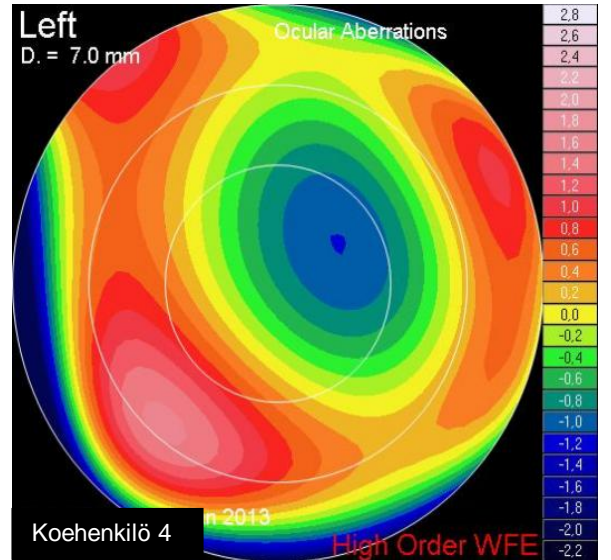
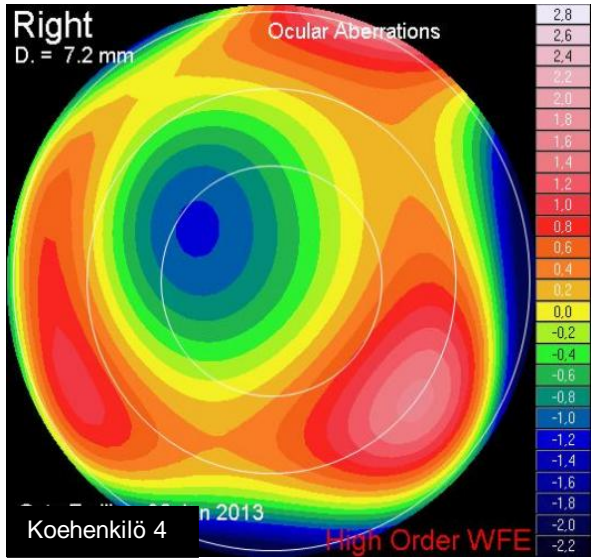
OS _____

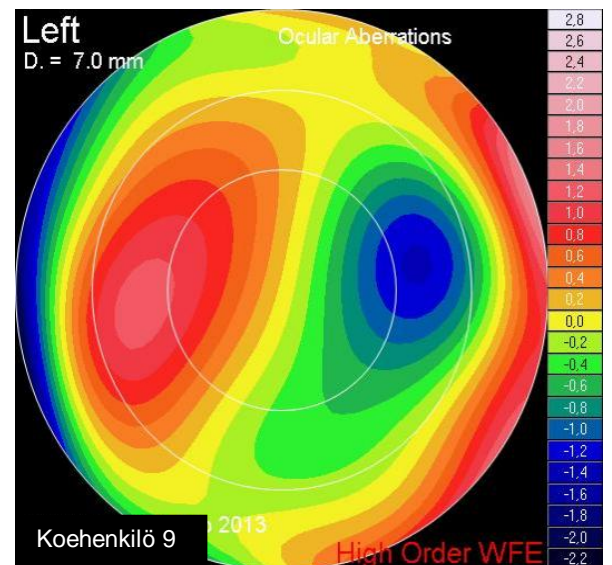
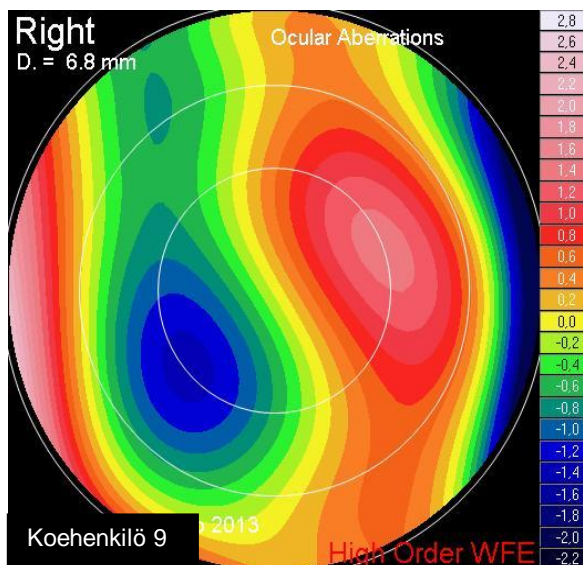
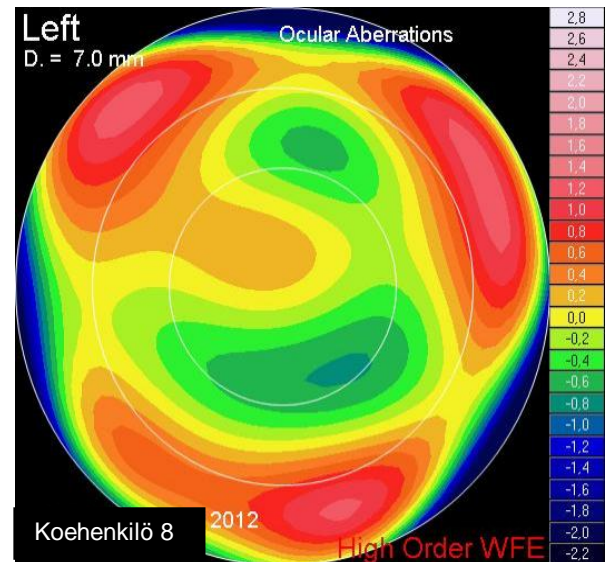
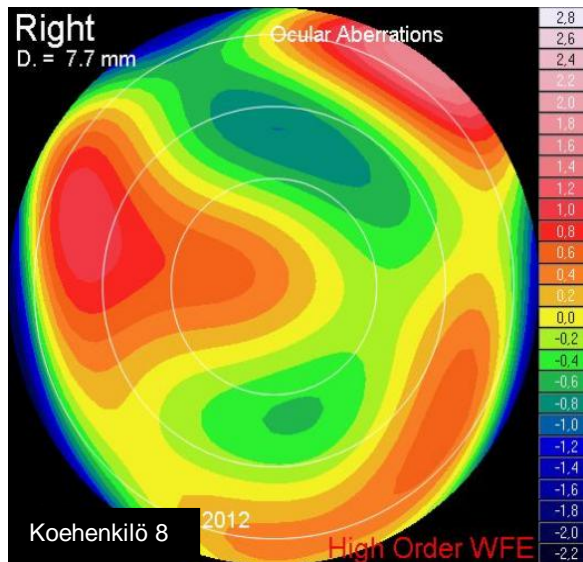
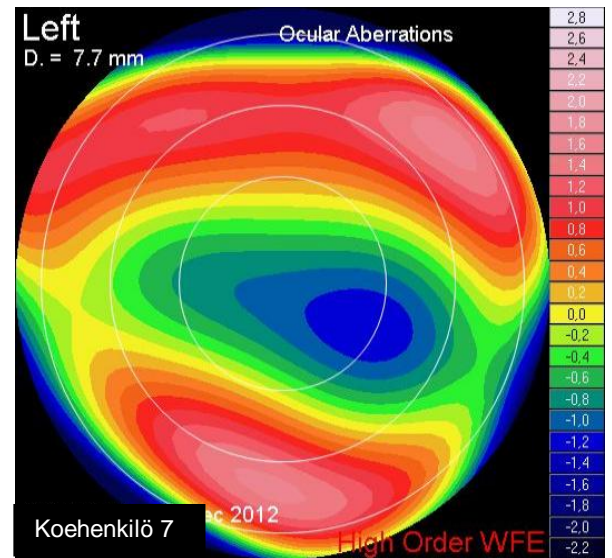
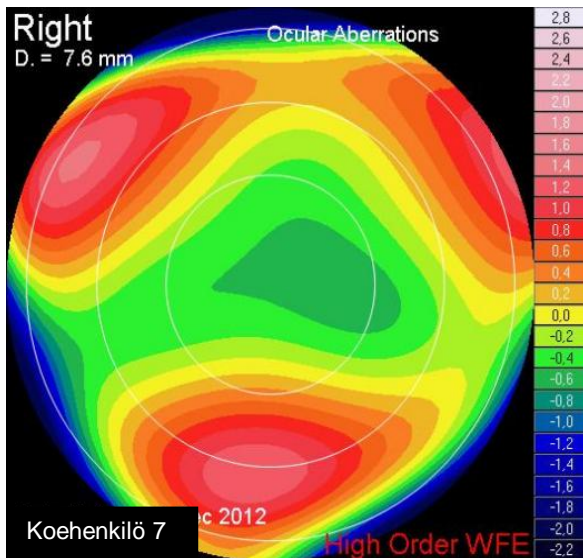
Neulanreiän koko 3mm / 5mm / 7mm

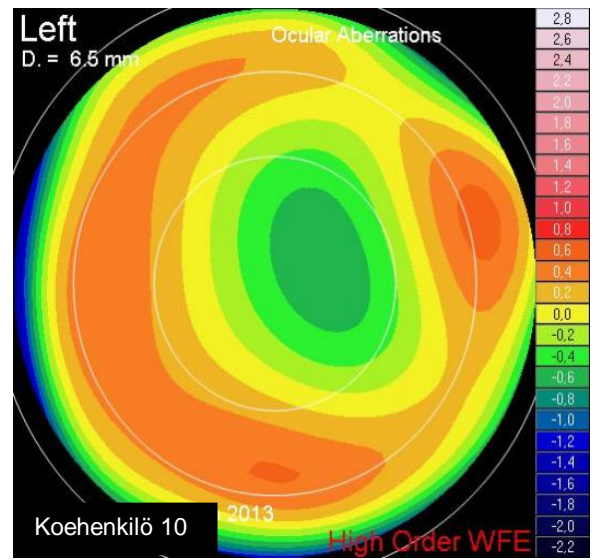
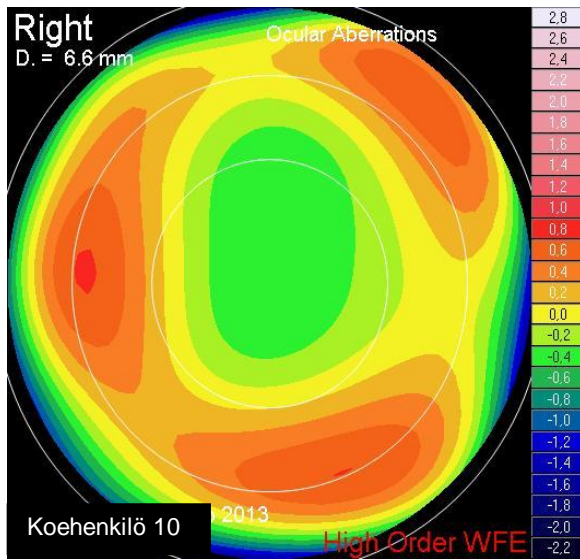
Huomioita tutkimuksesta:

Zeiss i.Profiler kuvat tutkimushenkilöiden silmien aberraatioista









Tutkimustulokset

Voimakkuudet						
		<u>Sfäärinen</u>	<u>Sylinteri</u>	<u>Akseli</u>	<u>Visus</u>	<u>Visus vanhoilla arvoilla</u>
Koehenkilö 1						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	0,00				
	vasen silmä	- 0,75				
3mm neulanreikä	oikea silmä	+0,25			1.5	1.5
	vasen silmä	- 0,75	-0,25	40	1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	0,00	-0,25	32	1.5	1.5
	vasen silmä	- 0,75	-0,25	80	1.5	1.5
7mm neulanreikä	oikea silmä	0,00	-0,25	40	1.5	1.5
	vasen silmä	- 0,75	-0,25	40	1.5	1.5 ¹
Tutkimusjärjestys 3mm, 7mm ja 5mm						
Koehenkilö 2						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	+1,50	-1,75	155		
	vasen silmä	+1,50	-2,00	30		
3mm neulanreikä	oikea silmä	+2,00	-2,00	160	1.5	1.5
	vasen silmä	+1,75	-2,00	32	1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	+2,00	-2,00	156	1.2 ^{*2}	1.2 ^{*2}
	vasen silmä	+2,00	-2,00	33	1.2 ^{*2}	1.5 ¹
7mm neulanreikä	oikea silmä	+2,00	-2,00	156	1.2 ^{*1}	1.2 ^{*2}
	vasen silmä	+2,00	-2,50	33	1.2 ^{*2}	1.2 ^{*2}
Tutkimusjärjestys 3mm, 5mm ja 7mm						

Voimakkuudet		<u>Sfäärinen</u>	<u>Sylinteri</u>	<u>Akseli</u>	<u>Visus</u>	<u>Visus vanhoilla arvoilla</u>
Koehenkilö 3						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	0,00				
	vasen silmä	0,00				
3mm neulanreikä	oikea silmä	+0,50			1.5	1.5
	vasen silmä	+0,50	-0,25	40	1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	+0,50	-0,50	115	1.5	1.5
	vasen silmä	0,00	-0,25	43	1.5	1.5
7mm neulanreikä	oikea silmä	+0,50	-0,25	119	1.5	1.5
	vasen silmä	+0,25	-0,25	50	1.5	1.5
Tutkimusjärjestys 7mm, 5mm ja 3mm						
Koehenkilö 4						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	+0,50				
	vasen silmä	+0,50				
3mm neulanreikä	oikea silmä	+1,00	-0,50	80	1.5	1.5
	vasen silmä	+1,00			1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	+0,75	-0,50	84	1.5	1.5
	vasen silmä	+0,75			1.5	1.5
7mm neulanreikä	oikea silmä	+0,75	-0,50	84	1.5	1.5
	vasen silmä	+0,75			1.5	1.5
Tutkimusjärjestys 5mm, 3mm ja 7mm						

Voimakkuudet		<u>Sfäärinen</u>	<u>Sylinteri</u>	<u>Akseli</u>	<u>Visus</u>	<u>Visus vanhoilla arvoilla</u>
Koehenkilö 5						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	-1,00				
	vasen silmä	-0,25				
3mm neulanreikä	oikea silmä	-0,75	-0,25	13	1.5	1.5
	vasen silmä	-0,25			1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	-1,00			1.5	1.5
	vasen silmä	-0,25			1.5	1.5
7mm neulanreikä	oikea silmä	-0,75	-0,50	180	1.5	1.5
	vasen silmä	-0,25	-0,50	180	1.5	1.5 ²
Tutkimusjärjestys 5mm, 7mm ja 3mm						
Koehenkilö 6						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	+0,25	-0,75	135		
	vasen silmä	+0,25	-0,25	30		
3mm neulanreikä	oikea silmä	+0,75	-0,75	132	1.5 ²	1.5 ¹
	vasen silmä	+0,75	-0,75	26	1.5 ¹	1.2 ²
5mm neulanreikä	oikea silmä	+0,50	-1,00	130	1.5	1.5
	vasen silmä	+0,50	-0,50	26	1.5 ¹	1.2
7mm neulanreikä	oikea silmä	+0,50	-0,75	125	1.5 ²	1.5
	vasen silmä	+0,50	-0,50	50	1.5 ¹	1.5
Tutkimusjärjestys 7mm, 3mm ja 5mm						

Voimakkuudet						
		<u>Sfäärinen</u>	<u>Sylinteri</u>	<u>Akseli</u>	<u>Visus</u>	<u>Visus vanhoilla arvoilla</u>
Koehenkilö 7						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	-2,50			1.2 ⁻¹	
	vasen silmä	-2,50			1.5 ⁻¹	
3mm neulanreikä	oikea silmä	-2,00	-1,00	134	1.5 ⁻²	1.2 ⁻¹
	vasen silmä	-1,75			1.5 ⁻¹	1.5 ⁻¹
5mm neulanreikä	oikea silmä	-2,00			1.5	1.5 ⁻²
	vasen silmä	-2,00			1.5 ⁻¹	1.5 ⁻¹
7mm neulanreikä	oikea silmä	-2,00			1.5	1.5 ⁻¹
	vasen silmä	-2,00			1.2 ⁻¹	1.2 ⁻¹
Tutkimusjärjestys 5mm, 3mm ja 7mm						
Koehenkilö 8						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	-3,00	-1,00	90	1.5 ⁻¹	
	vasen silmä	-3,00	-1,00	60	1.5 ⁻¹	
3mm neulanreikä	oikea silmä	-3,00	-1,00	90	1.5	1.5
	vasen silmä	-3,00	-1,25	59	1.5	1.5 ⁻¹
5mm neulanreikä	oikea silmä	-3,00	-1,25	92	1.5	1.5 ⁻¹
	vasen silmä	-3,00	-1,00	60	1.5 ⁻²	1.5 ⁻²
7mm neulanreikä	oikea silmä	-3,00	-1,25	90	1.5	1.5 ⁻¹
	vasen silmä	-3,00	-1,25	59	1.5	1.5 ⁻¹
Tutkimusjärjestys 7mm, 5mm ja 3mm						

Voimakkuudet						
		<u>Sfäärinen</u>	<u>Sylinteri</u>	<u>Akseli</u>	<u>Visus</u>	<u>Visus vanhoilla arvoilla</u>
Koehenkilö 9						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	-3,25	-1,25	116	1.2 ²	
	vasen silmä	-0,75	-1,00	80	1.5	
3mm neulanreikä	oikea silmä	-3,25	-1,25	122	1.2 ²	1.2 ²
	vasen silmä	-0,50	-0,75	80	1.5	1.5
5mm neulanreikä	oikea silmä	-2,75	-1,75	110	1.2 ²	1.2 ¹
	vasen silmä	-0,50	-0,75	83	1.5	1.5
7mm neulanreikä	oikea silmä	-3,00	-1,50	119	1.2 ¹	1.2 ²
	vasen silmä	-0,50	-1,25	72	1.5	1.5
Tutkimusjärjestys 3mm, 5mm ja 7mm						
Koehenkilö 10						
Vanhat lasiarvot	oikea silmä	-3,75	-0,25	20	1.5 ²	
	vasen silmä	-3,75	-0,25	165	1.2	
3mm neulanreikä	oikea silmä	-3,50	-0,75	175	1.2 ²	1.5 ²
	vasen silmä	-3,75	-0,25	25	1.5 ¹	1.5 ²
5mm neulanreikä	oikea silmä	-3,75	-0,50	10	1.2 ²	1.2 ²
	vasen silmä	-3,75	-0,25	165	1.5 ²	1.5 ²
7mm neulanreikä	oikea silmä	-3,75	-0,25	10	1.2 ¹	1.5 ²
	vasen silmä	-3,75	-0,25	0	1.5 ²	1.2
Tutkimusjärjestys 7mm, 5mm ja 3mm						

Huomiota tutkimuksista:**Koehenkilö 1**

7mm neulanreiällä näki 1.5 visuksen helposti niin kirjaimilla kuin numeroillakin

Koehenkilö 2

Näöntarkkuus tuntui paremmalta pienellä neulanreiällä

Ristisyylinterillä OD sylinteriä menisi -2,75 miellyttävästi, mutta se laski kuitenkin visusta ja kellokuvio huononi

koehenkilö 6

Ristisyylinterillä OD sylinteriä menisi -1,25 miellyttävästi, mutta visukset laskivat

Koehenkilö 7

3mm neulanreiällä -1,00 sylinteri tuntui huomattavasti paremmalta kuin ilman sylinteriä. Ilman sylinteri korjausta koehenkilöstä tuntui kuin silmän edessä olisi ollut sinne kuulumatonta sylinteri korjausta

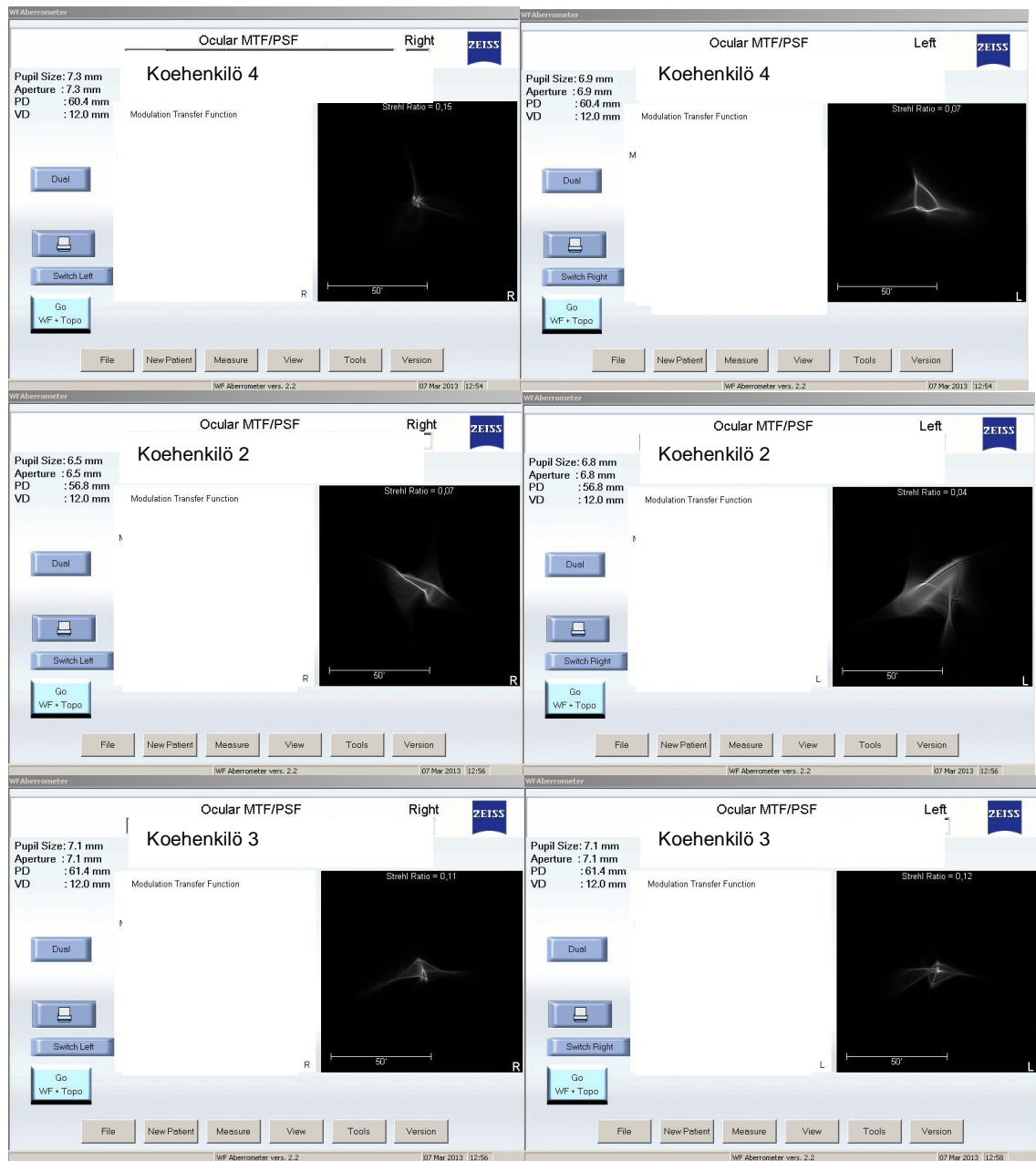
Koehenkilö 9

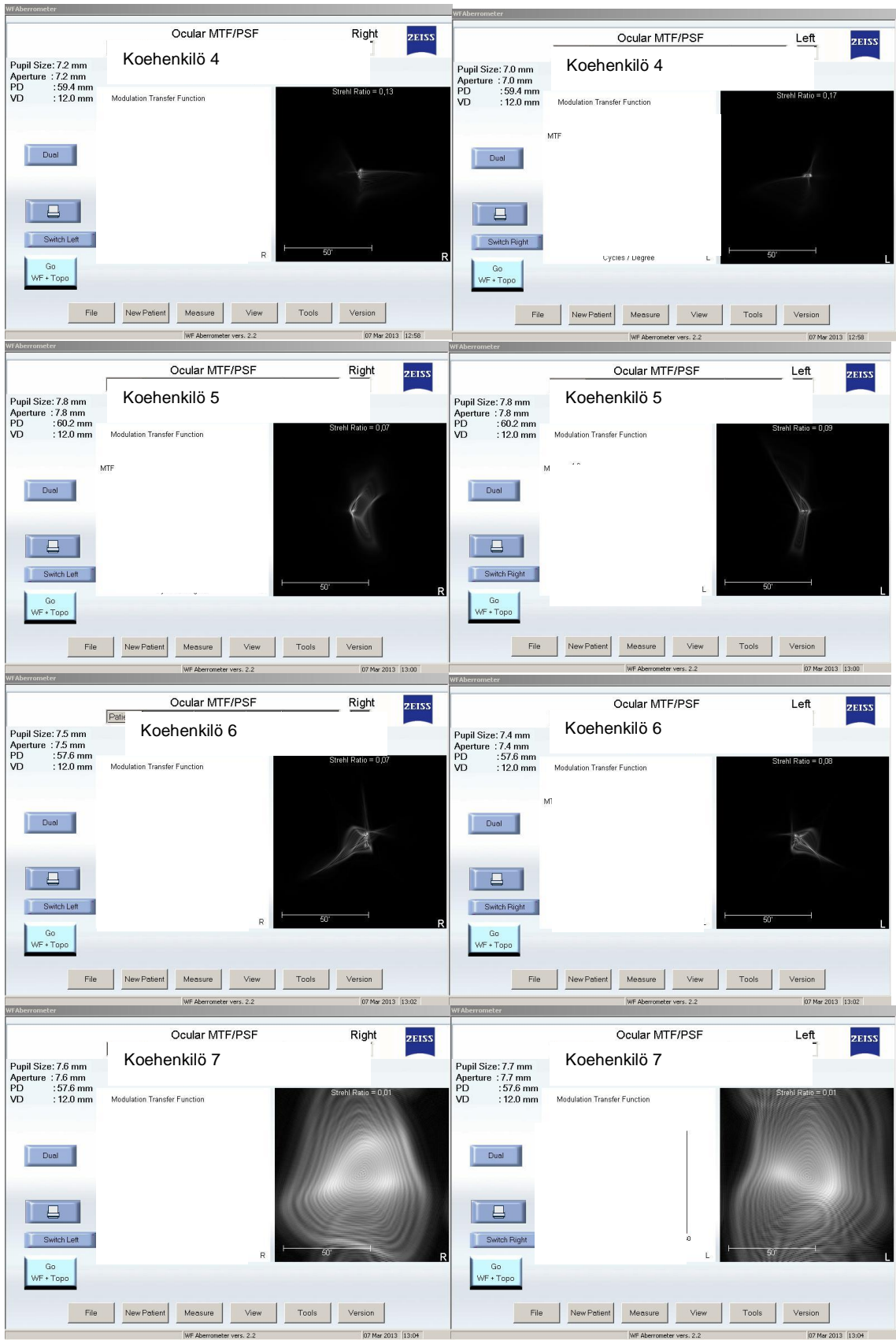
Vasemman silmän hajataitteisuuden akselisuuntaa määrittäessä koehenkilö ei subjektiivisesti huomannut merkittävää eroa näöntarkkuudessa akselisuunnan vaihdellessa 60 ja 85 asteen välillä, vaikka hajataitteisuutta oli noin -1,0 dioptriaa.

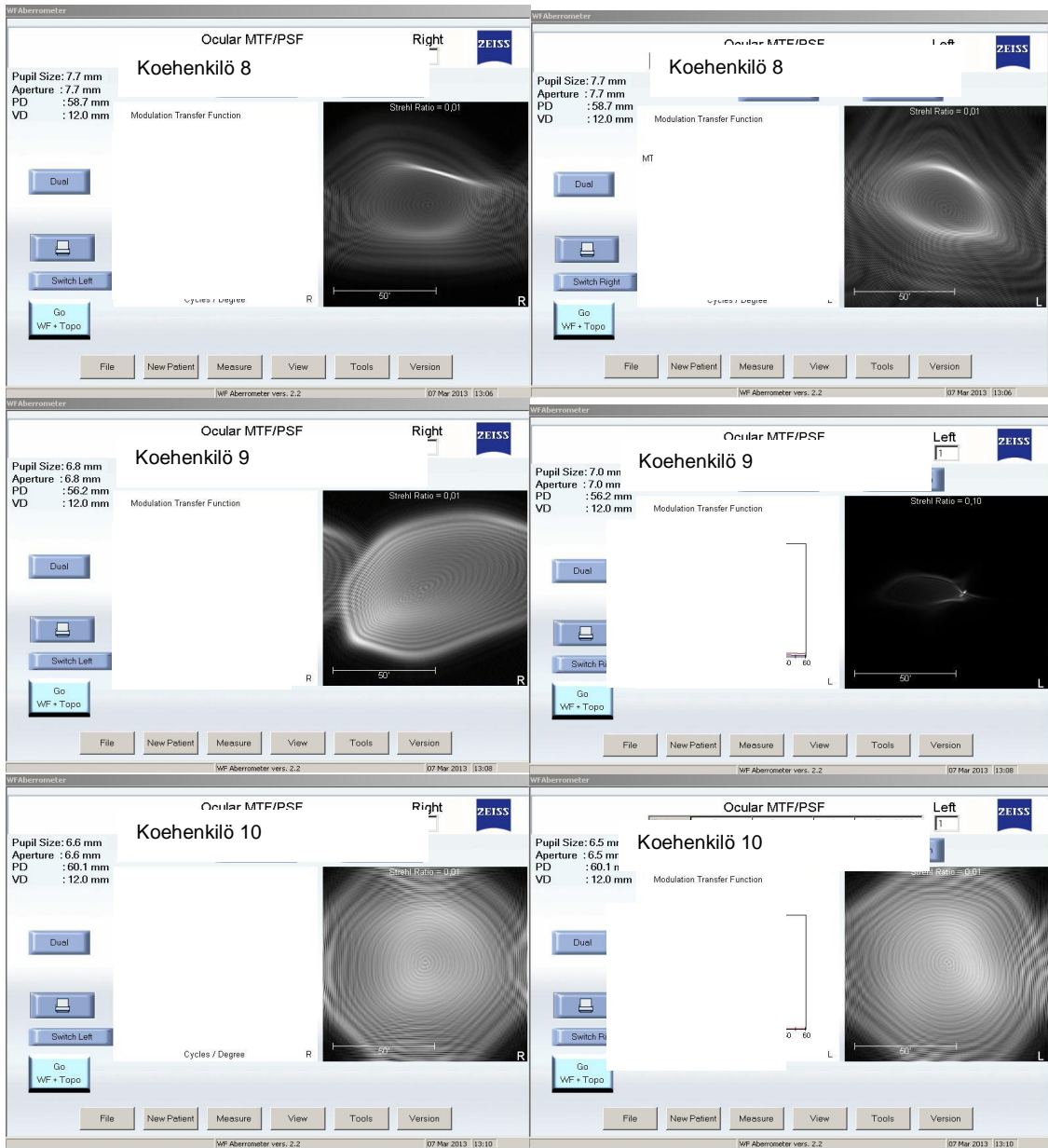
Zeiss i.Profiler autorefraktometritulokset

Koehenkilö	3mm Sf	Cyl	Ax	5mm Sf	Cyl	Ax
Koehenkilö 1						
OD	+0,02	-0,27	19	+0,02	-0,31	19
OS	-0,77	-0,26	64	-0,83	-0,25	51
Koehenkilö 2						
OD	+1,70	-2,03	155	+1,46	-1,80	154
OS	+1,84	-2,46	32	+1,67	-2,33	33
Koehenkilö 3						
OD	+0,62	-0,56	114	+0,50	-0,64	109
OS	+0,01	-0,11	74	+0,12	-0,36	78
Koehenkilö 4						
OD	+0,55	-0,53	80	+0,24	-0,50	88
OS	+0,41	-0,03	64	+0,13	-0,12	164
Koehenkilö 5						
OD	-0,94	-0,21	173	-0,81	-0,21	169
OS	-0,58	-0,32	26	-0,49	-0,37	17
Koehenkilö 6						
OD	-0,01	-0,91	133	+0,08	-1,13	130
OS	-0,08	-0,68	47	+0,07	-0,98	51
Koehenkilö 7						
OD	-2,11	-0,40	122	-2,29	-0,41	132
OS	-1,91	-0,62	54	-2,38	-0,24	31
Koehenkilö 8						
OD	-3,18	-0,86	94	-2,72	-1,08	91
OS	-3,12	-1,09	68	-2,66	-1,13	63
Koehenkilö 9						
OD	-3,34	-1,65	117	-3,20	-1,82	116
OS	-0,83	-0,76	89	-0,72	-0,92	82
Koehenkilö 10						
OD	-4,09	-0,43	167	-3,96	-0,26	163
OS	-4,10	-0,37	40	-3,92	-0,33	34

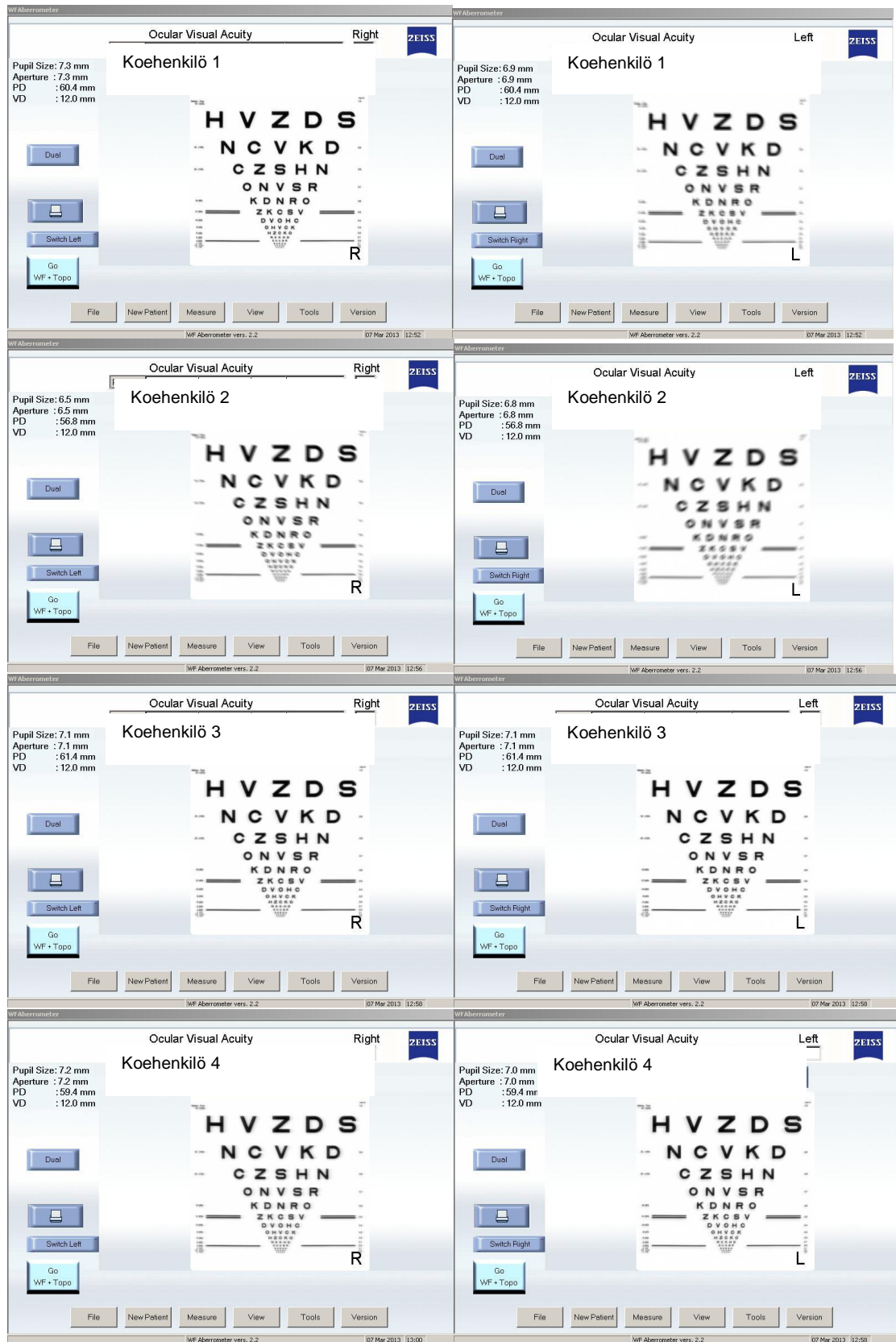
Zeiss i.Profiler valopisteen kuvautuminen

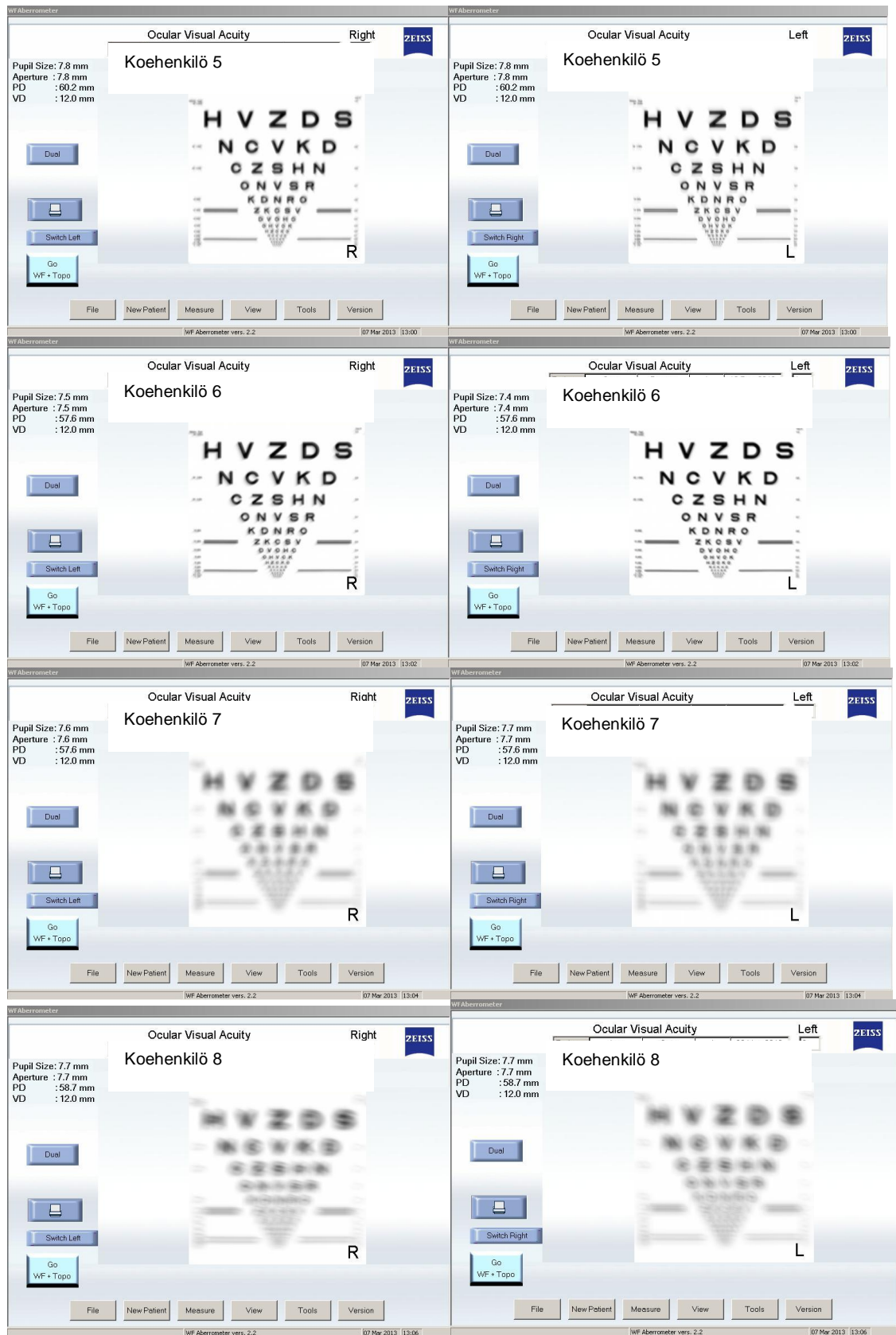


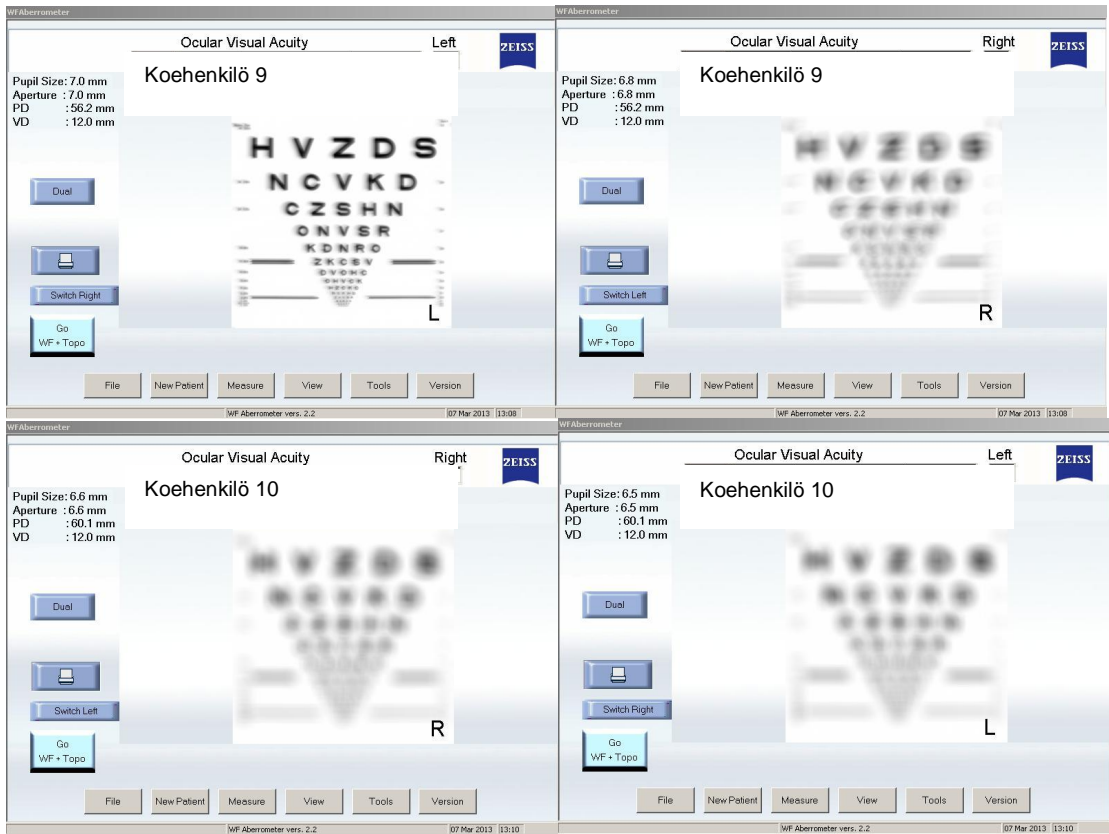




Zeiss i.Profiler näöntarkkuus ilman korjausta








Zeiss i.Profiler aberratioiden määrät mikrometreissä





WF Aberrometer

Ocular Zernike Coefficients

Right 

Koehenkilö 1

Pupil Size: 7.3 mm
Aperture : 7.3 mm
PD : 60.4 mm
VD : 12.0 mm


	Description	Value	Right eye -	Range = 4,29
Z(0,0)	Piston	0,00 μm		
Z(1, \pm 1)	Tilt	0,58 μm @ 50°		
Z(2, \pm 2)	Astigmatism	0,29 μm @ 116°		
Z(2,0)	Defocus	0,20 μm		
Z(3, \pm 3)	Trefoil	0,31 μm @ 95°		
Z(3, \pm 1)	Coma	0,22 μm @ 4°		
Z(4, \pm 4)	Tetrafoil	0,09 μm @ 84°		
Z(4, \pm 2)	Astigmatism II	0,06 μm @ 39°		
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,07 μm		
Z(5, \pm 5)	Pentafoil	0,04 μm @ 38°		
Z(5, \pm 3)	Trefoil II	0,11 μm @ 115°		
Z(5, \pm 1)	Coma II	0,05 μm @ 266°		
Z(6, \pm 6)	Hexafoil	0,04 μm @ 48°		
Z(6, \pm 4)	Tetrafoil II	0,05 μm @ 6°		
Z(6, \pm 2)	Astigmatism III	0,03 μm @ 92°		
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,20 μm		
Z(7, \pm 7)	Heptafoil	0,03 μm @ 23°		
Z(7, \pm 5)	Pentafoil II	0,01 μm @ 68°		
Z(7, \pm 3)	Trefoil III	0,05 μm @ 63°		
Z(7, \pm 1)	Coma IV	0,02 μm @ 294°		

WF + Topo

WF Aberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 12:56




WF Aberrometer

Ocular Zernike Coefficients

Left 

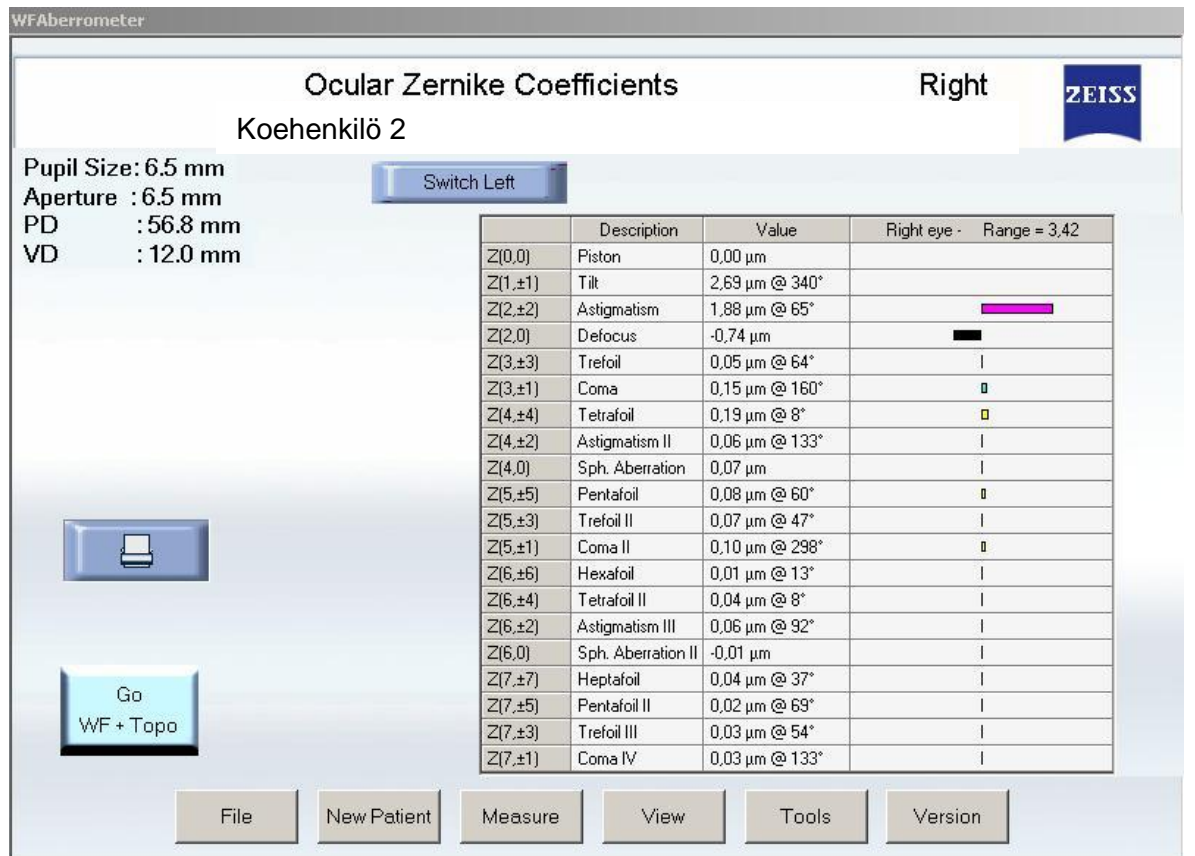
Koehenkilö 1

Pupil Size: 6.9 mm
Aperture : 6.9 mm
PD : 60.4 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Left eye -	Range = 3,91
Z(0,0)	Piston	0,00 μm		
Z(1, \pm 1)	Tilt	1,00 μm @ 333°		
Z(2, \pm 2)	Astigmatism	0,43 μm @ 145°		
Z(2,0)	Defocus	1,51 μm		
Z(3, \pm 3)	Trefoil	0,39 μm @ 102°		
Z(3, \pm 1)	Coma	0,16 μm @ 84°		
Z(4, \pm 4)	Tetrafoil	0,12 μm @ 11°		
Z(4, \pm 2)	Astigmatism II	0,10 μm @ 158°		
Z(4,0)	Sph. Aberration	-0,04 μm		
Z(5, \pm 5)	Pentafoil	0,09 μm @ 54°		
Z(5, \pm 3)	Trefoil II	0,02 μm @ 68°		
Z(5, \pm 1)	Coma II	0,08 μm @ 294°		
Z(6, \pm 6)	Hexafoil	0,02 μm @ 13°		
Z(6, \pm 4)	Tetrafoil II	0,02 μm @ 3°		
Z(6, \pm 2)	Astigmatism III	0,04 μm @ 21°		
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,09 μm		
Z(7, \pm 7)	Heptafoil	0,01 μm @ 4°		
Z(7, \pm 5)	Pentafoil II	0,02 μm @ 17°		
Z(7, \pm 3)	Trefoil III	0,03 μm @ 48°		
Z(7, \pm 1)	Coma IV	0,01 μm @ 154°		

WF + Topo

WF Aberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 12:44



WF Aberrrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 12:54



WF Aberrrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 12:54

WFAberrometer

Ocular Zernike Coefficients Right

Koehenkilö 3

Pupil Size: 7.1 mm
Aperture : 7.1 mm
PD : 61.4 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Right eye -	Range = 4,03
Z(0,0)	Piston	0,00 µm		
Z(1,±1)	Tilt	1,87 µm @ 277°		
Z(2,±2)	Astigmatism	1,11 µm @ 12°		
Z(2,0)	Defocus	0,01 µm		
Z(3,±3)	Trefoil	0,33 µm @ 92°		
Z(3,±1)	Coma	0,17 µm @ 205°		
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,04 µm @ 89°		
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,22 µm @ 174°		
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,21 µm		
Z(5,±5)	Pentafoil	0,04 µm @ 72°		
Z(5,±3)	Trefoil II	0,05 µm @ 107°		
Z(5,±1)	Coma II	0,01 µm @ 284°		
Z(6,±6)	Hexafoil	0,03 µm @ 19°		
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,03 µm @ 16°		
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,00 µm @ 65°		
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,09 µm		
Z(7,±7)	Heptafoil	0,01 µm @ 21°		
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,02 µm @ 61°		
Z(7,±3)	Trefoil III	0,03 µm @ 58°		
Z(7,±1)	Coma IV	0,02 µm @ 202°		

WF Aberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 12:56

WFAberrometer

Ocular Zernike Coefficients Left

Koehenkilö 3

Pupil Size: 7.1 mm
Aperture : 7.1 mm
PD : 61.4 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Left eye -	Range = 4,11
Z(0,0)	Piston	0,00 µm		
Z(1,±1)	Tilt	0,87 µm @ 255°		
Z(2,±2)	Astigmatism	0,96 µm @ 176°		
Z(2,0)	Defocus	0,24 µm		
Z(3,±3)	Trefoil	0,27 µm @ 112°		
Z(3,±1)	Coma	0,24 µm @ 211°		
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,05 µm @ 29°		
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,26 µm @ 4°		
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,11 µm		
Z(5,±5)	Pentafoil	0,03 µm @ 34°		
Z(5,±3)	Trefoil II	0,03 µm @ 82°		
Z(5,±1)	Coma II	0,04 µm @ 250°		
Z(6,±6)	Hexafoil	0,04 µm @ 46°		
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,00 µm @ 52°		
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,06 µm @ 74°		
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,09 µm		
Z(7,±7)	Heptafoil	0,02 µm @ 18°		
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,02 µm @ 33°		
Z(7,±3)	Trefoil III	0,02 µm @ 53°		
Z(7,±1)	Coma IV	0,02 µm @ 58°		

WF Aberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 12:56

WFAberrrometer

Ocular Zernike Coefficients

Koehenkilö 4

Right

Pupil Size: 7.2 mm
 Aperture : 7.2 mm
 PD : 59.4 mm
 VD : 12.0 mm

Switch Left

	Description	Value	Right eye - Range = 4,15
Z(0,0)	Piston	0,00 µm	
Z(1,±1)	Tilt	1,70 µm @ 295°	
Z(2,±2)	Astigmatism	0,72 µm @ 175°	■
Z(2,0)	Defocus	0,71 µm	■
Z(3,±3)	Trefoil	0,39 µm @ 15°	■
Z(3,±1)	Coma	0,46 µm @ 315°	■
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,19 µm @ 5°	■
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,09 µm @ 163°	
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,38 µm	■
Z(5,±5)	Pentafoil	0,05 µm @ 49°	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,06 µm @ 108°	
Z(5,±1)	Coma II	0,09 µm @ 205°	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,03 µm @ 2°	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,01 µm @ 8°	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,08 µm @ 162°	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,07 µm	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,01 µm @ 46°	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,02 µm @ 65°	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,02 µm @ 65°	
Z(7,±1)	Coma IV	0,04 µm @ 150°	

File
New Patient
Measure
View
Tools
Version

WFAberrrometer
WF Aberrrometer vers. 2.2
07 Mar 2013 12:58

WFAberrrometer

Ocular Zernike Coefficients

Koehenkilö 4

Left

Pupil Size: 7.0 mm
 Aperture : 7.0 mm
 PD : 59.4 mm
 VD : 12.0 mm

Switch Right

	Description	Value	Left eye - Range = 3,96
Z(0,0)	Piston	0,00 µm	
Z(1,±1)	Tilt	1,25 µm @ 240°	
Z(2,±2)	Astigmatism	0,33 µm @ 52°	■
Z(2,0)	Defocus	0,56 µm	■
Z(3,±3)	Trefoil	0,30 µm @ 64°	■
Z(3,±1)	Coma	0,54 µm @ 221°	■
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,18 µm @ 1°	■
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,11 µm @ 41°	
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,40 µm	■
Z(5,±5)	Pentafoil	0,03 µm @ 51°	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,05 µm @ 68°	
Z(5,±1)	Coma II	0,04 µm @ 301°	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,03 µm @ 10°	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,01 µm @ 7°	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,03 µm @ 26°	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,06 µm	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,02 µm @ 49°	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,00 µm @ 66°	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,02 µm @ 45°	
Z(7,±1)	Coma IV	0,03 µm @ 40°	

File
New Patient
Measure
View
Tools
Version

WFAberrrometer
WF Aberrrometer vers. 2.2
07 Mar 2013 12:58

WFAberrometer

Ocular Zernike Coefficients

Right 

Koehenkilö 5

Pupil Size: 7.8 mm
Aperture : 7.8 mm
PD : 60.2 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Right eye - Range = 4,83
Z(0,0)	Piston	0,00 µm	
Z(1,±1)	Tilt	1,18 µm @ 346°	
Z(2,±2)	Astigmatism	0,61 µm @ 81°	
Z(2,0)	Defocus	1,80 µm	
Z(3,±3)	Trefoil	0,33 µm @ 55°	
Z(3,±1)	Coma	0,33 µm @ 359°	
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,16 µm @ 20°	
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,16 µm @ 89°	
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,00 µm	
Z(5,±5)	Pentafoil	0,07 µm @ 17°	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,02 µm @ 53°	
Z(5,±1)	Coma II	0,04 µm @ 300°	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,04 µm @ 10°	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,02 µm @ 58°	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,04 µm @ 114°	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,10 µm	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,03 µm @ 15°	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,03 µm @ 7°	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,01 µm @ 106°	
Z(7,±1)	Coma IV	0,04 µm @ 115°	

WFAberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 13:00

WFAberrometer

Ocular Zernike Coefficients

Left 

Koehenkilö 5

Pupil Size: 7.8 mm
Aperture : 7.8 mm
PD : 60.2 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Left eye - Range = 4,86
Z(0,0)	Piston	0,00 µm	
Z(1,±1)	Tilt	1,01 µm @ 235°	
Z(2,±2)	Astigmatism	1,25 µm @ 101°	
Z(2,0)	Defocus	1,61 µm	
Z(3,±3)	Trefoil	0,55 µm @ 9°	
Z(3,±1)	Coma	0,47 µm @ 190°	
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,06 µm @ 77°	
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,34 µm @ 94°	
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,13 µm	
Z(5,±5)	Pentafoil	0,04 µm @ 71°	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,08 µm @ 12°	
Z(5,±1)	Coma II	0,03 µm @ 61°	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,06 µm @ 0°	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,04 µm @ 30°	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,02 µm @ 81°	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,11 µm	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,04 µm @ 20°	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,03 µm @ 35°	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,04 µm @ 56°	
Z(7,±1)	Coma IV	0,08 µm @ 73°	

WFAberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 13:00

WFAberrrometer

Ocular Zernike Coefficients

Right 

Koehenkilö 6


Pupil Size: 7.5 mm
Aperture : 7.5 mm
PD : 57.6 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Right eye - Range = 4,53
Z(0,0)	Piston	0,00 µm	
Z(1,±1)	Tilt	2,18 µm @ 290°	
Z(2,±2)	Astigmatism	1,99 µm @ 39°	
Z(2,0)	Defocus	0,58 µm	
Z(3,±3)	Trefoil	0,48 µm @ 103°	
Z(3,±1)	Coma	0,45 µm @ 214°	
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,12 µm @ 11°	
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,16 µm @ 22°	
Z(4,0)	Sph. Aberration	-0,08 µm	
Z(5,±5)	Pentafoil	0,05 µm @ 35°	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,04 µm @ 107°	
Z(5,±1)	Coma II	0,02 µm @ 74°	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,09 µm @ 34°	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,09 µm @ 4°	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,05 µm @ 116°	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,23 µm	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,02 µm @ 43°	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,04 µm @ 29°	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,05 µm @ 57°	
Z(7,±1)	Coma IV	0,04 µm @ 104°	

WF Aberrrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 13:02









WFAberrrometer

Ocular Zernike Coefficients

Left 

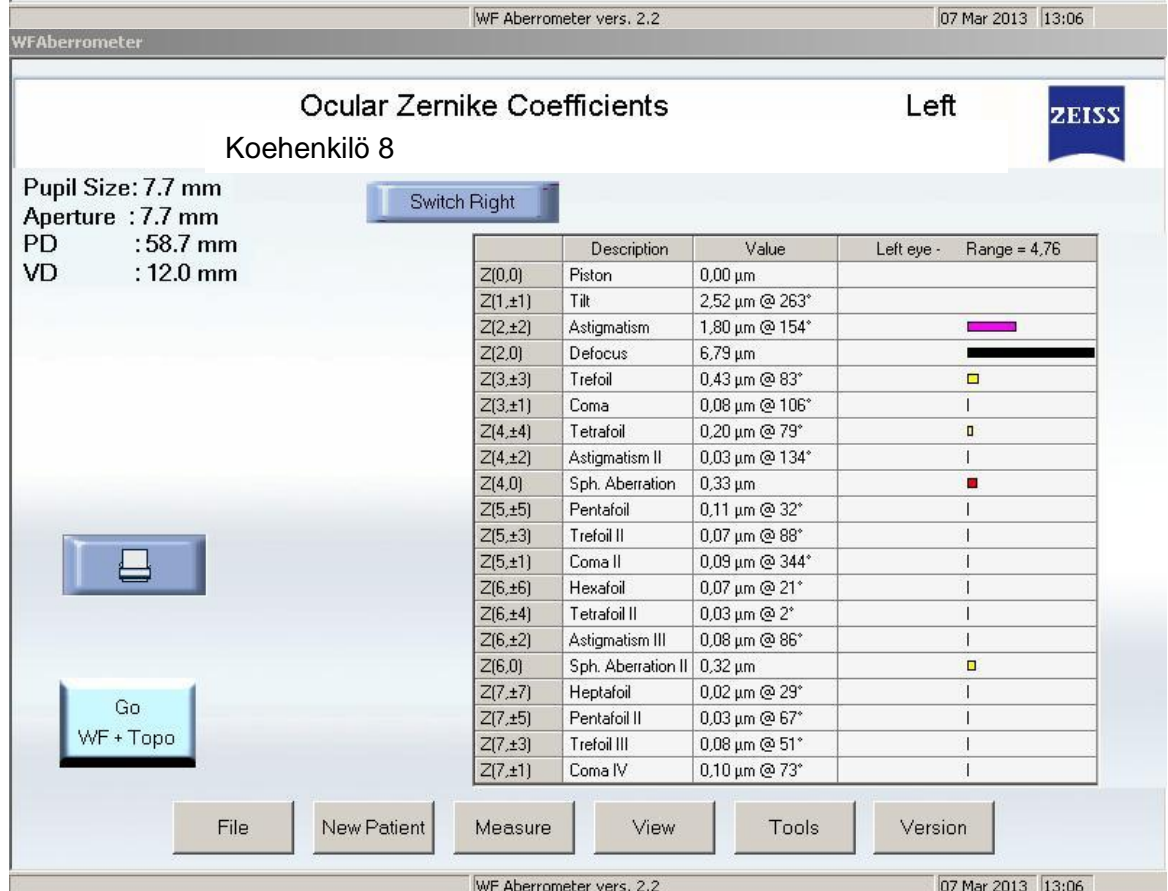
Koehenkilö 6

Pupil Size: 7.4 mm
Aperture : 7.4 mm
PD : 57.6 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Left eye - Range = 4,37
Z(0,0)	Piston	0,00 µm	
Z(1,±1)	Tilt	2,18 µm @ 278°	
Z(2,±2)	Astigmatism	1,59 µm @ 141°	
Z(2,0)	Defocus	0,35 µm	
Z(3,±3)	Trefoil	0,12 µm @ 80°	
Z(3,±1)	Coma	0,36 µm @ 320°	
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,13 µm @ 6°	
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,10 µm @ 148°	
Z(4,0)	Sph. Aberration	-0,15 µm	
Z(5,±5)	Pentafoil	0,05 µm @ 49°	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,10 µm @ 63°	
Z(5,±1)	Coma II	0,03 µm @ 89°	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,05 µm @ 34°	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,04 µm @ 85°	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,04 µm @ 39°	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,15 µm	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,02 µm @ 30°	
Z(7,±5)	Pentafoil III	0,01 µm @ 72°	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,03 µm @ 55°	
Z(7,±1)	Coma IV	0,03 µm @ 128°	


WF Aberrrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 13:02





WF Aberrometer





Ocular Zernike Coefficients

Right 

Koehenkilö 9

Pupil Size: 6.8 mm
Aperture : 6.8 mm
PD : 56.2 mm
VD : 12.0 mm

Switch Left

	Description	Value	Right eye - Range = 3,77
Z(0,0)	Piston	0,00 µm	
Z(1,±1)	Tilt	5,33 µm @ 318°	
Z(2,±2)	Astigmatism	2,15 µm @ 25°	
Z(2,0)	Defocus	6,60 µm	
Z(3,±3)	Trefoil	0,33 µm @ 5°	
Z(3,±1)	Coma	0,71 µm @ 18°	
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,06 µm @ 40°	
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,10 µm @ 171°	
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,04 µm	
Z(5,±5)	Pentafoil	0,04 µm @ 53°	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,02 µm @ 8°	
Z(5,±1)	Coma II	0,10 µm @ 252°	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,02 µm @ 44°	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,04 µm @ 87°	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,02 µm @ 152°	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,01 µm	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,03 µm @ 18°	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,01 µm @ 55°	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,01 µm @ 59°	
Z(7,±1)	Coma IV	0,03 µm @ 70°	


Go
WF + Topo

File New Patient Measure View Tools Version

WF Aberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 13:06

WF Aberrometer




Ocular Zernike Coefficients

Left 

Koehenkilö 9

Pupil Size: 7.0 mm
Aperture : 7.0 mm
PD : 56.2 mm
VD : 12.0 mm

Switch Right

	Description	Value	Left eye - Range = 3,95
Z(0,0)	Piston	0,00 µm	
Z(1,±1)	Tilt	3,01 µm @ 254°	
Z(2,±2)	Astigmatism	1,21 µm @ 171°	
Z(2,0)	Defocus	2,01 µm	
Z(3,±3)	Trefoil	0,05 µm @ 32°	
Z(3,±1)	Coma	0,59 µm @ 173°	
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,06 µm @ 82°	
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,04 µm @ 168°	
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,02 µm	
Z(5,±5)	Pentafoil	0,01 µm @ 56°	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,11 µm @ 74°	
Z(5,±1)	Coma II	0,05 µm @ 295°	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,03 µm @ 2°	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,02 µm @ 53°	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,05 µm @ 29°	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,03 µm	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,03 µm @ 47°	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,04 µm @ 15°	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,04 µm @ 81°	
Z(7,±1)	Coma IV	0,02 µm @ 352°	


Go
WF + Topo

File New Patient Measure View Tools Version

WF Aberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 13:06

WFAberrometer

Ocular Zernike Coefficients

Right 

Koehenkilö 10

Pupil Size: 6.6 mm
Aperture : 6.6 mm
PD : 60.1 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Right eye -	Range = 3,55
Z(0,0)	Piston	0,00 µm		
Z(1,±1)	Tilt	2,66 µm @ 301°		
Z(2,±2)	Astigmatism	0,20 µm @ 76°	■	
Z(2,0)	Defocus	6,58 µm	■	
Z(3,±3)	Trefoil	0,17 µm @ 111°	■	
Z(3,±1)	Coma	0,16 µm @ 236°	■	
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,09 µm @ 88°	■	
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,05 µm @ 154°	■	
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,29 µm	■	
Z(5,±5)	Pentafoil	0,02 µm @ 64°	■	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,03 µm @ 37°	■	
Z(5,±1)	Coma II	0,02 µm @ 215°	■	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,04 µm @ 37°	■	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,04 µm @ 4°	■	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,03 µm @ 98°	■	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,06 µm	■	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,02 µm @ 47°	■	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,01 µm @ 63°	■	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,01 µm @ 64°	■	
Z(7,±1)	Coma IV	0,04 µm @ 56°	■	

WF Aberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 13:08

WFAberrometer

Ocular Zernike Coefficients

Left 

Koehenkilö 10

Pupil Size: 6.5 mm
Aperture : 6.5 mm
PD : 60.1 mm
VD : 12.0 mm

	Description	Value	Left eye -	Range = 3,41
Z(0,0)	Piston	0,00 µm		
Z(1,±1)	Tilt	2,05 µm @ 273°		
Z(2,±2)	Astigmatism	0,29 µm @ 128°	■	
Z(2,0)	Defocus	6,29 µm	■	
Z(3,±3)	Trefoil	0,08 µm @ 63°	■	
Z(3,±1)	Coma	0,18 µm @ 212°	■	
Z(4,±4)	Tetrafoil	0,05 µm @ 70°	■	
Z(4,±2)	Astigmatism II	0,02 µm @ 8°	■	
Z(4,0)	Sph. Aberration	0,28 µm	■	
Z(5,±5)	Pentafoil	0,04 µm @ 47°	■	
Z(5,±3)	Trefoil II	0,05 µm @ 40°	■	
Z(5,±1)	Coma II	0,02 µm @ 353°	■	
Z(6,±6)	Hexafoil	0,02 µm @ 49°	■	
Z(6,±4)	Tetrafoil II	0,04 µm @ 7°	■	
Z(6,±2)	Astigmatism III	0,01 µm @ 173°	■	
Z(6,0)	Sph. Aberration II	0,05 µm	■	
Z(7,±7)	Heptafoil	0,02 µm @ 49°	■	
Z(7,±5)	Pentafoil II	0,01 µm @ 31°	■	
Z(7,±3)	Trefoil III	0,02 µm @ 47°	■	
Z(7,±1)	Coma IV	0,02 µm @ 193°	■	

WF Aberrometer vers. 2.2 07 Mar 2013 13:08