

Hanna Jukkola, Maija-Leena Kivioja

Akkommodaatiolaajuus nykypäivänä

Onko lisääntynyt lähityö vaikuttanut heikentävästi akkommodaatiolaajuuteen?

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Optometrismi

Optometrian koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Kevät 2013

<p>Tekijät Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Hanna Jukkola, Maija-Leena Kivioja Akkommodaatiolaajuus nykypäivänä: Onko lisääntynyt lähityö vaikuttanut heikentävästi akkommodaatiolaajuuteen?</p> <p>59 sivua + 2 liitettä Kevät 2013</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Optometrismi (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Optometrian koulutusohjelma</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	
<p>Ohjaajat</p>	<p>Lehtori Juha Havukumpu Lehtori Juha Päällysaho</p>
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko akkommodaatiolaajuus heikentynyt lisääntyneen lähityön vaikutuksesta verrattuna Duanen noin sata vuotta sitten määrittämiin iänmukaisiin akkommodaatiolaajuusarvoihin. Nykyään akkommodaation normaalia toimintaa arvioitaessa käytetään normiarvoja, jotka Hofstetter määritti yli 50 vuotta sitten hyödyntäen Duanen tutkimuksen tuloksia. Oletimme, että lähityö on lisääntynyt merkittävästi viimeisten viidenkymmenen vuoden aikana. Tutkimuksessamme mitattujen arvojen perusteella arvioimme, onko iänmukainen akkommodaatiolaajuus nykyään heikompi kuin Duanen tutkimuksen aikana.</p> <p>Tutkimus on toteutettu kvantitatiivisesti. Mittasimme akkommodaatiolaajuuksia sekä monokulaarisesti että binokulaarisesti satunnaisesti valituilta koehenkilöiltä. Suoritimme mittaukset käyttämällä Duanen viivakuviota ja push-up-menetelmää. Tutkimusjoukko koostui 116 tutkittavasta, joiden ikäjakauma oli 13–61 vuotta. Tulosten analysointia varten jaoinme tutkittavat viiden vuoden välein ikäryhmiin. Kuvaajien avulla havainnollistimme tutkimuksemme tuloksia käyttäen apuna SPSS- ja Microsoft Excel-ohjelmia. Muodostimme kuvaajat mittaamistamme iänmukaisista akkommodaatiolaajuusarvoista. Yhdistimme kuvaajiin Duanen määrittämät minimi-, maksimi- ja keskiarvot vertailun helpottamiseksi.</p> <p>Tutkimustuloksista ilmeni, että akkommodaatiolaajuus heikkenee iän myötä. Keskimääräiset akkommodaatiolaajuusarvot olivat kaikissa vertailluissa ikäryhmissä tilastollisesti melkein merkitsevästi tai merkitsevästi suurempia kuin Duanen tutkimuksessa. Etenkin 13–39-vuotiailla tutkittavilla havaittiin poikkeavan suuria ja pieniä mitattuja arvoja, jolloin hajonta oli suurempaa kuin Duanen tutkimuksessa.</p> <p>Johtopäätöksenä voidaan todeta, että lähityön heikentävää vaikutusta akkommodaatiolaajuuteen ei voida yleistää. Voi kuitenkin olla, että yksittäisissä tapauksissa ikään nähden poikkeuksellisen pieni akkommodaatiolaajuus voi johtua pitkäkestoisen lähityön aiheuttamasta staattisesta rasituksesta.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>akkommodaatio, akkommodaatiolaajuus, lähityö</p>

Authors Title	Hanna Jukkola, Maija-Leena Kivioja The Amplitude of Accommodation today: Has increased near-work effected the amplitude of accommodation decreasingly?
Number of Pages Date	59 pages + 2 appendices Spring 2013
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Optometry
Specialisation option	Optometry
Instructors	Juha Havukumpu, Senior Lecturer Juha Päällysaho, Senior Lecturer
<p>The purpose of this study was to find out if the amplitude of accommodation has decreased due to the effects of significant amounts of near work, compared to the age-expected values determined by Duane over a hundred years ago. Nowadays, reference values are used to analyze the normal behavior of accommodation. They were determined over fifty years ago by Hofstetter who utilized Duane's research results. We assumed that near work has increased significantly in the past fifty years. On the basis of the measured values in our study, we estimated if the age-expected amplitude of accommodation is currently lower than it was in the experiment by Duane.</p> <p>Our study was carried out quantitatively. We measured the monocular and binocular amplitudes of accommodation from randomly selected individuals. We carried out the measurements by using the Duane's push-up test. There were a total of 116 subjects, whose age distribution was 13–61 years. We divided the subjects into five-year interval age groups. Utilizing the SPSS and the Microsoft Excel -programs, we made graphs to help us to analyze the test results. We formed the graphs from the values of the age-related amplitude of accommodation measurements. To help the data analysis, we added the Duane's values to the graphs, which included the minimum, maximum, and average values.</p> <p>The results showed that the amplitude of accommodation decreased with the age. The average amplitudes of accommodation were higher with every compared age group than in the Duane's experiment. In the 13–39-year-old subjects, we noticed both considerably high and low measured values, in which case the standard deviation was much greater than that in the Duane's experiment.</p> <p>In conclusion, the lowering effects of increased near work on the amplitude of accommodation should not be widely generalized. However, in certain circumstances small amplitude of accommodation values in relation to age can be caused by the stress of prolonged periods of near work.</p>	
Keywords	accommodation, amplitude of accommodation, near work

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Akkommodaatio	2
2.1	Akkommodaation fysiologia ja toiminta	2
2.1.1	Mykiö	5
2.1.2	Sädekehä	7
2.2	Teorioita akkommodaation mekanismista	10
2.3	Akkommodaation, konvergenssin ja mioosin yhteys	13
2.4	Akkommodatiivinen konvergenssi ja AKA-arvo	15
2.5	Normaali akkommodaation vajoisuus (Lag of accommodation)	15
2.6	Akkommodaatiohäiriöt	16
2.6.1	Akkommodaatiovajoisuus (Insufficiency)	17
2.6.2	Akkommodaatiojouston heikkous (Infacility)	17
2.6.3	Pitkäkestoisen akkommodaation käytön heikkous (Fatigue)	18
2.6.4	Akkommodaatiospasmi	18
2.6.5	Yliakkommodaatio	19
3	Akkommodaatiolaajuus	20
3.1	Akkommodaatiolaajuuden mittaaminen	20
3.1.1	Mittaamisessa huomioitavia tekijöitä	21
3.1.2	“Push-up”- ja “push-away”-menetelmät	22
3.1.3	Miinusmenetelmä	23
3.2	Akkommodaatiolaajuuden suhde ikään	23
3.2.1	Duanen tutkimus	24
3.2.2	Dondersin ja Kaufmanin tutkimukset	27
3.2.3	Hofstetterin kaava	28
3.3	Taittovirheen vaikutus akkommodaatiolaajuuteen	28
4	Lähityön vaikutukset näkemiseen ja akkommodaatioon	30
4.1	Lähityö	30
4.2	Näönrasitusoireet	31
5	Presbyopia (ikäntyvä silmä)	32
5.1	Presbyopian ilmeneminen	32
5.2	Presbyopian mekanismin teorial	33
6	Tutkimuksen tausta, tarkoitus ja tavoitteet	35

7	Tutkimuksen toteuttaminen	37
7.1	Aineiston kerääminen	37
7.2	Aineiston kokoaminen ja analysointi	38
8	Tutkimustulokset	42
8.1	Mitatut akkommodaatiolaajuudet	42
8.2	Tulosten vertaaminen Duanen määrittämiin arvoihin	47
9	Johtopäätökset	52
10	Pohdinta	54
	Lähteet	58
	Liitteet	
	Liite 1. Akkommodaatiolaajuuden mittauslomake	
	Liite 2. Ryhmän ohjeistus	

1 Johdanto

On oletettavaa, että näkemisen vaatimukset ovat kasvaneet merkittävästi lähityökesteiden työtehtävien ja tietotekniikan kehittymisen seurauksena. Tämä luo uusia vaatimuksia näköjärjestelmälle. Voidaan ajatella, että akkommodaatiota eli silmien mukautumiskykyä käytetään huomattavasti erilaisissa lähipainotteisissa työtehtävissä sekä opiskelun ja harrastusten parissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, onko akkommodaatiolaajuus heikentynyt lisääntyneen lähityön vaikutuksesta verrattuna Duanen jo vuonna 1912 tekemään tutkimukseen. Optikot käyttävät työssään yleisesti Henry W. Hofstetterin vuonna 1950 luomaa Hofstetterin kaavaa akkommodaatiolaajuuden minimiarvojen määrittämiseksi, ja tekevät sen perusteella päätelmiä akkommodaatiolaajuuden normaaliudesta. Hofstetterin kaava perustuu Duanen, Dondersin (1864) ja Kaufmanin (1894) tutkimuksiin akkommodaatiolaajuudesta. Kaava on laadittu aikana, jolloin työtehtävät eivät olleet lähityöpainotteisia. (Sternier – Gellerstedt – Sjöström 2004.)

Akkommodaatiolaajuusmittausten kerääminen tehtiin vuoden 2012 kesän ja syksyn aikana optikkoliikkeissä sekä Metropolia Ammattikorkeakoulun Positia optikkomyymälässä työskentelyn ja näöntutkimusharjoitusten yhteydessä. Lisäksi SO10K1 -kurssin opiskelijat ohjeistettiin ottamaan akkommodaatiolaajuusmittauksia toukokuun 2012 harjoittelujakson yhteydessä. Tutkimustulokset on koottu ja analysoitu Microsoft Excel- ja SPSS-ohjelmia apuna käyttäen.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään akkommodaatiota sekä akkommodaatiolaajuutta. Lisäksi teoriaosassa käsitellään lähityön vaikutuksia näkemiseen ja akkommodaatioon sekä ikänäköä eli presbyopiaa. Työn loppuosassa esitellään tutkimuksen toteuttamiseen liittyvät seikat, tutkimustulokset sekä johtopäätökset. Lopuksi työssä esitetään ja pohditaan saavutettuja tuloksia sekä johtopäätöksiä.

Opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä Helsingin Metropolia Ammattikorkeakoulun optometrian koulutusohjelman kanssa. Opinnäytetyön ohjaajina toimivat lehtorit Juha Havukumpu ja Juha Päällysaho.

2 Akkommodaatio

Akkommodaation avulla näkemisen mukautuminen ja hienosäätö eri etäisyyksille on mahdollista. Katseltavasta kohteesta muodostunut verkkokalvokuva saadaan kohdistettua tarkannäkemisen alueelle eli fovealle mykiön polttovälin ja taittovoiman muutoksen avulla. Aktiivinen lihastyö ja mykiökapselin elastisuus mahdollistavat akkommodaation. (Benjamin 1998: 77; Grosvenor 2007: 5–7.) Kun silmän sädekehän sädelihaksu-
pistuu, ripustinsäikeet löystyvät. Mykiökapselin joustavan rakenteen vuoksi mykiö ha-
keutuu pallomaisempaan muotoon, jolloin myös silmän taittovoima kasvaa. (Forrester –
Dick – McMenamin – Paul – William 1999: 168.)

Kolmannen aivohermon parasympaattiset hermosolut toimivat välittäjinä akkommodaatiotoiminnalle (Forrester ym. 1999: 168). Kolmas aivohermo saa alkunsa keskiaivoista ja sitä kutsutaan myös okulomotoriseksi hermoksi (Rabbetts 2007: 141).

2.1 Akkommodaation fysiologia ja toiminta

Akkommodaatiossa ainoa aktiivinen osa on sädelihaksu ja kaikki muut akkommodaatioon osallistuvat osat toimivat passiivisesti. Akkommodaation ollessa lepotilassa sädelihaksu rentoutuu, jolloin passiiviset suonikalvon ja takimmaisten ripustinsäikeiden palauttavat voimat saattavat jokaisen osan entiselleen. Samankaltaiset passiiviset muutokset koskevat myös etummaisista ripustinsäikeistä, mykiön kapselia ja koko mykiötä. (Benjamin 1998: 77.) Akkommodaation aikana mykiön pehmeämpi tuma pakottaa mykiön keski-
alueen pullistumaan enemmän verrattuna mykiön reuna-alueisiin. Tästä johtuen ak-
kommodoidessa mykiön muoto on asfäärinen eli ei-pallopintainen. Sekä mykiön asfää-
risyys akkommodoidessa että akkommodaatiolaajuus vähenevät iän myötä. (Rabbetts
2007: 140.)

Tärkein ärsyke akkommodaatiolle on epätarkka verkkokalvokuva (Saari – Korja 2011: 309). Akkommodaation avulla epätarkka kuva korjataan teräväksi. Silmän on akkommodoitava silloin, kun katseltava kohde siirtyy lähemmäksi silmää. Esimerkiksi 40 senttimetrin etäisyydeltä lukeminen vaatii 2.50 dioptrian verran lisää silmän taittovoimaa verrattuna kauas katselemiseen. (Grosvenor 2007: 81–82.) Vakiintunut tosiasia on, että akkommodaation määrä on yleensä vähemmän kuin tarkkaan näkemiseen tarvittava teoreettinen määrä. Jos teoreettinen tarve akkommodaatiolle on 2.50 dioptriaa, todelli-

nen akkommodaatio on noin 2.00 dioptriaa. Tällöin käytetään hyödyksi silmien syväterävyyttä, jolloin todellinen akkommodaatiovaste on pienempi kuin teoreettinen tarve. (Rabbetts 2007: 133–134.)

Akkommodaatioon vaikuttavat aistimuksen kesto, kuvan kontrasti, yksityiskohdan koko ja tyyppi sekä luminanssi eli valotiheys. Akkommodaation stimulus eli ärsyke vaatii vähintään sekunnin kestoajan, jotta syntyy kokonainen akkommodaation vaste. Tarkka ja terävä kohde stimuloi akkommodaatiota enemmän kuin epäterävä, sillä epätarkka kuva nähdään, vaikka siihen ei ole kohdistettu huomiota. Silmien kontrastiherkkyys huononee, kun valotiheys vähenee. (Rabbetts 2007: 141–143.)

Akkommodaatiota voidaan stimuloida kahdella eri tavalla. Kun katseltava kohde sijoitetaan äärettömyyttä lähemmäksi, käytännössä lähemmäksi kuin kuusi metriä, täytyy silmän akkommodoida saadakseen kohde teräväksi. Toinen keino antaa ärsyke akkommodaatiolle on käyttää koveraa miinuslinssiä, joka lisää silmään tulevien valonsäteiden vergenssiä. Mikäli silmässä ei ole refraktiivista virhettä tai se on korjattu linsseillä, kaukana oleva kohde muodostaa terävän kuvan verkkokalvolle ilman akkommodaatiota. Kun kohde tuodaan lähemmäksi, kohteen valonsäteet hajoavat eikä kuva muodostu verkkokalvolle vaan sen taakse. Riittävän akkommodaation avulla silmä saa tarvittavan määrän lisää taittovoimaa ja valonsäteet leikkaavat toisensa verkkokalvolla, jolloin kohteen kuva on tarkka. (Grosvenor 2007: 81–82.)

Sumutusmenetelmän avulla voidaan selvittää akkommodatiivinen vaste. Kun silmien eteen asetetaan pluslinssijä, aiheutetaan keinotekoisesti likinäköisyyttä eli myopiaa. Tällöin akkommodaation lisääminen ei tarkenna, vaan päinvastoin sumentaa silmän pohjan kuvaa entisestään. Asteittain pluslinssijä eli aiheutettua sumua poistamalla kohde tarkentuu ja tulee lopulta teräväksi. Tällöin esiin tuleva akkommodaatio voidaan määrittää. Sumutusmenetelmän käyttö myös minimoi yliakkommodaation mahdollisuuden silmän taittovirhemäärityksen aikana. Dynaamisen skiaskopian ja binokulaarisen ristisynteritestin avulla voidaan mitata akkommodaatiovastetta ja akkommodaation vajausta. (Grosvenor 2007: 82.) Dynaamisessa skiaskopiassa tutkittavaa pyydetään katsomaan testimerkkiä skiaskoopin tasolla. Kaukorefraktio on korjattuna. Tutkija neutralisoi verkkokalvoheijasteen liikkeen tarvittavalla linsivoimakkuudella. Mikäli tutkittava akkommodoi normaalisti kohteeseen, on verkkokalvoheijaste neutraali eikä plus- tai miinuslinssilisäystä tarvita. Heijasteen myötäliike kertoo vajaasta akkommodaatiosta, jolloin tarvitaan pluslinssilisäyksiä liikkeen neutralisoimiseksi. Tarvittava plusvoimak-

kuus kertoo akkommodaation vajauksen määrän. Mikäli verkkokalvoheijasteen liike on vastainen skiaskoopin liikkeeseen nähden, on kyse liiallisesta akkommodaatiosta. Tällöin liikkeen neutralisoimiseksi tarvittava miinusvoimakkuus kertoo liiallisen akkommodaation määrän. (Grosvenor 2007: 197.) Binokulaarinen ristisyylinteritesti tehdään kaukorefraktion päälle, yleensä 40 senttimetrin etäisyydelle. Ristisyylinterilinssin miinussyylinteri on 90 asteessa. Tutkittava katsoo hämärässä valaistuksessa ristisyylinterilinssien läpi ja kohdistaa katseensa testikuvioon, ristiruudukkoon. Sfääristä linssivoimakkuutta muutetaan ja kun tutkittava näkee sekä vaaka- että pystyviivat yhtä terävinä, on saatu selville tarvittava määrä linssilisäystä lähelle. (Grosvenor 2007: 82.)

Akkommodaation on aikaisemmin luultu olevan lepotilassa katseltaessa kauas ääretömyyteen. Kuitenkin nykyisin akkommodaatio ymmärretään kaksisuuntaisena reaktiona, joka on lepotilassa jollakin välietäisyydellä. Akkommodaatiota syntyy kumpaankin suuntaan välietäisyydellä olevasta lepotilasta. Kun katseltavan kohteen etäisyys on lähempänä lepotilan etäisyyteen verrattuna, akkommodaation määrä on tarvetta vähäisempi eli ikään kuin akkommodoidaan liian vähän. Tällöin puhutaan normaalista akkommodaation vajauksesta ("lag of accommodation"). Kun katseltava kohde on kauempana kuin lepotilan etäisyys, yliakkommodoidaan eli akkommodaatio ylittää tarvittavan määrän. (Grosvenor 2007: 82; Rabbetts 2007: 141.) Akkommodaation lepotila ei ole nolla. Vuonna 1957 Morgan oli päätellyt todisteiden perusteella, että normaali akkommodaation lepotila olisi noin 1,33 metrissä, mikä vastaa noin 0.75 dioptrian myopiaa eli likitaitoisuutta. Viime vuosina on havaittu, että useissa olosuhteissa, kuten huonossa valaistuksessa ja kun katseltavan kohteen yksityiskohdat ovat puutteellisia, akkommodaatio vakiintuu hieman nolaa ylemmäksi. Kuitenkaan tämä havainto ei ole kumonnut klassista lähestymistapaa kliinisen käytännön perusteisiin ja akkommodaation mittaamiseen. (Grosvenor 2007: 82; Rabbetts 2007: 125.)

Vuonna 1956 Heath on jakanut akkommodaation osatekijät refleksi- ja vergenssiakkommodaatioon, proksimaaliseen akkommodaatioon sekä tooniseen akkommodaatioon. Refleksiakkommodaatio toimii automaattisesti säädellen silmän refraktiivista tilaa, jotta nähdään terävästi. Kuvan tai katseltavan kohteen sameus toimii ärsykkeenä refleksiakkommodaatiolle. Vergenssiakkommodaatiota syntyy silloin, kun silmien vergenssikulma muuttuu aiheuttaen samalla muutosta akkommodaatioissa. Proksimaalinen akkommodaatio johtuu kohteen läheisyyden tunteesta. Kun tiedostetaan, että kohde on lähellä, silmät alkavat akkommodoida. Tooninen akkommodaatio saadaan selville Rosenfieldin ym. (1993, 1994) mukaan silloin, kun refleksi-, vergenssi- ja proksimaal-

lista akkommodaatiota ei ole. Tooniselle akkommodaatiolle ei ole selvää ärsykettä. (Benjamin 1998: 79–80.)

2.1.1 Mykiö

Mykiön avulla silmän etuosan optiikan muodostama kuva tarkentuu verkkokalvolle tarkkan näön pisteeseen eli foveolaan. Mykiö on läpinäkyvä kaksoiskupera linssi, jonka taittovoima on noin yksi kolmasosa koko silmän taittovoimasta. (Grosvenor 2007: 5; Rabbetts 2007: 11–12.) Silmän koko taittovoima on keskimäärin 60 dioptriaa, josta mykiön osuus on noin 16 dioptriaa (Teräsvirta 2011: 210). Mykiö ei ole pallopintainen, vaan sen pinta litistyy merkittävästi reunaosia kohti mentäessä. Etenkin akkommodaatiotilassa mykiön etupinta tasoittuu reunaosia kohti. (Rabbetts 2007: 12.)

Mykiö sijaitsee silmän etuosassa noin 3,6 millimetrin päässä sarveiskalvosta. Mykiön etupinta sijaitsee heti pupillin eli mustuaisen takana. Keskikohdiltaan mykiö on painautuneena värikalvoon. Mykiön takana on lasiainen. (Grosvenor 2007: 5; Kivelä 2011: 22.) Mykiön taitekerroin on lähellä sitä ympäröivien etukammionesteen ja lasiaisen taitekerrointa. Tämän vuoksi terveessä mykiössä valon heijastumista, hajaantumista ja kromaattista aberraatiota eli värihajontaa tapahtuu hyvin vähän. Heijastumien vähäiseen määrään vaikuttavat osaltaan myös mykiön pinnan muoto sekä mustuaisaukko, joka rajaa käytettävän linssialueen mykiön keskustaan. (Rabbetts 2007: 12; Teräsvirta 2011: 210.)

Mykiöllä on sekä optisesti että anatomisesti monimutkainen rakenne. Iän myötä mykiön joustavuus ja läpinäkyvyys heikkenevät. Kun mykiön paksuus kasvaa, samalla sen kaarevuussäde lyhenee enemmän suhteessa ekvatoriaaliseen halkaisijaan. Akkommodaation aikana etenkin mykiön etummainen pinta saavuttaa jyrkemmän muodon, jolloin pinnan huippu liikkuu eteenpäin. (Rabbetts 2007: 11–12.) Mykiön takapinta on sen etupintaa kuperampi. Etupinnan kaarevuus on noin 10 millimetriä ja takapinnan kaarevuus noin kuusi millimetriä. Mykiön etu- ja takapinnan välissä on ekvaattori, joka erottaa pinnat toisistaan. Mykiön ekvaattorin kohdilla ilmenee hieman sisäänpäin painautunut kurouma johtuen ripustinsäikeistä. (Forrester ym. 1999: 28.)

Mykiön paino, halkaisija ja paksuus kasvavat koko eliniän ajan. Syntymähetkestä 90 ikävuoteen mennessä mykiön paino on kasvanut noin 185 milligrammaa. Syntymähetkellä mykiö painaa keskimäärin 65 milligrammaa ja myöhäisessä vanhuusiässä noin

250 milligrammaa. Mykiön halkaisija on syntymähetkellä noin kuusi ja puoli millimetriä ja vanhuusiässä noin yhdeksän millimetriä. Mykiön paksuus kasvaa samalla kolmesta ja puolesta millimetristä viiteen millimetriin. (Teräsvirta 2011: 209.)

Mykiön rakenne voidaan jakaa kapseliin, epiteeliin, kuorikerrokseen ja tumaan. Kapseli on mykiön kuoriossa, joka ympäröi mykiötä. Se on tyvikalvo, joka koostuu mykiön epiteelisolusta. (Kivelä 2011: 23.) Kapselin paksuus vaihtelee mykiön eri kohdissa. Mykiön etupinnan keskikohdassa eli navassa kapseli on paksumpi kuin takapinnan keskikohdassa. (Forrester ym. 1999: 28.) Paksuimmillaan kapseli on mykiön ekvaattorin kohdalla (Rabbetts 2007: 140). Epiteeli sijaitsee kapselin alla. Mykiön ekvaattorin kohdilla epiteelisolut jakautuvat. Jakautuessaan epiteelisolut kulkeutuvat mykiön sisälle pidentyen, jolloin ne samalla menettävät tumansa. Näin syntyy mykiösäikeitä, joita kertyy mykiöön koko elämän ajan. Mykiösäikeiden kertyminen johtaa mykiön sisustan tiivistymiseen, paksuuntumiseen ja kovettumiseen. Mykiön kuorikerros koostuu nuorista mykiösäikeistä. Kuorikerros pysyy melko pehmeänä koko eliniän. Tuma on mykiön sisin osa, joka koostuu vahoista mykiösäikeistä. Iän myötä mykiön tuma tiivistyy, kovettuu ja menettää elastisuuttaan enemmän ja nopeammin kuin kuoriossa. (Kivelä 2011: 23; Rabbetts 2007: 140.) Tuman keskikohdassa sen maksimaalinen taitekerroin on noin 1.40. Taitekerroin pienenee tuman keskiosasta ulospäin mentäessä. (Rabbetts 2007: 12.)

Mykiön kapseli, epiteeli ja linssisäikeiden liitoskohdat säätelevät mykiön aineenvaihduntaa. Mykiökapseli läpäisee molekyylipainoltaan 40 000 olevia valkuaisaineita. Näin ollen mykiöön pääsee vaivatta glukoosia, mutta suurimolekyyliset sokerialkoholit eivät läpäise kapselia. Mykiön kapselin elastisuus mahdollistaa mykiön paksuuden muutoksen, jolloin mykiön taittovoima muuttuu. Kapseli rakentuu nelostyyppin kollageenista ja glykosaminoglykaaneista. Iän myötä kapselin elastisuus vähenee. (Teräsvirta 2011: 209.) Myös mykiön epiteeli läpäisee aineita kapselin tapaan. Epiteelikerroksessa tapahtuu aineiden kuljetusta epiteelisolusta toiseen. Linssisäikeet ovat paikoitellen yhteydessä vierekkäisiin säikeisiin. Näiden linssisäikeiden liitoskohtien kautta aineenvaihduntatuotteet pääsevät kulkeutumaan säikeestä toiseen. (Teräsvirta 2011: 210.)

Verisuoneton mykiö saa ravintonsa ja tarvitsemansa hapen lasiaisesta ja sädekehän tuottamasta kammiovedestä (Kivelä 2011: 20, 24). Kammionesteen ja lasiaisen välityksellä mykiö myös syntetisoi tarvitsemansa proteiinit ja poistaa aineenvaihdunnan lopputuotteet. Mykiö poistaa natriumia ja kalsiumia pumpaten samalla sisäänsä kaliumia.

Näin kloridi-ionit ja vesi diffusoituvat. Natriumin poiston myötä solun muoto ja tilavuus säilyvät sekä osmoottinen tasapaino pidetään yllä. Kalsiumpitoisuuden pysyminen matalana todennäköisesti estää valkuaisaineita pilkkovien entsyymien hallitsematonta toimintaa. Entsyymien hallitsematon toiminta johtaisi mykiösäikeiden tuhoutumiseen. (Teräsvirta 2011: 209.)

Mykiön läpinäkyvyys perustuu mykiön proteiinisäikeiden rakenteeseen ja järjestykseen. Proteiinisäikeet, jotka koostuvat β ja γ -kristallineista, muodostavat mykiön. Säikeet ovat jopa 12 millimetriä pitkiä ja läpimitaltaan neljästä seitsemään mikrometriä. Säikeiden rakenteen tai järjestyksen muuttuessa mykiön läpinäkyvyys häviää. (Teräsvirta 2011: 209.)

2.1.2 Sädekehä

Silmän sädekehän ripustinsäikeet pitävät mykiön paikallaan (Rabbetts 2007: 11). Sädekehä on värikalvon ja suonikalvon välissä sijaitseva rengasmaisesta kudoksesta koostuva silmän osa. Sädekehä ulottuu kovakalvokannuksesta ora serrataan. Kovakalvokannus on kammioikulmassa sijaitseva rengasmainen kohouma ja ora serrata on sahalaitainen alue, jossa sädekehän epiteeli muuttuu neuraaliseksi verkkokalvoksi eli retinaksi. Sädekehä on poikkileikkaukseltaan kolmikulmainen, jolloin sen kanta vastaa etukammiota ja huippu sekoittuu suonikalvoon. Sädekehän leveys on noin viidestä kuuheen millimetriä. Sädekehään kuuluvat poimuttunut kruunuosa (pars plicata) ja litteä takaosa (pars plana) (kuvio 1). Sädekehän kruunuosa on noin kaksi millimetriä leveä ja koostuu noin 70 säteittäisestä poimusta. Sädekehän kruunuosan säteittäiset poimut ovat noin 0,5–0,8 millimetriä korkeita ja noin 0,5 millimetriä leveitä. Sädekehän litteä osa on noin neljä millimetriä leveä alue, joka ulottuu sädekehän poimuttuneesta osasta ora serrataan. (Forrester ym. 1999: 24–29; Kivelä 2011: 20.)

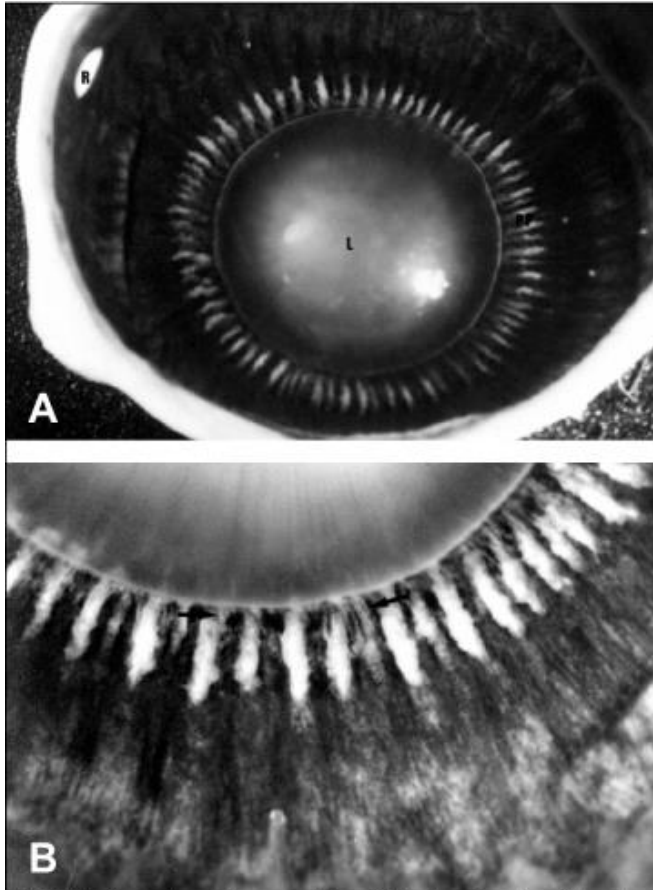


Fig. 6 - Photographs of a human globe obtained postmortem taken from an operating microscope after sectioning the globe at the equator showing the inner surface of the anterior segment from a posterior view; **A.** The crystalline lens (L) is in the center, surrounded by a series of radial lines, which are the ciliary processes, the pars plicata (PP). This latter is surrounded by the pars plana, which terminates in a scalloped edge, the ora serrata, where the retina (R) begins; **B.** Same view with higher magnification. Note the zonules (arrows) attaching the crystalline lens to the pars plicata of the ciliary body.

Kuvio 1. Ihmissilmän mykiö silmän sisältä päin katsottuna. A kuvassa mykiötä (L) ympäröivät säteittäiset viivat ovat sädekehän kruunuosaa ympäröivät sädekehän litteä osa, joka loppuu ora serrataan, missä verkkokalvo (R) alkaa. B kuvassa mykiö ja ripustinsäikeet näkyvät suurempana. Ripustinsäikeet (nuolet) kiinnittyvät mykiöön sädekehän poimuttuneessa kruunuosassa. (Werner 2000.)

Sädekehän litteästä takaosasta lähtevät ja kruunuosaa välistä kulkevat ripustinsäikeet kiinnittyvät ja yhdistyvät mykiön kapseliin (kuvio 2). Ripustinsäikeet koostuvat tiheistä, kirkkaista säiekimpuista, joiden halkaisija on viidestä kolmeen kymmeneen mikrometriä. Arvioidaan, että sädekehän litteän osan pigmentoitumattomat epiteelisolut huoltavat ja pitävät yllä ripustinsäikeitä. (Forrester ym. 1999: 24–29; Kivelä 2011: 20.) Ripustinsäikeet pitävät mykiötä paikallaan ja osallistuvat mykiön kaarevuuden muutokseen. Sädelihaksen toiminta muuntaa ripustinsäikeiden jännitettä, ja kun ripustinsäikeiden jännite muuttuu, myös mykiön kaarevuus muuttuu. (Rabbetts 2007: 11–12.)



Kuvio 2. Kuva sädekehän ripustinsäikeistä, jotka kiinnittyvät mykiön kapseliin. (Online Journals of Ophthalmology 2007.)

Suurin osa sädekehästä koostuu sädelihaksesta (Grosvenor 2007: 6). Sädekehän poimuttuneesta osasta valtaosa on sädelihasta. Sädelihaksen avulla saadaan tuotettua silmän akkommodoimiseen tarvittava lihasvoima. Kun sädelihas supistuu, mykiön ripustinsäikeet veltostuvat. Kun sädelihas rentoutuu, ripustinsäikeet kiristyvät. (Kivelä 2011: 22.) Sädelihas koostuu kolmesta erilaisesta pehmeästä lihaskudoksesta (kuvio 3). Ulommaisiet pitkittäiset lihassäikeet ovat kiinnittyneenä kovakalvokannukseen, epäsuorasti trabekkelivyöhykkeeseen ja kiinnittyvät takimmaisesti silmän sisäpuolen kovakalvoon. Keskimmäiset säteittäiset lihassäikeet ovat yhtenäisiä sisemmän trabekkelivyöhykkeen kanssa. Sisimmät epäsuorat lihassäikeet tulevat näkyviin poikkileikkauksellisesti sädekehän meridiaaneissa. (Forrester ym. 1999: 25.)

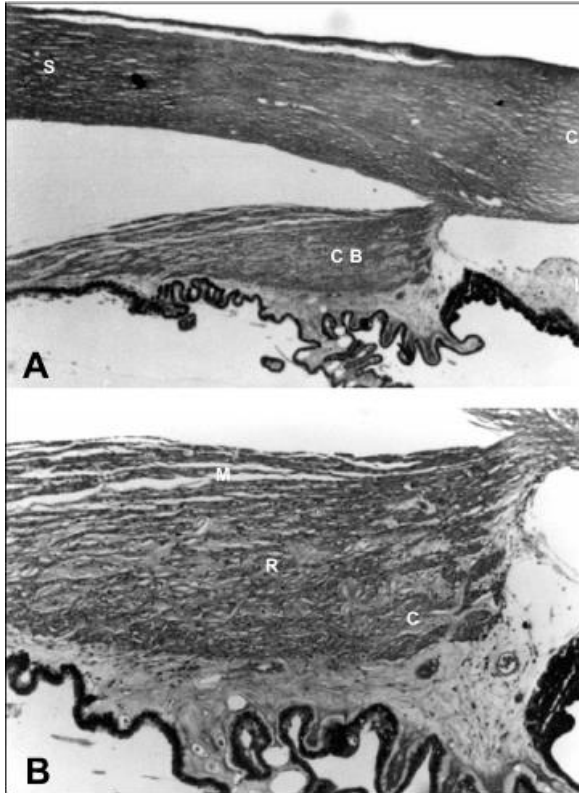


Fig. 3 - Photomicrographs from a human globe obtained postmortem showing the anterior segment. These histological sections are stained with Masson's trichrome, which stains collagen fibers in blue and smooth muscle fibers in red; A. Cornea (C), sclera (S), iris (I) and ciliary body (CB) can be identified. The ciliary muscle extends from the scleral spur to the choroid, although some of its fibers are confined to the pars plicata. The ciliary process and the entire inner surface of the ciliary body are lined with two layers of epithelium, the innermost of which lacks melanin pigment (Masson's trichrome; original magnification X 200); B. Same section in higher magnification showing the ciliary body. The ciliary muscle is traditionally divided into three parts. The outermost, lying next to the sclera, is the meridional portion (M). The innermost fibers nearest the ciliary processes constitute the circular portion (C), and the radial portion (R) lies between the meridional and circular portions. The divisions are not sharp and the boundaries are just approximate.

Kuvio 3. Ihmissilmän etukammio. A kuvassa ovat näkyvissä sarveiskalvo (C), kovakalvo (S), värikalvo (I) sekä sädekehä (CB). B kuvassa näkyy suuremmalla suurennoksella sädekehä. Sädelihaks jaetaan kolmeen erilliseen lihaskudokseen. Ulommat pitkittäiset lihassäikeet (M) sijaitsevat lähimpänä kovakalvoa. Sisemmät epäsuorat lihassäikeet (C) sijaitsevat ripustinsäikeiden läheisyydessä. Keskimäiset säteittäiset lihassäikeet (R) sijaitsevat ulompien pitkittäisten ja sisempien epäsuorien lihassäikeiden välissä. (Werner 2000.)

2.2 Teorioita akkommodaation mekaniismista

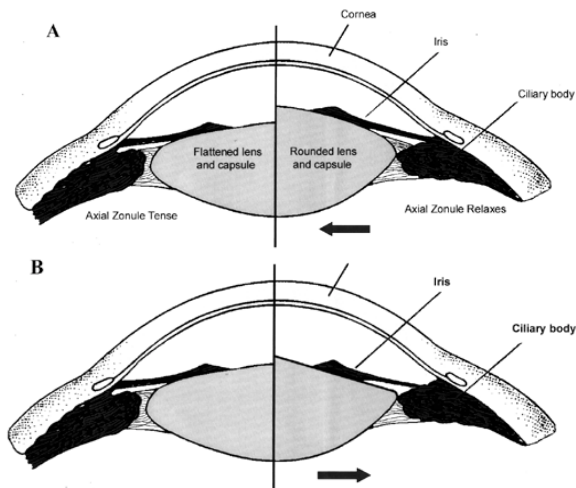
Akkommodaation mekaniismia on tutkittu kauan. Esillä on ollut useita erilaisia hypoteeseja ja selityksiä siitä, miten akkommodaatio toimii ja miten se liittyy presbyopiaan eli ikänäköisyyteen. Tutkittaessa akkommodaatiolaajuutta eli silmän kykyä tarkentaa eri etäisyyksille, on todettu, että akkommodaatiolaajuus heikkenee iän myötä lineaarisesti ja ennustettavasti. (Werner – Trindale – Pereira – Werner 2000: 503.)

Jo vuonna 1619 Scheiner on havainnollistanut akkommodaation mekanisme. Hän on todistanut, että silmässä on olemassa mekanismi, joka kontrolloi ja säätelee kuvan tarkentumista. Jo vuonna 1677 Descartes on ehdottanut, että mykiön muodonmuutoksella saavutetaan akkommodaatio. Myöhemmin vuosina 1853–1856 Helmholtz on havainnollistanut sädelihasten mahdollistavan akkommodaation, jolloin mykiön paksuus ja pinnan kaarevuus lisääntyvät. Vuonna 1763 Albrecht von Haller on ajatellut lähelle katsottaessa pupillien supistumisen pienentävän epätarkkuuksia ja näin aiheuttavan kuvan tarkentumisen eli akkommodaation. Tämä mekanismi ilmenee joillakin eläimillä. Keplerin vuonna 1611 määrittelemän teorian mukaan mykiön liikkuminen eteen ja taaksepäin mahdollistaa katseen tarkentumisen eri etäisyyksille. Jotkin kalat käyttävät tällaista mekanisme kuvan tarkentamiseksi. Teoria mykiön liikkumisesta eteen- ja taaksepäin ihmissilmässä on kuitenkin kumottu todistaen, että kuvan tarkentumiseksi mykiön tulisi liikkua eteenpäin 10 millimetriä, mikä on mahdotonta ihmissilmässä. (Werner ym. 2000: 504.)

Schachar on esittänyt akkommodaatiosta teorian, jonka mukaan ekvatoriaaliset ripustinsäikeet kiinnittyvät sädelihaksen etuosaan iiriksen juurella, ja etummaisetsäikeet kiinnittyvät sädekehän takaosaan. Schachar ja Andersson ovat väittäneet sädelihaksen supistumisen aiheuttavan sädelihaksen etuosan kaartumisen kohti kovakalvoa. Sädelihaksen kaartuminen kohti kovakalvoa johtuu heidän mukaansa radiaalisten eli säteittäisten ja pitkittäisten ripustinsäikeiden toiminnasta. Kun ekvatoriaaliset ripustinsäikeet jännittyvät, rentoutuvat sekä etummaisetsäikeet. Tällöin syntyy voimaa, joka vetää mykiön ekvaattoria kohti kovakalvoa, ja tämä voima yhdessä etummaisten ja takimmaisten säikeiden rentoutumisen myötä, aiheuttaa mykiön reunaosien litistymisen ja mykiön keskiosan paksuuntumisen. Tämän mallin mukaan akkommodaation aikana mykiön reuna on lähempänä kovakalvoa (kuvio 4). Pohjana Schacharin teorialle on oletus, että mykiön ekvatoriaalinen halkaisija kasvaa akkommodoidessa. Kuitenkin joukko viimeaikaisia tutkimuksia yhdessä klassisen kirjallisuuden kanssa osoittavat, että mykiön halkaisija pienenee akkommodaation aikana. Glasser ja Kaufman ovat tutkineet mykiön ekvaattoria ja sädekehää osoittaen, että sädekehä ja mykiön ekvaattori liikkuvat pois päin kovakalvosta akkommodaation aikana. (Werner ym. 2000: 505–506.) Glasserin ja Campbellin suorittamat tutkimukset osoittavat myös, että ripustinsäikeiden mekaaninen venyttäminen lisää mykiön polttoväliä (Glasser – Campbell 1998: 209). Schacharin teorialle ei ole riippumatonta varmistusta, eikä kuvantamistekniikoiden avulla ole havaittu paikallista liikettä ulommaisessa osassa sädekehää tai ulospäin suuntautuvaa liikettä kohti kovakalvoa etummaisessa osassa

sädekehää. Myöskään iiriksen juuressa ja etummaisessa sädelihaksessa ei näy kiinnittyneenä ripustinsäikeitä. Etummaisen ja ekvatoriaalisen mykiön kapselin säikeet yhtyvät takimmaisii ripustinsäikeisiin ja ne jatkavat lähes suoraa rataa kiinnityskohtiinsa. Sekä etummaiset että takimmaiset säikeet poistuvat sädekehän kruunun (pars plicata) kautta nauhamaisesti ja yhdensuuntaisesti. (Werner ym. 2000: 506–507.)

Vuonna 1855 Helmholtz on havainnut mykiön keskustan paksunevan akkommodaation aikana. Sen perusteella hän on päättellyt, että akkommodoitaessa, sädelihas supistuu pienentäen sädekehän halkaisijaa, jolloin ripustinsäikeet löystyvät ja mykiön kaarevuus kasvaa. Tällöin mykiön voimakkuusvaikutus kasvaa ja mykiön ekvatoriaalinen reuna on kauempana kovakalvosta (kuvio 4). Silloin, kun vallitsee akkommodaation lepotila, sädelihas rentoutuu, ripustinsäikeiden jännitys kasvaa ja mykiö palautuu litteämpään tilaan. Tällöin mykiön reuna on lähempänä kovakalvoa. Helmholtzin havainnot eivät kuitenkaan selitä mykiön etupinnan muotoa akkommodaatiotilan vallitessa. Myöhemmin Fincham on pohtinut mykiön muodon akkommodaation aikana johtuvan siitä, että mykiön kapseli on paksumpi edestä kuin takaa ja siitä, että mykiön etummainen ja takimmainen osa ovat paksampia lateraalisesti, ripustinsäikeiden kiinnityskohdassa. Näin ollen mykiön litistymisen tapahtuu perifeerisessä osassa, missä mykiö on vahvin ja paksuin. Mykiön paksuuntuminen ja pullistuminen sen sijaan tapahtuu pitkittäisessä suunnassa alueella, jossa mykiö on heikoin. (Werner ym. 2000: 505.)



Kuvio 4. Helmholtzin (A) ja Schacharin (B) teoriat akkommodaatiosta. Vasen puoli kuvaa akkommodaation lepotilaa ja oikea puoli akkommodaatiotilaa. Nuoli kuvaa mykiön ekvatoriaalisen reunan liikettä akkommodaation aikana poispäin kovakalvosta (A) ja kovakalvoa kohti (B). A kuvassa akkommodaation aikana sädelihas on supistunut, jolloin mykiö on paksumpi ja sen kaarevuus kasvaa. B kuvassa tapahtuu mykiön reunaosien litistymisen samalla, kun mykiön etummaisen pinnan kaarevuus kasvaa mykiön keskiosassa. (Werner ym. 2000.)

Sädelihaksen tapa toimia on edelleen kiistanalainen. Kuitenkin nykyisin yleisesti hyväksytään tieto siitä, että akkommodaation aikana sädekehässä tapahtuu jonkinasteista liikettä. Liike siirtää sädekehää eteen- ja sisäänpäin, jolloin ripustinsäikeiden jännitys laskee mahdollistaen elastisen mykiön pullistumisen ja silmän taittovoiman lisääntymisen. (Forrester ym. 1999: 26.)

2.3 Akkommodaation, konvergenssin ja mioosin yhteys

Akkommodaatio, konvergenssi ja mioosi eli pupillien supistuminen ovat läheisesti yhteydessä toisiinsa (Rowe 1997: 55). Akkommodaatio aiheuttaa konvergenssia ja konvergenssi akkommodaatiota. Samalla, kun tapahtuu konvergenssia ja akkommodaatiota, myös pupilli supistuu ja sen halkaisija pienenee. (Rabbetts 2007: 170.) Akkommodaatiota, ja näin ollen myös konvergenssia sekä mioosia hermottaa kolmas aivohermo eli okulomotorinen hermo (Forrester ym. 1999: 168).

Jotta lähellä oleva katselukohde fiksoituu verkkokalvolle tarkannäkemisen alueelle eli fovealle, on silmien käännyttävä suorasta katselinjasta sisäänpäin eli konvergoitava. Silmäteräväli vaikuttaa konvergenssin määrään. Mitä suurempi silmäteräväväli, sen suurempi määrä tulee konvergoida, jotta katseltava lähikohde nähdään yhtenä. Yhden prismadioptrian konvergenssi vastaa silmien kääntymistä sisäänpäin yhden senttimetrin verran yhden metrin etäisyydeltä mitattuna. (Goss 1995: 4–5.)

Suhteellisessa eli relatiivisessa akkommodaatioissa silmien konvergenssitaso on sidottu tietylle etäisyydelle. Vaikka akkommodaatio kasvaa, konvergenssitaso pysyy samana. (Rabbetts 2007: 175.) Suhteellinen akkommodaatio kertoo, kuinka paljon akkommodaatiota voidaan lisätä tai rentouttaa konvergenssin pysyessä samana. Konvergenssi on silmien kyky kääntyä sisäänpäin. (Rowe 1997: 55–56.) Negatiivinen suhteellinen akkommodaatio (NRA) tarkoittaa silmän maksimaalista kykyä rentouttaa akkommodaation toiminta niin, että silmä näkee kohteen vielä tarkasti. Positiivinen suhteellinen akkommodaatio (PRA) sitä vastoin on silmän maksimaalinen kyky akkommodoida. (Mancil ym. 2011: 19.) Negatiivista relatiivista akkommodaatiota mitatessa selvitetään pluslinssellä lisäten tutkittavan kyky vähentää akkommodaatiota samalla, kun konvergenssitaso säilytetään sopivana 40 senttimetrin etäisyydelle. Morganin (1944) mukaan negatiivisen relatiivisen akkommodaation odotusarvo on +1.75–+2.00 dioptriaa. Positiivinen relatiivinen akkommodaatio kertoo tutkittavan kyvystä lisätä akkommodaatiota,

kun konvergenssitaso pysyy samana. Positiivista relatiivista akkommodaatiota mitates-
sa askelittain lisätään miinuslinsskejä. Morganin mukaan positiivisen relatiivisen ak-
kommodaation normaali odotusarvo on -2.25—2.50 dioptriaa. (Benjamin 1998: 736.)

Relatiivinen eli suhteellinen konvergenssi kertoo konvergenssin määrän, jota syntyy
suhteellisesti akkommodaation määrään nähden. Relatiivista konvergenssia on positiivista ja negatiivista. Positiivisessa relatiivisessa konvergenssissa silmien konvergo-
idessa akkommodaatio lisääntyy. Negatiivisessa relatiivisessa konvergenssissa ak-
kommodaatio rentoutuu. (Rowe 1997: 56.)

Konvergenssi voidaan pääasiallisesti jakaa neljään tyyppiin: tooninen, proksimaalinen,
akkommodatiivinen ja fuusionaalinen konvergenssi. Tooninen konvergenssi on silmien
luonnollinen fysiologinen lepotila. Proksimaalinen konvergenssi aiheutuu lähellä olevan
kohteen tunteesta. Akkommodatiivinen konvergenssi johtuu akkommodaation muutok-
sesta ja se on osa akkommodaation, konvergenssin ja mioosin yhteyttä. Fuusionaali-
sen konvergenssin avulla katseltava kohde pystytään näkemään yhtenä, kun kaksi
verkkokalvokuvaa fuusioituu yhdeksi. (Goss 1995: 11, 40.) Konvergenssi on pääasialli-
sesti tahdosta riippumatonta toimintaa. Tahdonalaista konvergenssia kuitenkin syntyy,
kun silmät kääntyvät sisäänpäin ilman todellista konvergenssitarvetta. (Rabbetts 2007:
170.)

Konvergenssin lähipiste kertoo etäisyyden silmistä lähimpään tasoon, jossa silmät vielä
pystyvät konvergoimaan. Konvergenssin lähipiste voidaan mitata tuomalla rauhallisesti
esimerkiksi valkoisella pohjalla olevaa mustaa pystyviivaa lähemmäksi tutkittavan sil-
miä. Tutkittavaa pyydetään ilmoittamaan, kun viiva kahdentuu. Etäisyys sarveiskalvon
pinnasta testiviivaan on konvergenssin lähipiste. Normaali konvergenssin lähipiste on
neljän ja 16 senttimetrin välillä. Mikäli konvergenssin lähipiste poikkeaa normaalista,
lähityöskentelyssä saattaa ilmetä ongelmia. (Rabbetts 2007: 170.)

Konvergenssikyvyn ei ole havaittu systemaattisesti heikkenevän iän myötä, toisin kuin
akkommodaatiokyvyn. Mitä luultavimmin konvergenssi ei kuitenkaan ole myöhäisem-
mällä iällä yhtä hyvä kuin nuorena. Tämä johtuu mahdollisesti akkommodatiivisen kon-
vergenssin puutteesta ja siitä, että konvergenssia ei enää iän myötä ole tarpeen käyt-
tää niin paljon, sillä ikänäköiset eivät näe lähikohteita enää tarkasti ilman lähilaskorja-
usta. Osa ihmisistä pitää yllä hyvän konvergenssikyvyn iän myötä, mutta osa ei. (Rab-
betts 2007: 170.)

2.4 Akkommodatiivinen konvergenssi ja AKA-arvo

Akkommodatiivinen konvergenssi on silmien sisäänpäin kääntymistä, joka on yhteydessä akkommodaatioon (Grosvenor 2007: 84). Kun katse siirretään kaukana olevasta kohteesta lähelle, tapahtuu akkommodatiivista konvergenssia. Akkommodatiivista konvergenssia voidaan saada aikaan myös linssivoimakkuutta muuttamalla samalla kun testietäisyys pysyy samana. (Goss 1995: 11.)

Akkommodatiivisen konvergenssin ja akkommodaation suhdetta kuvataan AKA-arvolla (Grosvenor 2007: 87). AKA-arvo ilmoittaa yhden dioptrian akkommodaation muutosta vastaavan akkommodatiivisen konvergenssin määrän prismadioptrioina. Akkommodaation muuttuessa yhden dioptrian verran, konvergenssi muuttuu AKA-arvon verran. (Goss 1995: 40.) Esimerkiksi AKA-arvon ollessa neljä, kun akkommodoidaan yhden dioptrian verran, muuttuu akkommodatiivinen konvergenssi neljä prismadioptriaa (Grosvenor 2007: 89). Henkilöllä, jolla ei ole foriaa eli piilokarsastusta kauas, liiallinen akkommodointi aiheuttaa esoforiaa eli sisäänpäinkarsastusta lähelle ja liian vähäinen akkommodointi exoforiaa eli ulospäinkarsastusta lähelle (Grosvenor 2007: 224). Useimmilla ihmisillä esiintyy exoforiaa lähelle, minkä vuoksi on olemassa käsite fysiologinen exoforia (Grosvenor 2007: 235). Normaalin AKA-arvon voidaan ajatella olevan neljän ja kuuden välillä. Matala AKA-arvo on alle neljä ja korkea AKA-arvo yli kuusi. (Grosvenor 2007: 90.) Keskimääräinen AKA-arvo on noin 3.5 prismadioptriaa (Benjamin 1998: 139). Mikäli AKA-arvo on epänormaalin matala, henkilö konvergoi heikosti eikä suurempikaan muutos akkommodaatiossa aiheuta huomattavaa muutosta konvergenssiin. Jos AKA-arvo on epänormaalin korkea, henkilö kärsii liiallisesta konvergoinnista. Tällöin pienikin muutos akkommodaatiossa voi aiheuttaa suuren konvergenssin muutoksen. (Grosvenor 2007: 90.)

Aivan kuten akkommodaatiotarpeen muuttuessa silmien täytyy muuttaa konvergenssiään, myös konvergenssimuutokset saavat aikaan muutosta akkommodaation määrässä. Tätä kutsutaan konvergenssin aikaansaamaksi akkommodaatioksi. (Rabbetts 2007: 174.)

2.5 Normaali akkommodaation vajuus (Lag of accommodation)

Akkommodaation aikana katsottaessa lähipisteeseen akkommodatiivinen vaste on yleensä hieman pienempi kuin akkommodatiivinen ärsyke eli stimulus. Tämän normaali-

lin akkommodaatiovajauksen määrä selviää, kun selvitetään, kuinka paljon pienempi dioptrioina akkommodatiivinen vaste on ärsykkeeseen nähden. (Goss 1995: 137.) Lähes poikkeuksetta dynaamisella skiaskopiolla ja binokulaarisella ristisyylinteritestillä mitattuna nuorilla henkilöillä akkommodaation vajoitus on 0.00–+1.00 dioptriaa. Keskiarvo on noin +0.50 dioptriaa. (Grosvenor 2007: 83.)

Akkommodaation vajoituksen määrä riippuu silmän syväterävyydestä. Syväterävyys kasvaa, kun mustuaisen koko pienenee ja katseltavan objektin koko suurenee. Syväterävyyden vaikuttavuutta akkommodaation vajoitusta mitattaessa voidaan pienentää välttämällä kirkasta valaistusta. Kirkkaassa valossa mustuainen supistuu ja sen koko pienenee. Myös käyttämällä testimerkinä mahdollisimman pieniä kirjaimia tai muita optotyyppisiä, ja kehottamalla tutkittavaa pitämään ne tarkkoina, voidaan vähentää syväterävyyden vaikutusta. (Grosvenor 2007: 83.)

Syväterävyyden ansiosta ei synny havaintoa kuvan epätarkkuudesta ja sameudesta, vaikka kuva ei olisikaan kohdistunut aivan verkkokalvolle. Näin ollen pieni määrä akkommodaatiovirhettä sallitaan ilman, että se haittaa tarkkaa katselemista. Tietyn pisteen yli mentäessä, verkkokalvokuvan epätarkentuminen aiheuttaa kuvan samenessen. Campbellin vuonna 1957 tekemän tutkimuksen mukaan keskimääräinen silmän syväterävyys on 0.30 dioptriaa, kun pupillin halkaisija on kolme millimetriä. Useissa muissa tutkimuksissa on saatu samankaltaisia lukemia. (Benjamin 1998: 98.) Mordin (1991) sekä Mordin ja Ciuffredan mukaan iän myötä syväterävyys lisääntyy, ensimmäisen kerran varhaisen presbyopian aikoihin. Thompson (1992) ja Weale (1982) totesivat, että myöhäisemmällä iällä syväterävyys paranee johtuen normaalista anatomisesta pupillien mioosista, jolloin pupillien koko tulee pienemmäksi. (Benjamin 1998: 100.)

2.6 Akkommodaatiohäiriöt

Akkommodaatiohäiriöitä ovat akkommodaatiovajoitus, akkommodaatiojouston heikkous, akkommodaation väsyminen ja akkommodaatiospasmi (Grosvenor 2007: 267). Akkommodaatiotoiminnan häiriöiden oireita ovat hämärtyneet näkö, päänsärky, silmien rasittuneisuus, epämukava tunne silmissä ja lähityön ongelmat. Akkommodatiivista toimintaa ja sen häiriöitä voidaan mitata erilaisin testeillä. (Goss 1995: 135.)

Akkommodaatiohäiriöiden aiheuttamien näkemisen oireiden helpottamiseksi tehokkaita keinoja ovat erilaiset visuaaliset harjoitteet ja pluslinssilisät (Goss 1995: 135). Useat

tutkimukset viimeksi kuluneiden 45 vuoden ajalta osoittavat, että ihmisen akkommodatiivista järjestelmää voidaan harjoittaa. On havaittu myös, että oireellisten potilaiden akkommodaatiota voidaan parantaa erilaisin harjoittein. (Benjamin 1998: 90–91.)

2.6.1 Akkommodaatiovajausta (Insufficiency)

Akkommodaatiovajausta kertoo puutteellisesta kyvystä ylläpitää tarvittavaa määrää akkommodaatiota ikään ja refraktiiviseen tilaan nähden (Rowe 1997: 156). Akkommodaation riittämättömyys ilmenee epänormaalin pienenä akkommodaatiolaajuutena (Goss 1995: 142). Akkommodaatiovajaksesta voi olla merkinä pysyvä eriarvoinen akkommodaatio. Kun akkommodaatiolaajuus eroaa vähintään 0.50 dioptrian verran oikean ja vasemman silmän välillä, kyseessä on eriarvoiseen akkommodaatioon perustuva akkommodaatiovajausta. Eriarvoisen akkommodaation saattaa aiheuttaa jokin elimellinen sairaus, päähän osunut iskuvamma tai toiminnallinen heikkonäköisyys. (Benjamin 1998: 92.)

Akkommodaatiovajaksesta aiheuttamia oireita voivat olla hämärtyneisyys näkö, mikropsia ja astenooppiset oireet (Rowe 1997: 156). Astenooppisiin oireisiin kuuluvat silmien kuormittuminen ja väsyminen sekä epämukavuuden ja kivun tunteet silmissä tai silmien seudulla (Grosvenor 2007: 102).

Kokonaisvaltaista akkommodaatiovajaksesta kutsutaan nimellä akkommodaatiohalvaus. Akkommodaatiohalvaus on harvinainen tila, jonka voi aiheuttaa silmäsairaus tai vamma. (Goss 1995: 142.) Akkommodaatiohalvauksessa lähinäkö on puutteellinen (Rowe 1997: 158).

2.6.2 Akkommodaatiojoustoheikkous (Infacility)

Akkommodaatiojousto kertoo, kuinka nopeasti kyetään lisäämään ja vähentämään akkommodaation määrää (Grosvenor 2007: 267). Kun akkommodaatiojousto on heikko ja katseen fiksaatio muuttuu etäisyydestä toiseen, akkommodaation määrän muuttaminen on hankalaa ja se tapahtuu hitaasti. Tällöin katseen tarkentaminen nopeasti eri etäisyyksille on vaikeaa. (Rowe 1997: 159.)

Akkommodaatiojouston heikkoudessa silmien akkommodaatiokyky on yleensä heikko (Goss 1995: 141). Tavallisimpana oireena on tilapäinen lähellä ja kaukana olevien katselekohteiden hämärtyminen lähikatselun jälkeen (Goss 1995: 141). Oireena voi ilmetä ajoittaista näön hämärtymistä lähelle ja/tai kauas (Rowe 1997: 159). Katsetta voi olla vaikea tarkentaa läheltä kauas tai toisinpäin (Benjamin 1998: 93). Akkommodaatiojouston harjoittamiseen on olemassa erilaisia menetelmiä, jotka voivat helpottaa akkommodaatiojouston heikkoudesta aiheutuvia oireita (Grosvenor 2007: 267).

2.6.3 Pitkäkestoisen akkommodaation käytön heikkous (Fatigue)

Kun tarvittavan akkommodaation ylläpitäminen on vaikeaa, kyse on pitkäkestoisen akkommodaation käytön heikkoudesta. Akkommodaatiokyky on riittävä, mutta akkommodaatio väsyä liian helposti. (Rowe 1997: 157.) Pitkäkestoisen akkommodaation käytön heikkoudessa akkommodaatiolaajuus heikkenee toistojen myötä (Goss 1995: 141).

Pitkäkestoinen lähityö voi aiheuttaa akkommodaation käytön heikkoutta (Rowe 1997: 157). Silmien erilaisia rasitusoireita voi esiintyä lähityössä (Grosvenor 2007: 267).

2.6.4 Akkommodaatiospasmii

Akkommodaatiospasmissa akkommodatiivinen tila on jatkuvaa. Sädelihas on supistuneena ja kykenemätön rentoutumaan. Akkommodaatiospasmissa voivat aiheuttaa muun muassa korjaamattoman hyperopian tai korjaamattoman exoforian eli ulospäin karsastuksen korjaaminen akkommodoimalla. Myös pitkäaikainen lähityö saattaa aiheuttaa akkommodaatiospasmissa. Akkommodaatiospasmissa akkommodointi on liiallista eli yliakkommodoidaan. (Rowe 1997: 158–159.)

Akkommodaatiospasmin oireita ovat hämärtyneet näkö kauas, ongelmat lähityössä, makropsia ja päänsärky (Rowe 1997: 158–159). Lisäksi voi esiintyä astenooppisia oireita, valonarkuutta ja silmien luomireunojen punoitusta. Pitkittyneen lähityön myötä akkommodaatiospasmii voi aiheuttaa taittovirheettömälle ihmiselle pseudomyopiaa eli valelikitaitoisuutta. Oireena kaukonäkö hämärtyy. Pluslinssikorjaus lähelle auttaa oireisiin, ellei tila ole edennyt vaiheeseen, jossa kaukonäönkorjaus on tarpeen. (Grosvenor 2007: 267.)

2.6.5 Yliakkommodaatio

Perinteisesti ajateltuna kyseessä on yliakkommodaatio, kun akkommodaatio on ikään nähden odotettua suurempi. Uudenaikaiset määritelmät käsittelevät yliakkommodaatiota tilana, jossa liiallisen akkommodoinnin vuoksi akkommodaatio on kykenemätön rentoutumaan helposti johtaen akkommodaatiospasmiin. (Benjamin 1998: 92–93.)

Yliakkommodaatiossa akkommodatiivinen vaste on suurempi kuin ärsyke (Goss 1995: 137). Yliakkommodointi on yleistä etenkin nuorilla henkilöillä. Yliakkommodointi voi johtaa valelikitaitoisuuteen ja piilevään kaukotaitoisuuteen eli latenttiin hyperopiaan. (Grosvenor 2007: 83.)

3 Akkommodaatiolaajuus

Normaalitaitteinen ja täysikorjattu silmä näkee tarkasti kaukana olevat kohteet. Silmä tarvitsee mukauttamis- eli akkommodaatiokykyä nähdäkseen kohteen terävänä sen siirtyessä lähemmäksi silmää. Tämä mukautuminen tapahtuu yleensä nopeasti ja vaivattomasti. (Teräsvirta 2011: 211.) Maksimaalista akkommodaatioaluetta eli terävänä näkyvää syvyysuuntaista mukautumisaluetta kaukaisuudesta lähimpään tarkasti nähtävään pisteeseen kutsutaan akkommodaatiolaajuudeksi. Akkommodaatiolaajuus ilmoitetaan dioptrioina. Dioptria on 1/m eli metrimääräisen mitan käänteisarvo. (Benjamin 2006: 128.)

Akkommodaatiolaajuus saadaan selville mitatun lähipisteen eli lähimmän tarkasti nähtävän pisteen metrimääräisen käänteisarvon avulla. Jotta nähdään puolen metrin etäisyydelle tarkasti esimerkiksi pientä tekstiä luettaessa, tarvitaan kahden dioptrian (1/0,5m) mukauttamislisä kaukotaitteisuuden verrattuna ja 33 senttimetrin etäisyys vaatii kolmen dioptrian (1/0,33m) lisän. Jos henkilön akkommodaatiolaajuus on siis kolme dioptrian, hän näkee tarkasti kaukaisuudesta 33 senttimetrin etäisyydelle asti. (Grosvenor 2007: 121; Teräsvirta 2011: 211.) Kuitenkin vaivattomasti akkommodaatiolaajuudesta käytetään $\frac{1}{2}$ – $\frac{2}{3}$, joten sama henkilö pystyy tekemään pitkäaikaista lähiötä ilman oireita lähimmillään 50–67 senttimetrin etäisyydellä. Ikänäköisten silmälasilinsseihin määritettävä lähivoimakkuuden määrä perustuu miellyttävästi käytettävissä olevaan akkommodaatiolaajuuden suuruuteen. (Saari – Korja 2011: 309.)

3.1 Akkommodaatiolaajuuden mittaaminen

Kliininen akkommodaatiolaajuuden määrittäminen voidaan suorittaa kahdella tavalla, joko ”push-up”-menetelmällä tai miinusmenetelmällä. Tällöin ensin on korjattu silmän kaukorefraktio eli taittovirhe kauas täysimääräisenä, jotta silmä on saatu normaalitaitteiseksi. Ikänäköisillä käytetään lähilisää eli tarkkaan lähikatseluun tarvittavaa plusvoimakkuutta kaukorefraktioon nähden. Mitattu akkommodaatiolaajuus ilmoitetaan aina dioptrioina. Jos mittauksen aikana käytössä on ollut lähilisä, sen määrä vähennetään dioptrioina saadusta akkommodaatiolaajuusarvosta. (Benjamin 2006: 128.)

Syväterävyyden vaikutuksesta saatu mittaustulos on normaalisti näkevässä silmässä noin 0.50–1.00 dioptrian todellista akkommodaatiolaajuutta suurempi. Joidenkin näke-

misen häiriöiden, kuten amblyopian eli karsastuksesta tai silmien eritaittoisuudesta johtuvan toiminnallisen heikkonäköisyyden seurauksena, syväterävyyden vaikutus voi olla tavallista suurempi. (Benjamin 2006: 128.)

3.1.1 Mittaamisessa huomioitavia tekijöitä

Akkommodaatiolaajuus tulee mitata sekä monokulaarisesti että binokulaarisesti. Käytössä on pienikokoinen suurikontrastinen testimerkki, joka on esimerkiksi hieman parhaan näöntarkkuuden kynnyсарvoa suurempi kirjainrivi. Normaalit monokulaariset arvot ovat likimain yhtä suuret kummassakin silmässä (ero pienempi kuin 0.25 dioptriaa). Binokulaarisen arvon tulisi ainakin lapsilla ja nuorilla aikuisilla olla 0.50 dioptriaa suurempi kuin monokulaariset arvot, johtuen konvergenssin vaikutuksesta. Olosuhteiden täytyy olla samanlaiset sekä monokulaarisen että binokulaarisen mittauksen aikana. (Benjamin 2006: 397.)

Mittauksessa nopeus, jolla testimerkkiä tuodaan lähemmäksi tutkittavaa, pitäisi olla suhteellisen hidas, noin 0.50 dioptriaa sekunnissa. Tarkoituksena on tuottaa jatkuva tasainen muutos akkommodaation toimintaan. Hidas nopeus on erityisen tärkeä, kun kohde lähestyy tutkittavan silmää, sillä lähellä silmää dioptriaalinen muutos tapahtuu nopeammin kuin kauempana silmästä. (Benjamin 2006: 397.)

Katsekulma vaikuttaa myös mittaustulokseen. Akkommodaatiolaajuus on suurimmillaan, kun katse on suunnattuna alas ja sisäänpäin. Pienin mittaustulos saadaan, kun silmä on kääntyneenä ylöspäin. Eron väitetään olevan enimmillään jopa 3.5 dioptriaa eri katsekulmien välillä. (Benjamin 2006: 397.)

Muita mittaustuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat kohteen valaistus, mittaustekniikka, syväterävyys, kyky konvergoida, näöntarkkuus ja käytössä oleva linssivoimakkuus (Benjamin 2006: 130, 396). Testauksessa johdonmukainen tutkimustapa on tärkeää, sillä akkommodaatiota helpottavat, ja näin ollen tuloksia parantavat testimerkin suurempi koko, tutkimusetäisyyden lyheneminen ja heikompi linssivoimakkuus (Goss 1995: 137). Tehdyissä tutkimuksissa on myös havaittu, että jotkut voivat kontrolloida akkommodaatiotaan tutkimuksen aikana. Näin ollen akkommodaatiolaajuutta mitatessa tutkittavan kannustaminen voi johtaa parempiin tuloksiin. (Rabbetts 2007: 143.)

3.1.2 "Push-up"- ja "push-away"-menetelmät

"Push-up"-menetelmä on yleisin tapa mitata akkommodaatiolaajuutta. Kun kaukorefraktio on korjattu, asetetaan Snellenin testitaulu 40 senttimetrin etäisyydelle tutkittavan silmästä ja ohjeistetaan tutkittavaa katsomaan hieman parhaan näöntarkkuuden kynnyksarvoa suurempaa optotyypiriviä. Valaistuksena käytetään 40 watin hehkulamppua, koska liian voimakas valaistus lisää syväterävyyden vaikutusta joillakin henkilöillä johtuen virheelliseen tulokseen. On huolehdittava, että testikortin valaistus pysyy muuttumattomana korttia siirrettäessä. (Grosvenor 2007: 233.)

Tutkija siirtää testikorttia hitaasti kohti tutkittavan silmää, ja tutkittavaa kehoitetaan ilmoittamaan heti, kun kirjaimet alkavat muuttua epätarkkarajaisiksi ja pysyvät epätarkkoina. Akkommodaatiolaajuus mitataan kohdasta, jossa teksti ensimmäisen kerran pysyy epäterävänä. Etäisyys sarveiskalvosta tai korjaavan linssin pinnasta testimerkkiin mitataan metreinä ja muutetaan käänteisluvuksi, jolloin saatu arvo on henkilön akkommodaatiolaajuus. (Grosvenor 2007: 233.)

Jos tutkittava ei näe kirjaimia 40 senttimetrin etäisyydeltä terävänä, voidaan korttia viedä kauemmaksi kunnes kirjaimet näkyvät tarkasti ja testi aloitetaan pidemmän etäisyyden päästä. Toinen vaihtoehto ikänäköiselle henkilölle on asettaa testikortti 40 senttimetrin etäisyydelle ja lisätä plusvoimakkuutta kunnes kirjaimet näkyvät terävinä. Lisätty voimakkuus täytyy kuitenkin vähentää dioptrioina määritetystä mittaustuloksesta, jotta saadaan tulokseksi todellinen akkommodaatiolaajuus. (Grosvenor 2007: 233.)

Mittaus voidaan suorittaa myös "push-away"-menetelmällä, jolloin lähellä silmää olevaa epätarkkana näkyvää testikorttia viedään kauemmaksi kunnes kirjaimet juuri ja juuri näkyvät terävänä. Binokulaarisesti tehtynä nämä menetelmät muuttavat samanaikaisesti sekä akkommodaatiota että konvergenssia. (Mancil ym. 2011: 20.)

Vaihtoehtona Snellenin kortin kirjaimille voidaan akkommodaatiolaajuutta mitatessa käyttää katselukohteena niin sanottua Duanen viivakuviota, jonka lähtökohtana on Alexander Duanen 1900-luvun alussa kehittämä musta hiusviiva valkoisella pohjalla. Duanen viivakuviossa voi myös olla mustat laatikot mustan pystyviivan molemmilla puolilla ja tutkittavaa pyydetään ilmoittamaan, kun keskellä oleva ohut viiva hämärtyy tai häviää näkyvistä kuviota siirrettäessä lähemmäksi silmiä. (Duane 1912: 135.)

3.1.3 Miinusmenetelmä

Testikortti asetetaan 40 senttimetrin etäisyydelle tutkittavan silmästä ja tutkittavaa pyydetään katsomaan hieman näöntarkkuuden kynnsarvoa suurempaa kirjainriviä. Kaukorefraktion päälle lisätään vähitellen miinusvoimakkuutta, kunnes tutkittava ilmoittaa kirjainten muuttuvan epätarkoiksi. Jotta saadaan tulokseksi henkilön akkommodaatiolaajuus, lisätään 2.5 dioptriaa (0,40 metrin etäisyyden käänteisluku) siihen voimakkuuteen, jolla kirjaimet muuttuvat epäteräviksi. Jos ikänäköisellä joudutaan käyttämään lähilisää, jotta testikirjaimet saadaan aluksi terävöitettyä, vähennetään käytetty plusvoimakkuus mittaustuloksesta. (Grosvenor 2007: 233.)

Miinusmenetelmän etuna on, että verkkokalvokuvan kulmakoko pysyy muuttumattomana, koska kohteen etäisyys on vakio. ”Push-up”-menetelmässä sitä vastoin verkkokalvokuvan kulmakoko kasvaa, kun silmän ja kohteen välinen etäisyys pienenee. Kun mitataan suuria akkommodaatiolaajuusarvoja (yli 5 dioptriaa), mittausmenetelmä vaikuttaa tulokseen. ”Push-up”-menetelmällä mitattu arvo on suurempi kuin miinusmenetelmällä määritetty akkommodaatiolaajuus. (Grosvenor 2007: 233.)

3.2 Akkommodaatiolaajuuden suhde ikään

Akkommodaation kehittymistä on tutkittu dynaamisen skiaskopian avulla pieniltä lapsilta. Ensimmäisen elinkuukauden ajan akkommodaatio on osoittautunut olevan suhteellisen vakio, noin 5 dioptriaa, joka käytännössä tarkoittaa sitä, että vastasyntynyt näkee terävästi noin 20 senttimetrin etäisyydelle ja muilla etäisyyksillä olevat kohteet ovat epätarkkoja. Kuitenkin seuraavan kolmen kuukauden aikana akkommodaatio alkaa vähitellen toimia kuten aikuisilla. Akkommodaatiolaajuutta on tutkittu 1–4,5-vuotiailta lapsilta hyvin vähän, koska lapsi ei yleensä jaksakaan keskittyä huolellisesti testeihin eikä välttämättä ymmärrä testien toteutusta täysin oikein. Kuitenkin dynaamisen skiaskopian ja lapsille tarkoitettujen pelimäisten testien avulla on saatu arvioita akkommodaatiolaajuuksista. (Benjamin 2006: 128.)

Viiden ikävuoden vaiheilla akkommodaatiolaajuus alkaa progressiivisesti pienentyä noin 0.30 dioptriaa vuodessa aina 52 ikävuoteen asti. Kymmenvuotiaan akkommodaatiolaajuus on keskimäärin 13.5 dioptriaa, kun taas 52-vuotiaalla akkommodaatiolaajuutta ei teoriassa ole ollenkaan. Käytännössä jäljelle on jäänyt noin yhden dioptrian näennäinen jäännösakkommodaatio, joka aiheutuu syväterävyyden vaikutuksesta. Akkom-

modaatiolaajuus muuttuu niin odotuksenmukaisesti ja ennustettavasti iän myötä, että iän perusteella voidaan arvioida jäljellä olevaa akkommodaation määrää. Kun akkommodaation vaivaton käyttölaajuus yleensä noin 40–45-vuotiaana alittaa 2.5 dioptriaa, muuttuu lähityöskentely lukuetaisyydelle työlääksi. Lukemiseen tarvitaan lähilissä eli enemmän plusvoimakkuutta kaukorefraktioon nähden. Ohjeelliset lähilissän määrät ovat 45-vuotiailla 1.00 dioptriaa, 50-vuotiailla 2.00 dioptriaa ja 55 ikävuoden jälkeen 2.50 dioptriaa. Lähilissän suuruudessa esiintyy kuitenkin eroja riippuen muun muassa siitä, mille etäisyyksille tarvitsee nähdä tarkasti. Kun akkommodaatiolaajuus heikkenee niin pieneksi, että tarkkaan lähityöskentelyyn tarvitaan lähilissä, kyseessä on ikänäkö eli presbyopia. (Benjamin 2006: 129.)

Taulukko 1. Vertailu Dondersin, Duanen ja Hofstetterin määrittelemistä akkommodaatiolaajuuksista eri ikäryhmissä dioptrioina ilmoitettuna (Mancil ym. 2011: 15).

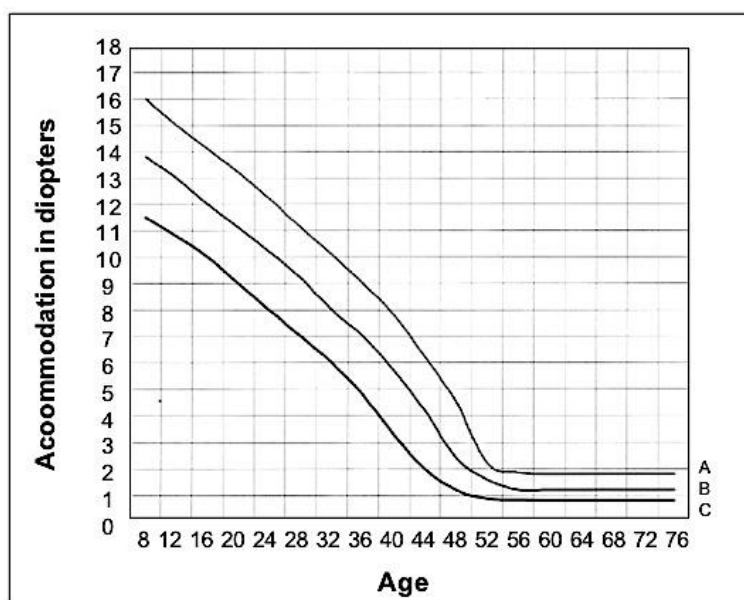
Age (Years)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Donders	14	12	10	8.5	7.0	5.5	4.5	3.5	2.5	1.75	1.00	0.50	.025
Duane (mean)	13.4	12.6	11.5	10.2	8.0	7.3	5.9	3.7	2.0	1.3	1.1	1.1	---
Hofstetter (probable)	15.5	14	12.5	11	9.5	8	6.5	5	3.5	2	0.5	0.5	---

Yllä olevassa taulukossa (taulukko 1) on kolmen eri tutkijan (Dondersin vuonna 1864, Duanen vuonna 1912 ja Hofstetterin vuonna 1947) määrittämät keskiarvoiset akkommodaatiolaajuudet 10–70-vuotiaille ihmisille (Mancil ym. 2011: 15). Nämä arvot antavat suuntaa lähilissän määrittämistä varten, mutta ovat vain viitteellisiä. On huomioitava, että akkommodaatiolaajuudessa esiintyy yksilöllisiä eroja. (Mancil ym. 2011: 20.)

3.2.1 Duanen tutkimus

Alexander Duane on julkaissut vuonna 1912 tutkimuksen, jossa kuvataan yli 4200 silmästä mitatut akkommodaatiolaajuusarvot ja eritellään kustakin ikäryhmästä minimi-, maksimi- ja keskiarvot. Näiden normiarvojen perusteella on piirretty kuvaaja, joka havainnollistaa iän myötä tapahtuvaa muutosta akkommodaatiolaajuuden määrässä (kuvio 5). Tutkimus on hyvin pitkälti samantyyppinen kuin F. C. Dondersin puoli vuosisataa aiemmin tekemä tutkimus, mutta tutkimustarkkuus ja -olosuhteet ovat merkittävästi paremmat. Myös koehenkilöiden määrä on huomattavasti suurempi kuin Dondersin

tutkimuksessa. (Duane 1922: 132.) Tutkimukseen osallistuneet koehenkilöt ovat iältään 8–70-vuotiaita. Kaikkien tutkittavien kaukorefraktio on korjattu ennen mittausten tekemistä ja ikänäköisillä henkilöillä on käytetty lähilisää, jotta tarkkana näkyvä alue on saatu riittävän lähelle. (Hamasaki – Ong – Marg 1956.) Refraktio on määritetty kaikilta alle 47-vuotialta ja joiltakin sitä vanhemmilta käyttämällä silmän akkommodaation lamaannuttavia sykloplegisia lääketippoja, jotta akkommodaation vaikutus refraktioon on saatu poistettua (Duane 1922: 134). Refraktio on tarkastettu käyttämällä +3.0 dioptrian lähilisää, jonka kanssa on mitattu kaukopiste eli pisin etäisyys, joka näkyy terävänä lähilisen kanssa. Jos kaukopiste on 33 senttimetrissä, voidaan olla varmoja, että kaukorefraktio on määritetty oikein. (Duane 1922: 151.)



Kuvio 5. Duanen tutkimukseen perustuvien monokulaaristen mittaustulosten perusteella on määritetty minimi- (C), maksimi- (A) ja keskiarvoisten (B) akkommodaatiolaajuuksien muuttuminen iän mukaan (Werner ym. 2000: 504).

Tutkiakseen akkommodaatiolaajuuksia Duane on kehittänyt valkoisen testitaulun, jonka keskellä on ohut musta pystyviiva. Kohdetaulua tuodaan melko hitaasti lähemmäksi tutkittavan silmää, ja mittaustulos otetaan kohdasta, jossa musta hiusviiva kahdentuu tai muuttuu epätarkaksi. Mitattava etäisyys on 14 millimetriä sarveiskalvon etupinnasta testitauluun. Tuloksen ottamiseen Duane on käyttänyt mittanauhaa, jossa on senttimetriasteikko ja kutakin etäisyyttä vastaavat dioptria-arvot. (Duane 1922: 135.) Mittaukset on otettu ensin oikeasta silmästä, sitten vasemmasta silmästä ja lopuksi vielä binokulaarisesti molemmista silmistä. Kaikki mittaukset on tehty kolme kertaa peräkkäin, ja suurin arvo on kirjattu muistiin. (Duane 1922: 136–137.)

Binokulaarinen akkommodaatiolaajuusarvo on mitattu samalla periaatteella kuin monokulaariset arvot, käyttäen refraktion täysikorjausta ja mahdollista lähilisävoimakkuutta aikuisnäköisillä. Pupillin halkaisija on mitattu, kun silmät konvergoivat 25 senttimetriin ja 10 senttimetriin. Tämän perusteella on pyritty päättämään, onko binokulaarinen akkommodaatiolaajuus todellisuudessa suurempi kuin monokulaarinen akkommodaatiolaajuus, vai johtuuko suurempi arvo pupillin pienenemisen seurauksena tulevasta kohteen terävöitymisestä. Tutkimuksessa on merkitty ylös myös konvergenssin lähipiste sekä mahdolliset silmien suuret asentovirheet lähietäisyydelle, erityisesti exoforia eli silmien ulospäin kääntyminen fiksoitavaan kohteeseen nähden. (Duane 1922: 138–141.)

Binokulaariset akkommodaatiolaajuudet osoittautuivat pääsääntöisesti olevan noin 0.5 dioptriaa suurempia kuin monokulaariset akkommodaatiolaajuusarvot. Nuorilla binokulaarisen ja monokulaaristen akkommodaatiolaajuuksien välinen ero on suurempi kuin vanhemmilla koehenkilöillä. Binokulaarinen akkommodaatiolaajuus on 10–17-vuotiailla keskimäärin 0.6–0.7 dioptriaa suurempi kuin monokulaariset akkommodaatiolaajuudet. Ero binokulaarisen ja monokulaaristen akkommodaatiolaajuuksien välillä on noin 0.5 dioptriaa 18–31-vuotiailla. Ero on noin 0.4 dioptriaa 31–53-vuotiailla ja yli 53-vuotiailla binokulaarinen akkommodaatiolaajuus on noin 0.3 dioptriaa suurempi kuin monokulaarinen akkommodaatiolaajuus. (Duane 1922: 142–143.)

Yksittäisissä ja hyvin harvinaisissa tapauksissa ero monokulaaristen ja binokulaarisen mittaustuloksen välillä on ollut huomattavan suuri (suurempi kuin 1.5 dioptriaa) tai eroa ei ole ollut lainkaan. Tutkimusjoukko on kuitenkin ollut niin suuri, että binokulaarisen akkommodaatiolaajuuden voidaan olettaa olevan noin 0.5 dioptriaa suurempi kuin monokulaarinen akkommodaatiolaajuus. Eron uskotaan johtuvan konvergenssin ja pupillimioosin vaikutuksesta. (Duane 1922: 142–143.)

Duanen tutkimus vahvistaa jo aiemmin tehtyjä havaintoja siitä, että akkommodaatiolaajuudessa ei esiinny sukupuolesta riippuvaisia eroavaisuuksia, vaan iänmukainen akkommodaatiolaajuus on keskimäärin yhtä suuri miehillä ja naisilla. Siksi tutkittavan sukupuolta ei ole välttämätöntä huomioida akkommodaatiolaajuutta mitatessa. (Duane 1922: 148.)

Akkommodaatiolaajuuden tutkiminen on ollut merkityksellistä, koska tulosten perusteella on voitu määrittää iänmukaiset normaaliarvot akkommodaatiolaajuudelle. Niiden perusteella voidaan luotettavasti määrittää, milloin ja millä tavalla saatu mittaustulos poikkeaa normaalista akkommodaatiolaajuudesta. Jos monokulaariseksi akkommodaatiolaajuudeksi mitataan toistuvasti ikään sidottua minimiarvoa pienempi tulos, voidaan melko varmasti todeta, ettei akkommodaatio toimi normaalisti. (Duane 1922: 149–150.)

3.2.2 Dondersin ja Kaufmanin tutkimukset

Akkommodaatiolaajuuden muuttumista iän myötä on tutkittu jo 1800-luvun lopulla. Dondersin vuonna 1864 tekemässä tutkimuksessa oli 130 koehenkilöä, jotka olivat 10–80-vuotiaita. (Hamasaki – Ong – Marg 1956.) Akkommodaatiolaajuus oli määritetty kauimman ja lähimmän tarkkana näkyvän pisteen perusteella. Kun lähimmän pisteen käänteisluvusta vähennetään kauimmaisen pisteen käänteisluku, saadaan tulokseksi akkommodaatiolaajuus dioptriina. (Donders 1864: 28.) Jos henkilö näkee terävästi äärettömyyteen asti, on tulos suoraan lähimmän tarkkana näkyvän pisteen käänteisluku. Tutkimuksessa pisin mitattu etäisyys oli viisi metriä ja testikuviona käytettiin ohuita mustia pystyviivoja yhden senttimetrin etäisyydellä toisistaan. Jos tutkittava näki viiden metrin etäisyydellä mustat pystyviivat terävinä, tulkittiin, että hän näkee terävästi äärettömyyteen asti. (Donders 1864: 31–32.) Konvergenssin vaikutusta tulokseen ei huomioidu (Donders 1864: 35). Mittaus tehtiin 7 millimetriä sarveiskalvon takaa eikä linssipinnasta, kuten myöhemmissä tutkimuksissa on usein tehty (Charman 2007: 214).

Kaufman on tutkinut vuonna 1894 yhteensä 200 koehenkilöä, jotka olivat iältään 5–68-vuotiaita. Tutkimuksen toteuttamistavasta ei ole tarkkoja yksityiskohtia tiedossa, mutta sen oletetaan olevan tehty lähes samalla tavalla kuin Dondersin tutkimus, koska Kaufman pyrki hyvin pitkälle jäljittelemään Dondersin tutkimusta. Toisin kuin Dondersin tutkimuksessa, Kaufman on käyttänyt koehenkilöiden valinnassa tiettyjä kriteerejä koskien vaadittavaa näöntarkkuutta ja sallittavan taittovirheen määrää. Koehenkilöillä ei saanut olla myöskään patologisia tiloja. Dondersin ja Kaufmanin tutkimuksen tulokset osoittautuvat pääsääntöisesti olevan yhteneväisiä. (Hamasaki – Ong – Marg 1956.)

3.2.3 Hofstetterin kaava

Optometrian alalla maailmanlaajuisesti tunnettu professori Henry W. Hofstetter on määritellyt laskukaavan, jonka perusteella voidaan laskea akkommodaatiolaajuuden iän mukaiset normaaliarvot. Kaava perustuu Dondersin (1864), Kaufmanin (1894) ja Duanen (1912) tutkimuksissa mitattuihin monokulaarisiin akkommodaatiolaajuuden arvoihin eri ikäisillä henkilöillä. Mittaustulosten perusteella Hofstetter on laatinut akkommodaatiolaajuuden minimi-, maksimi- ja keskiarvoille ikäsidonnaiset laskentakaavat: $15.0 D - 0.25 D \times \text{ikä vuosina} = \text{minimi}$

$$18.5 D - 0.30 D \times \text{ikä vuosina} = \text{keskiarvo}$$

$$25.0 D - 0.40 D \times \text{ikä vuosina} = \text{maksimi. (Benjamin 2006: 396; Sterner – Gellerstedt – Sjöström 2004.)}$$

Vaikka kaavat on laadittu jo vuonna 1950, niitä pidetään edelleen normaaliarvoina (Benjamin 2006: 396). Tutkijan on hyvä tietää ikäluokkien keskimääräiset akkommodaatiolaajuudet, jotta hän huomaisi poikkeavat akkommodaatiolaajuusarvot. Jotkin sairaudet, lääkkeet ja huumeaineet vaikuttavat akkommodaatiolaajuuteen. (Benjamin 1998: 96–97.)

3.3 Taittovirheen vaikutus akkommodaatiolaajuuteen

Taittovirheellä on todettu olevan vaikutusta akkommodaatiolaajuuden suuruuteen. Muun muassa yksi tutkimus on teetetty 80 koehenkilöllä, joiden ikäjakauma oli 18–22 vuotta. Koehenkilöt jaettiin taittovirheen perusteella neljään ryhmään. Myoopeista muodostettiin kaksi ryhmää myopian puhkeamisajankohdan perusteella, koska ympäristötekijöiden oletetaan vaikuttavan myöhemmällä iällä alkavaan myopiaan. Toisessa ryhmässä myopia oli alkanut 14 ikävuoden jälkeen ja toisessa 13-vuotiaana tai sitä aikaisemmin. Hyperoopit ja emmetroopit muodostivat omat ryhmänsä. Tutkittavan näöntarkkuus on ollut vähintään 1.0 molemmissa silmissä ja anisometroppeja tai amblyoppeja henkilöitä ei ole ollut tutkimuksessa mukana. Akkommodaatiolaajuuden mittaamiseen on käytetty ”push-up”-menetelmää ja tulokseksi on valittu kolmen mittauksen keskiarvo. Kaikkien tutkittavien kaukorefraktion mukaiset voimakkuudet on asetettu koekehukseen ja pintavälin on varmistettu olevan 15 millimetriä ennen akkommodaatiolaajuuksien mittaamista. (McBrien – Millodot 1986.)

Tulokset osoittavat, että myoopeilla on suurempi akkommodaatiolaaajuus kuin emmetroopeilla ja hyperoopeilla. Kuitenkaan taittovirheen määrän ja akkommodaatiolaaajuuden välinen suhde ei ole lineaarinen, vaan suurin akkommodaatiolaaajuus on miedoilla myopian voimakkuuksilla taittovirheen ollessa pienempi kuin kolme dioptriaa. Koehenkilöillä, joilla myopia on puhjennut myöhemmällä iällä, osoittautuu olevan suurin akkommodaatiolaaajuus (keskiarvo 10.77 dioptriaa). Aikaisemmin puhjenneiden myopioiden tapauksissa akkommodaatiolaaajuus on toiseksi suurin (keskimäärin 9.87 dioptriaa). Toiseksi pienimmät arvot on mitattu emmetroopeilta (keskimäärin 9.28 dioptriaa) ja pienimmät hyperoopeilta (keskimäärin 8.63 dioptriaa). Erot akkommodaatiolaaajuuksissa eri taittovirheryhmien välillä ovat olleet tilastollisesti merkitseviä. (McBrien – Millodot 1986.)

4 Lähityön vaikutukset näkemiseen ja akkommodaatioon

4.1 Lähityö

Perinteinen toimistotyö on muuttunut lähipainotteiseksi näyttöpäätetyöksi. Ennen työpöydällä oli kirjoituskone, kirjoitusvälineet ja puhelin. Nykyään näyttöpäätetyöntekijällä saattaa kulua useita tunteja tauotta näytön ja näppäimistön ääressä istuessa. Pitkäkestoinen lähelle katsominen on erityisen kuormittavaa silmien lihaksille ja näköjärjestelmälle aiheuttaen useimmiten silmien väsymistä, päänsärkyä ja näön epätarkkuutta. (Vuorenmaa 2010: 5, 12.)

Tietokoneen ääressä työskentely on erityisen vaativaa myös akkommodaatiomekanismille. Heikentynyt akkommodaatiomekanismin toiminta aiheuttaa yleensä ajoittaista lähikohteiden hämärtymistä ja kaukana olevien kohteiden epätarkkaa näkemistä lähityön jälkeen. Lähikohteiden ajoittainen hämärtyminen johtuu siitä, että akkommodaatiomekanismi ei kykene säilyttämään lähikohteen tarkkaan näkemiseen vaadittavaa akkommodaatiotasoa pitkäkestoinen lähityön aikana. Kaukana olevien kohteiden epätarkkuus aiheutuu, kun lähityön jälkeen sädelihaks ikään kuin lukittuu lähikatseluasentoon ja silmä muuttuu hetkellisesti myooppiseksi. Jos sädelihaks toimii normaalisti, kaukana olevien kohteiden pitäisi tarkentua alle puolessa sekunnissa lähityön jälkeen. Joskus kaukokohteiden epätarkkuus voi kestää jopa useita tunteja pitkäaikaisen lähityön jälkeen. Muita lähityön aiheuttamia ongelmia ovat silmä- ja päänsärky sekä astenooppiset oireet. Monilla lähityöntekijöillä on todettu olevan ikään nähden normaalia heikompi akkommodaatiolaajuus. Akkommodaatiolaajuuden on huomattu olevan sitä heikompi, mitä pitkäkestoisempaa ja intensiivisempää lähityö on. Toinen lähityöntekijöillä yleisesti esiintyvä akkommodaation häiriö on akkommodaatiojouston heikkous. (Sheedy – Shaw-McMinn 2003: 61–65.)

Monet tutkimukset ovat osoittaneet, että pitkäaikainen lähityön tekeminen saattaa johtaa myopian kehittymiseen. Ei ole kuitenkaan pystytty todistamaan, että tietokoneella työskentely vaikuttaisi muita lähityön muotoja enemmän myopian kehittymiseen. Varhaisella aikuisiällä, 20–30-vuotiaana, alkavan myopian taustalla on usein vaativa lähityö tai tietokoneen pitkäkestoinen päivittäinen käyttö. (Sheedy – Shaw-McMinn 2003: 48–52.)

4.2 Näönrasitusoireet

Näkemiseen ja silmiin liittyvät ongelmat ovat hyvin yleisiä työskenneltäessä tietokoneen ääressä. Näyttöpäätetyöhön liittyviä silmien ja näkemisen ongelmia kutsutaan näönrasitus- eli CVS-oireiksi ("Computer Vision Syndrome"). Niitä esiintyy eri tutkimusten mukaan 25–93 prosentilla tietokoneen käyttäjistä. (Sheedy – Shaw-McMinn 2003: 1.) Silmiin liittyviä oireita ovat muun muassa kuivat, vuotavat, ärtyneet tai polttavan tuntuiset silmät. Näkemiseen liittyvät ongelmat havaitaan silmien väsymisenä, silmäsärkynä, päänsärkynä, sumentuneena näkönä ja kahtena näkemisenä. Päätetyöskentelyssä usein silmien räpyttely vähenee, jolloin kyynel neste haihtuu nopeammin aiheuttaen silmien kuivumista. Silmien väsyminen voi johtua taittovirheestä, karsastuksesta, iästä tai akkommodaation vajaatoiminnasta. (Vuorenmaa 2012: 11–12.)

Tietokoneen ääressä työskentely on näkemisen kannalta muuta lähityötä vaativampaa. Yksilölliset näköongelmat ja puutteet näköergonomiassa aiheuttavat CVS-oireita. Oireita ilmenee, kun työtehtävän näkövaatimukset ylittävät yksilöllisen näkökyvyn tason. Mitä intensiivisempi työ on, sitä voimakkaampia oireita se aiheuttaa. Muun muassa korjaamattomasta silmän taittovirheestä, akkommodaatiohäiriöstä tai binokulaarisen näkemisen häiriöstä johtuvat oireet saattavat ilmetä näyttöpäätteellä työskennellessä, vaikka ongelmia ei olisi muiden lähityömuotojen kohdalla. (Sheedy – Shaw-McMinn 2003: 2–3.)

5 Presbyopia (ikäntyvä silmä)

Presbyopiassa eli ikänäössä akkommodaatio ei toimi enää yhtä tehokkaasti kuin aiemmin, minkä seurauksena lähelle näkeminen vaikeutuu. Ikäntyvässä silmässä mykiön elastisuus vähenee ja myös sädelihaksen toiminnan heikkeneminen voi olla osasyynä presbyopian kehittymiselle. (Forrester ym. 1999: 30.) Presbyopia on luonnollinen ja yleisin myöhemmän iän refraktiivinen häiriö (Werner ym. 2000: 507).

Presbyopian ensimmäisiä oireita ovat sumentunut lähinäkö ja lisääntynyt valontarve lähelle. Pientä tekstiä on vaikea lukea ja rivit sulautuvat yhteen lukiessa tai näkyvät kahtena. Lukeminen on väsyttävää ja työn tehokkuus kärsii, kun lukunopeus hidastuu. Presbyopia saattaa aiheuttaa myös astenooppisia oireita sekä epämukavuuden tunnetta silmissä ja katselemisessa. Kun tekstiä viedään kauemmas, kuva tarkentuu ja lukeminen helpottuu. (Benjamin 1998: 109; Saari – Korja 2011: 309.)

Vaikka edenneessä presbyopiassa akkommodaatiokyky on lähes olematonta, akkommodaation hermotus pysyy kuitenkin entisellään. Presbyopit pystyvät käyttämään akkommodatiivista konvergenssia ilman, että akkommodaatio lisääntyy akkommodatiivisen konvergenssin ja akkommodaation suhteesta johtuen. Akkommodatiivista konvergenssia voidaan siis käyttää tarvittava määrä fiksaation ylläpitämiseen ilman, että refleksiivistä akkommodaatiota esiintyy. (Grosvenor 2007: 270–271.)

Syväterävyyden on havaittu kasvavan iän myötä, joten presbyopiassa iän myötä syväterävyyden merkitys kasvaa, kun akkommodaation määrä vähenee. Syväterävyys kasvaa noin 0.40 dioptriasta noin 0.90 dioptriaan ikävuosien lisääntyessä noin 20-vuotiaasta noin 50-vuotiaaseen. Pupillin koon pieneneminen selittää syväterävyyden kasvua, mutta ei ole ainoa ja yksiselitteinen syy syväterävyyden kasvulle. Oletetaan myös, että iän lisääntyessä sopeutumisen ansiosta ihmisen näköjärjestelmä sietää enemmän kuvan epätarkkuutta. (Benjamin 1998: 113.)

5.1 Presbyopian ilmeneminen

Pitkäkestoisessa lähityöskentelyssä näkeminen on vaivatonta, kun akkommodaation määrä on puolesta kahteen kolmasosaan maksimaalisesta akkommodaatiokyvystä. Heikentyneen akkommodaation johdosta lähin tarkasti nähtävä piste eli lähipiste siirtyy

kauemmaksi, jolloin lukuetaisyys kasvaa. Kun lukuetaisyys siirtyy normaalia kauemmaksi, lukeminen ja lähelle näkeminen on vaikeaa tai mahdotonta. Usein lähityö vaikeutuu siinä vaiheessa, kun akkommodaatiolaaajuus on alle 5 dioptriaa. Presbyopian oireet helpottuvat, kun lähelle katsomista varten silmän taittovoimaa lisätään plusvoimakkuuden avulla. (Grosvenor 2007: 19; Saari – Korja 2011: 309.)

Presbyopiaoireet alkavat tavallisesti noin 40 ja 45 ikävuoden välissä (Grosvenor 2007: 254). Kun presbyopia on alkanut, se etenee asteittain noin reilun 10 vuoden ajan, kunnes vakiintuu tietylle tasolle (Grosvenor 2007: 19). Vaikka presbyopian alkamisajankohta voi vaihdella, on todettu, että pääasiallisesti kaikilla noin 52-vuotiailla on presbyopia (Benjamin 1998: 109).

Kliinisen kokemuksen mukaan hyperoopit tarvitsevat presbyopian oireiden helpottamiseksi lähilaseja aiemmin kuin emmetroopit. Myooppit pärjäävät yleensä ilman lähilaseja kauemmin kuin emmetroopit ja hyperoopit. (Grosvenor 2007: 406.) Presbyopia ilmaantuu hyperoopeille muutaman vuoden aikaisemmin kuin myyopeille tai emmetroopeille, koska akkommodaatiolaaajuus on jo lähtökohdiltaan hieman heikompaa hyperoopeilla verrattuna emmetrooppeihin ja myoopppeihin. Näin ollen hyperoopeilla presbyopian myötä heikentyvä akkommodaatiolaaajuus alkaa häiritä ja vaikeuttaa lähityöskentelyä aikaisemmin. (Benjamin 1998:109.)

Monilla emmetroopeilla ja lievän hyperopian omaavilla henkilöillä hyperopian määrä lisääntyy, kun lähilaseja ovat olleet käytössä usean kuukauden ajan. Lähilaseiden käyttö saattaa siis aiheuttaa sen, että lopulta myös kauas katselemiseen tarvitaan taittovirheen korjausta pluslinssein. (Grosvenor 2007: 20.) Tällöin aikaisemmasta latentista eli piilevästä hyperopiasta, joka on näyttänyt alkavalta presbyopialta, on ajan myötä tullut ilmeistä eli manifestia hyperopiaa (Grosvenor 2007: 254).

5.2 Presbyopian mekanismin teorit

Presbyopian perimmäisestä aiheuttajasta ei ole selvyttä, vaikka tutkimuksia aiheeseen liittyen on tehty paljon (Werner ym. 2000: 507). Biomekaaniset, biokemialliset sekä fysiologiset tekijät vaikuttavat iän myötä tapahtuvaan akkommodaation väheneeseen ja presbyopian ilmaantumiseen. Kolme eri tekijää on voivat selittää presbyopian ilmaantumista. Mykiön kapselin elastisuus vähenee, mykiön pääaineksen elastisuus

vähenee sekä mykiön koko kasvaa. Näin presbyopiassa mykiön akkommodaatiotoiminta heikkenee. (Benjamin 1998: 109.)

Presbyopian mekanismeista kuvaamaan on muodostunut kaksi pääteoriaa. Ne ovat Helmholtz-Hess-Gullstrandin -teoria ja Donders-Duane-Finchamin -teoria. Helmholtz-Hess-Gullstrandin -teoria perustuu mykiössä tapahtuviin muutoksiin ja Donders-Duane-Finchamin -teoria perustuu silmän sädelihaksessa tapahtuviin muutoksiin. Helmholtz-Hess-Gullstrandin -teorian mukaan akkommodaatiokyvyn heikkeneminen johtuu biomekaanisista muutoksista mykiössä ja mykiön kapselissa. Teorian mukaan, silmän sädelihaksen supistumisvoima ei heikkene ikääntymisen myötä. Donders-Duane-Finchamin -teorian mukaan akkommodaatiolaajuuden pieneneminen iän myötä johtuu sädelihaksen toiminnassa tapahtuvista muutoksista. Teorian mukaan, mykiö ja sen kapseli eivät vaikuta akkommodaatiokyvyn heikkenemiseen. Donders-Duane-Finchamin -teorian mukaan mykiön taittovoiman muutokseen tarvitaan iän myötä aikaisempaa enemmän supistumisvoimaa, jota sädelihaksen ei jaksa enää ikääntymisen myötä tuottaa tarpeeksi. Heikentyneen sädelihaksen supistusvoiman vuoksi mykiön taittovoiman lisääminen ei ole enää mahdollista. (Benjamin 1998: 114–115.) Yleisimmin ja laajimmin hyväksytty teoria akkommodaation mekanismeista presbyopiassa on Helmholtz-Hess-Gullstrandin -teoria (Werner ym. 2000: 509).

Akkommodaation muutokset presbyopiassa voidaan jakaa myös kolmeen eri ryhmään. Ensimmäinen on mykiöön ja kapseliin pohjautuva lentikulaarinen teoria, joka perustuu sekä linssin että kapselin elastisuuden alenemiseen. Toinen ryhmä on ekstralentikulaarinen teoria, joka perustuu sädelihaksen ja suonikalvoston muutoksiin. Kolmas ryhmä on geometrinen teoria, johon kuuluu ripustinsäikeiden kiinnikekohtien geometriset muutokset samalla, kun mykiön koko kasvaa. (Werner ym. 2000: 507.)

Presbyopiasta ja akkommodaatiosta voidaan siis tehdä päätelmät, että silmä ikääntyy niin rakenteellisesti kuin toiminnallisesti fysiologisen ikääntymisprosessin mukana. Presbyopiaa pidetään peruuttamattomana optisena häiriönä. Ristiriitaisuuksia eri teorioiden välillä ei ole saatu ratkaistua, mutta mykiö ja siinä tapahtuvat muutokset näyttävät olevan tärkeimpiä tekijöitä presbyopiaa ja sen syitä määriteltäessä. (Werner ym. 2000: 508–509.) Nykyisin yleisimmin ajatellaan, että presbyopian ilmaantuminen johtuu mykiön elastisuuden vähenemisestä, mutta sädelihaksen toiminnan heikkeneminen voi myös olla toissijaisena tekijänä (Grosvenor 2007: 406).

6 Tutkimuksen tausta, tarkoitus ja tavoitteet

Opinnäytetyön taustalla vaikuttavat yli sata vuotta sitten tehdyt tutkimukset, joiden tuloksia pidetään yhä paikkansapitävinä ja niitä hyödynnetään optikon työssä. Alexander Duane on julkaissut vuonna 1912 tutkimuksen, jossa hän esitteli 4200 monokulaarisesti mitatun akkommodaatiolaajuuden perusteella määritetyt iänmukaiset minimi-, maksimi- ja keskiarvot (Duane 1922: 132). Jo ennen Duanen tutkimusta Donders (1864) ja Kaufman (1894) tekivät vastaavanlaisia tutkimuksia. Kuitenkin Duanen tutkimustapa oli huomattavasti täsmällisempi ja tarkempi. Akkommodaatiolaajuuden normaalia toimintaa arvioitaessa käytetään edelleen normiarvojen laskentakaavoja, jotka Hofstetter määritteli vuonna 1950 hyödyntäen Duanen, Dondersin ja Kaufmanin tutkimusten tuloksia. (Sternen – Gellerstedt – Sjöström 2004.)

Ihmisten elintavat ovat muuttuneet ja lähityö on lisääntynyt merkittävästi viimeksi kuluneiden 50 vuoden aikana, sen jälkeen, kun Hofstetter määritteli iänmukaisille normiarvoille laskentakaavat. Pitkäkestoinen lähityö kuormittaa paljon näköjärjestelmää ja saattaa heikentää akkommodaation toimintaa (Sheedy – Shaw-McMinn 2003: 61). Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, ovatko Duanen noin sata vuotta sitten määrittämät normaaliarvot edelleen pitäviä. Tutkimuksen perusoletuksena on, että akkommodaatiolaajuus on nykyisin heikompi kuin Duanen tutkimuksen aikana, johon syynä voisi olla jatkuvasti lisääntynyt lähityön määrä. Tutkimus tehdään mittaamalla akkommodaatiolaajuuksia eri ikäisiltä koehenkilöiltä ja vertaamalla saatuja arvoja Duanen määrittämiin normiarvoihin.

Tutkimusongelma on kolmivaiheinen. Ensin pyritään kartoittamaan, ovatko Duanen tutkimuksen arvot edelleen pitäviä. Tutkimuksen iänmukaisia mitattuja akkommodaatiolaajuusarvojen keskiarvoja verrataan Duanen määrittämiin keskiarvoihin. Toiseksi havainnoidaan, ovatko mitatut akkommodaatiolaajuudet pienempiä kuin Duanen määrittämät arvot. Kolmanneksi tutkimuksessa tarkastellaan mittauspisteiden hajontaa ja selvitetään, miten mitatut akkommodaatiolaajuusarvot sijoittuvat Duanen määrittämiin minimi-, maksimi- ja keskiarvoihin nähden.

Tavoitteena oli tutkia 200 koehenkilöä, jolloin saataisiin 400 monokulaarisesti mitattua akkommodaatiolaajuutta. Koehenkilöt valittiin satunnaisesti, sillä oletettavasti nykyään jokainen henkilö tekee päivittäin jonkinlaista lähityötä työn, opiskelun tai harrastusten parissa. Tutkittaviksi valittiin 8–70-vuotiaita henkilöitä, jolloin ikäjakauma on sama kuin

Duanen tutkimuksessa. Mittaukset pyrittiin toteuttamaan mukailleen Duanen tutkimustapaan, jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia.

7 Tutkimuksen toteuttaminen

7.1 Aineiston kerääminen

Akkommodaatiolaajuusarvojen mittaaminen aloitettiin keväällä 2012 harjoittelujakson yhteydessä. Jotta tutkimukseen saataisiin mahdollisimman kattava otanta, optometristiopiskelijaryhmä SO10K1 osallistui mittausten tekemiseen. Ryhmä ohjeistettiin akkommodaatiolaajuusmittausten tekemiseen ennen kevään 2012 harjoittelujaksoa. Suullisen ohjeistuksen lisäksi jokaiselle ryhmäläiselle jaettiin tarvittava määrä (10 kpl) akkommodaatiolaajuuden mittauslomakkeita sekä kirjalliset ohjeet akkommodaatiolaajuuden mittaamisesta. Ohjeiden antamisella pyrittiin yhtenäistämään mittaustavat ja kertomaan huomioitavista seikoista tutkimusta varten tehtävistä akkommodaatiolaajuusmittauksista. Ohjeet ja mittauslomake ovat liitteinä (liitteet 1 ja 2). Lisäksi kaikille mittaajille jaettiin lähitestitaulu, joka sisälsi mittauksissa käytetyn Duanen viivakuvion. Optifin Oy lahjoitti lähitestitaulut tutkimuksen tekemistä varten. Kevään harjoittelujakson lisäksi akkommodaatiolaajuuksia mitattiin kesän ja syksyn 2012 aikana optikkoliikkeissä työskentelyn yhteydessä. Mittauksia tehtiin mahdollisuuksien mukaan myös koulun Positia -optikkomyymälässä ja näöntutkimusharjoitusten yhteydessä.

Tutkittavilta henkilöiltä pyydettiin lupa akkommodaatiolaajuuden mittaamiseen ja tulosten käyttämiseen opinnäytetyössä. Tutkimusluvan varmistamiseksi tutkittavilta pyydettiin allekirjoitus akkommodaatiolaajuuden mittauslomakkeeseen. Mikäli tutkittava oli alle 18-vuotias, pyydettiin lomakkeeseen huoltajan allekirjoitus. Allekirjoituksen yhteydessä myös paikka ja päivämäärä kirjattiin lomakkeeseen. Tutkimuslomakkeeseen kirjattavia tietoja olivat tutkittavan nimi, syntymäaika, ikä, sukupuoli, refraktio sekä monokulaariset akkommodaatiolaajuusarvot ja binokulaarinen akkommodaatiolaajuusarvo. Lisäksi mittaajan nimi kirjattiin ylös, jotta tiedettiin, kuka on mitannut akkommodaatiolaajuusarvon. Näin mahdolliset mittaustulokseen liittyvät kysymykset voitiin kohdistaa tutkijalle.

Akkommodaatiolaajuuden mittaaminen toteutettiin Duanen viivakuviota ja ”push-up”-menetelmää käyttäen. Mittaus tehtiin sekä monokulaarisesti oikeasta ja vasemmasta silmästä erikseen että binokulaarisesti molempien silmien ollessa käytössä. Akkommodaatiolaajuutta mitattaessa tutkittavan kaukorefraktio oli korjattuna. Kaukorefraktion mukaiset linssit asetettiin koekehyyksiin tutkittavan silmien eteen. Koekehyykset säädettiin tutkittavan silmäterävälän mukaisesti ja asetettiin istumaan kasvoille mahdollisim-

man hyvin. Monokulaarista mittaa otettaessa, ei-tutkittava silmä pyrittiin sumentamaan maitolasilla. Mikäli maitolasilla sumentaminen ei ollut mahdollista, käytettiin tavallista peittolinssiä. Etäisyys mitattiin koekehyksessä olevan linssin takapinnasta testitauluun puolen senttimetrin tarkkuudella. Saatu etäisyys senttimetreinä muutettiin metreiksi. Tällöin etäisyyden (metreinä) käänteisluku ilmoittaa akkommodaatiolaajuuden dioptrioina. Tulos merkittiin dioptrioina yhden desimaalin tarkkuudella. Mikäli tutkittava henkilö oli ikänäköinen ja tarvitsi lukulisää nähdäkseen testikuvion, tuli mitatusta akkommodaatiolaajuuden dioptriamäärästä poistaa käytetyn lukulisän dioptriaalinen arvo.

7.2 Aineiston kokoaminen ja analysointi

Aineiston kokoaminen tapahtui syksyllä 2012. Mittaajia oli loppujen lopuksi yhteensä 13 henkilöä. Akkommodaatiolaajuusarvot mitattiin yhteensä 120 tutkittavalta. Kuitenkin neljän tutkittavan mittaukset jouduttiin poistamaan virheiden vuoksi, joten tutkimuksessa käytettäviä mitattuja akkommodaatiolaajuusarvoja saatiin yhteensä 116 tutkittavalta. Näin ollen tutkimukseen sisältyi yhteensä 232 monokulaarista ja 116 binokulaarista akkommodaatiolaajuusarvoa.

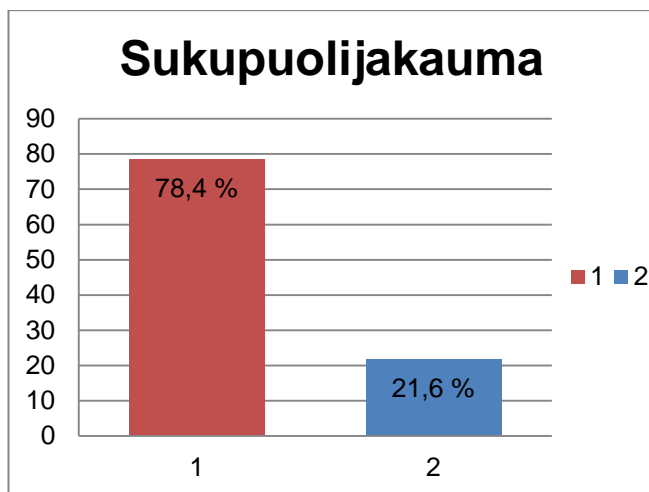
Mitatut akkommodaatiolaajuusarvot koottiin Excel-taulukkoon ja tulokset analysoitiin SPSS-tilastointiohjelmalla. Ennen saatujen arvojen syöttämistä ohjelmiin jokainen mitattu akkommodaatiolaajuusarvo tarkistettiin mahdollisien virheiden minimoimiseksi. Neljä mittausta jouduttiin poistamaan, koska niiden senttimetreinä merkitty akkommodaatiolaajuus ei vastannut dioptriaalista akkommodaatiolaajuuden määrää tai ikänäköisen tutkittavan monokulaarisista ja binokulaarisista akkommodaatiolaajuusarvoista oli poistettu erilainen lukulisän määrä, jolloin mittauksessa käytetyn lukulisän selvittäminen ei ollut mahdollista.

Tuloksia havainnollistamaan laadittiin erilliset kuvaajat oikeasta ja vasemmasta silmästä mitatuista monokulaarisista akkommodaatiolaajuusarvoista (kuvio 8 ja kuvio 9) sekä kuvaaja, jossa näkyy yhdessä molempien silmien monokulaariset akkommodaatiolaajuusarvot (kuvio 10). Lisäksi selvitettiin tutkimuksen monokulaaristen akkommodaatiolaajuusarvojen keskihajonta, jota havainnollistamaan tehtiin erillinen kuvaaja (kuvio 11). Binokulaaristen arvojen havainnollistamiseksi, laadittiin kuvaaja binokulaarisista akkommodaatiolaajuusarvoista (kuvio 12).

Tulosten analysoinnin helpottamiseksi ja tulosten tilastollisen merkitsevyyden analysointia varten tutkimusjoukon ja Duanen tutkimuksen tutkittavat jaettiin ikäryhmiin alkaen 11–15-vuotiaiden ikäryhmästä, edeten viiden vuoden välein ja päätyen 61–65-vuotiaiden ikäryhmään. Ikäryhmiltä selvitettiin keskimääräiset monokulaariset akkommodaatiolaajuusarvot, joista muodostettiin kuvaaja, jonka avulla vertailtiin tutkimuksen ja Duanen tutkimuksen keskimääräisiä monokulaarisia akkommodaatiolaajuusarvoja ikäryhmittäin (kuvio 14). Tutkimuksen kaikkien monokulaaristen akkommodaatiolaajuusarvojen ja Duanen tutkimuksen monokulaaristen arvojen vertailun helpottamiseksi muodostettiin erillinen kuvaaja (kuvio 13). Kuvaajassa yhdistettiin Duanen minimi-, maksimi- ja keskiarvot tutkimuksen kaikkiin monokulaarisiin akkommodaatiolaajuusarvoihin.

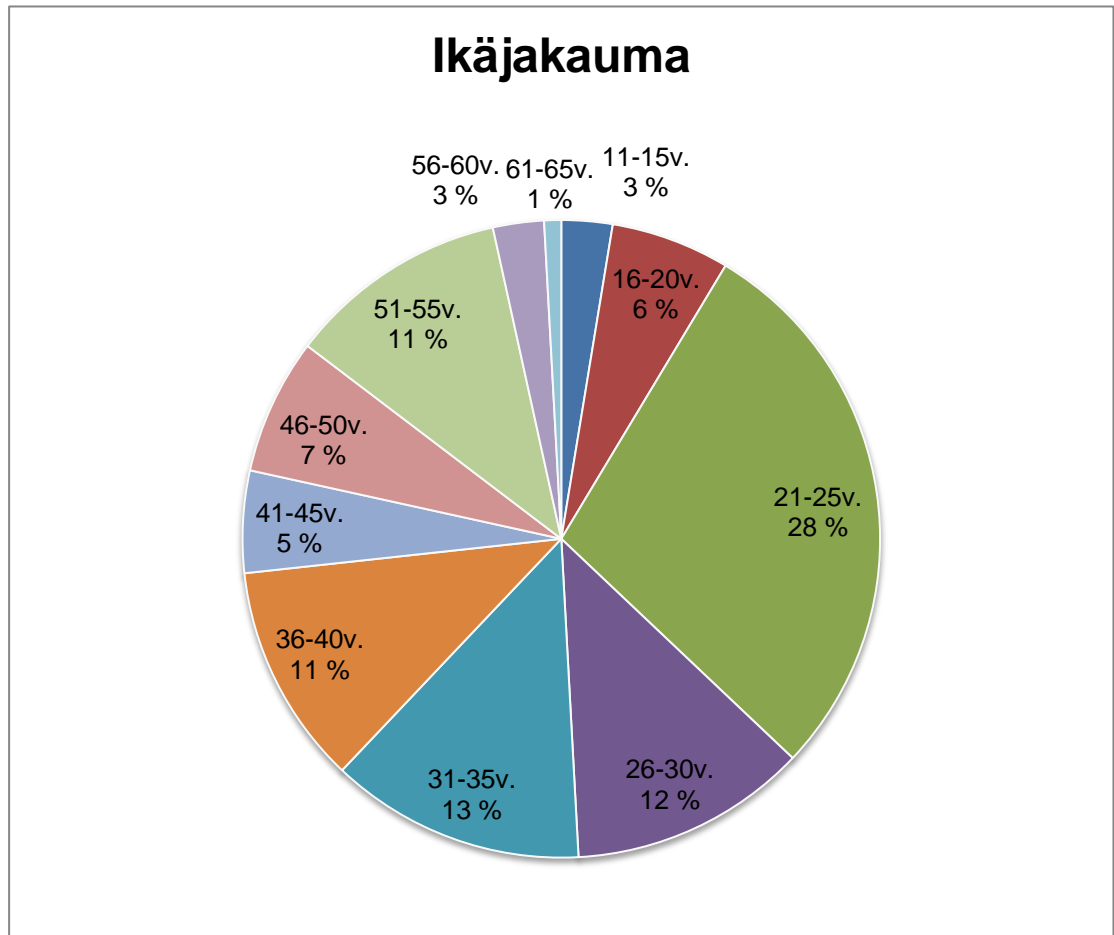
Havainnollistavien kuvaajien lisäksi tutkimusten tulosten vertaamiseen on käytetty One-Sample T-testiä, joka on suoritettu SPSS-tilastointiohjelmaa apuna käyttäen. Tulosten tilastollista merkitsevyyttä päädyttiin tarkastelemaan One-Sample T-testillä, koska Duanen akkommodaatiolaajuusarvot ovat kiinteitä keskiarvoja, joita täytyi verrata tutkimuksen kaikkiin monokulaarisiin akkommodaatiolaajuusarvoihin. T-testillä saatujen p-arvojen perusteella tutkimuksessa selvitetään, ovatko mitattujen akkommodaatiolaajuuksien ikäryhmäkohtaiset keskiarvot merkitsevästi suurempia tai pienempiä kuin Duanen tutkimuksen keskiarvot. Tilastollisen merkitsevyyden suhteen tarkasteltavia ikäryhmiä on viisi, sillä kaikissa ikäryhmissä monokulaarisesti mitattuja akkommodaatiolaajuusarvoja ei ollut riittävästi, jotta tilastollista merkitsevyyttä olisi voitu luotettavasti arvioida. Tutkimuksen vertailuikäryhmät ovat 21–25-vuotiaat, 26–30-vuotiaat, 31–35-vuotiaat, 36–40-vuotiaat ja 51–55-vuotiaat.

Opinnäytetyön tutkimusjoukko koostui 116 satunnaisesti valitusta henkilöstä, joista naisia oli 91 (78,4 %) ja miehiä 25 (21,6 %) (kuvio 6).



Kuvio 6. Tutkimusjoukon sukupuolijakauma prosentteina. Tutkimuksessa mitattujen naisten (1) osuus on 78,4 % ja miesten (2) osuus 21,6 %.

lältään tutkittavat olivat 13–61-vuotiaita. Vaikka tutkittavia henkilöitä ja mitattuja akkommodaatiolaajuusarvoja ei saatu kaikilta ikävuosilta, jaettiin tutkittavat ikäryhmiin viiden vuoden välein. Tutkittavista kolme (2,6 %) henkilöä oli 11–15-vuotiaiden ikäryhmässä, seitsemän (6,0 %) 16–20-vuotiaiden ikäryhmässä ja 33 (28,4 %) 21–25-vuotiaiden ikäryhmässä. Tutkimusjoukosta 14 henkilöä (12,1 %) kuului 26–30-vuotiaiden ikäryhmään ja 15 (12,9 %) 31–35-vuotiaiden ikäryhmään. Tutkittavista 13 henkilöä (11,2 %) kuului 36–40-vuotiaiden ikäryhmään, kuusi (5,2 %) 41–45-vuotiaiden ikäryhmään ja kahdeksan (6,9 %) 46–50-vuotiaiden ikäryhmään. Yli 50-vuotiaista tutkittavista 13 henkilöä (11,2 %) kuului 51–55-vuotiaiden ikäryhmään, kolme (2,6 %) 56–60-vuotiaiden ikäryhmään ja 61–65-vuotiaiden ikäryhmässä oli vain yksi henkilö (0,9 %), iältään 61 vuotta. Tutkittavien ikäjakaumaa havainnollistamaan tehtiin Excel-ohjelman avulla piirakkakuvio ikäjakaumasta (kuvio 7).



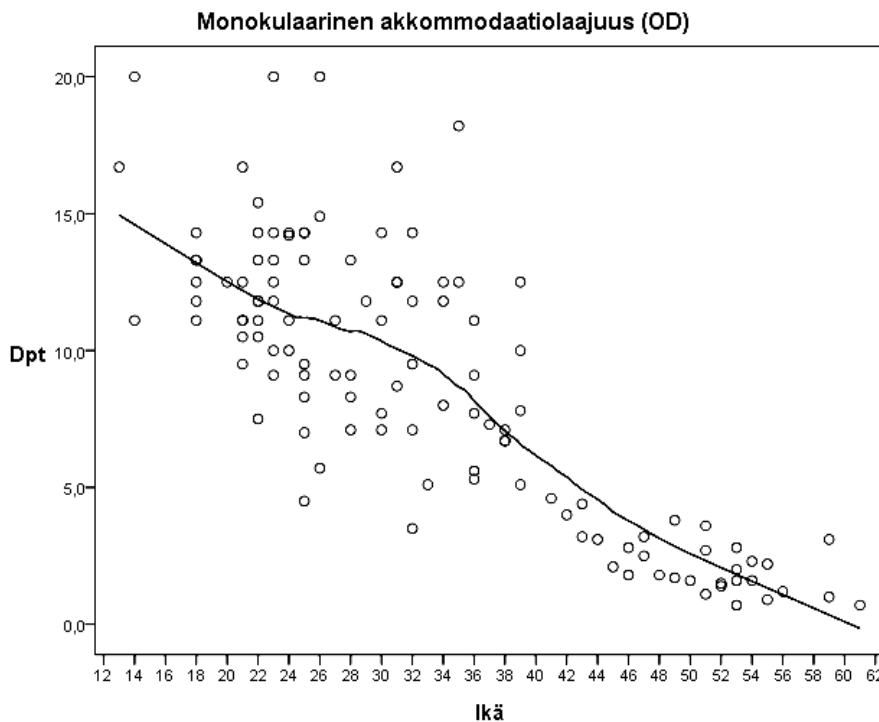
Kuvio 7. Tutkimusjoukon ikäjakauma ikäryhmittäin prosentteina.

8 Tutkimustulokset

Mitattujen akkommodaatiolaajuusarvojen perusteella voidaan vahvistaa Duanen ja monen muun tutkimuksen päätelmä siitä, että akkommodaatiolaajuus pienenee iän myötä, kunnes vakiintuu noin yhden dioptrian tasolle 60 ikävuoteen mennessä. Muutoin tutkimuksemme tulokset eivät täysin vastaa Duanen tutkimuksen tuloksia. Ikäryhmittäin mitatut monokulaaristen akkommodaatiolaajuuksien keskiarvot poikkeavat merkittävästi Duanen vastaavista keskiarvoista ja mitattujen akkommodaatiolaajuusarvojen hajonta on huomattavasti suurempaa kuin Duanen tutkimuksessa.

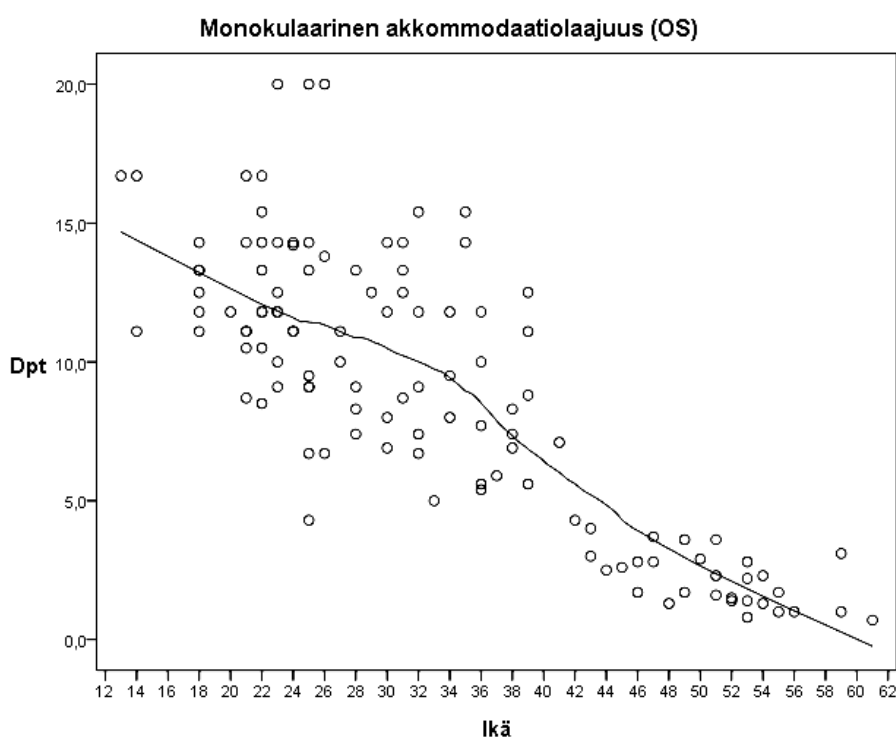
8.1 Mitatut akkommodaatiolaajuudet

Tutkimuksessa mitatuista akkommodaatiolaajuuksista on laadittu kuvaajia, joihin yksittäiset akkommodaatiolaajuusarvot on merkitty pisteinä. Kuvaajien vaaka-akselilla näkyy iän muutos ja pystyakselilla dioptriaalinen akkommodaatiolaajuusarvo. Mittauspisteiden perusteella on piirretty keskiarvokäyrä, joka kuvaa tutkimusjoukon iän mukaan muuttuvaa keskimääräistä akkommodaatiolaajuuden määrää.



Kuvio 8. Kuvaajaan on merkitty oikeasta silmästä mitatut monokulaariset akkommodaatiolaajuusarvot ja niitä vastaava keskiarvokäyrä.

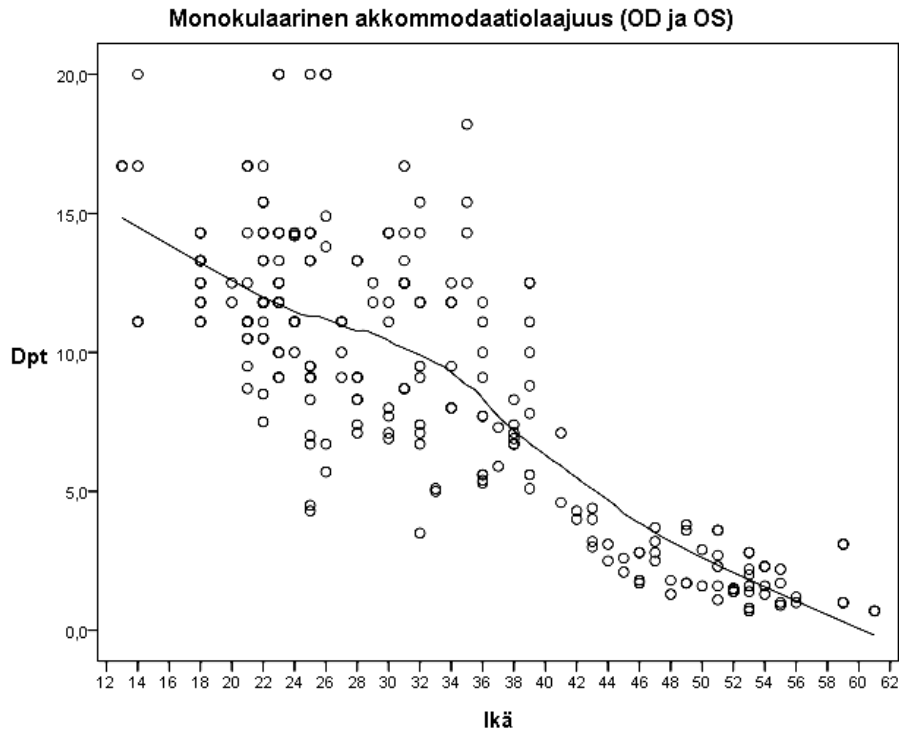
Kuvaajassa (kuvio 8) näkyy 116 tutkimuksessa kerättyä oikean silmän akkommodaatiolaajuusarvoja, jotka on saatu 13–61-vuotiailta koehenkilöiltä. Lisäksi mittauspisteiden perusteella on piirretty keskiarvokäyrä, joka havainnollistaa keskimääräisen akkommodaatiolaajuuden heikkenemistä iän myötä. Suurin osa mittauspisteistä sijoittuu 18 ja 39 ikävuoden välille. Mittauspisteiden hajonta on huomattavan suuri alle 40-vuotiaiden tutkittavien kohdalla. Kuvaajassa näkyy mittauspisteitä, jotka ovat hyvin paljon keskiarvokäyrän ylä- tai alapuolella. Osa mitatuista akkommodaatiolaajuusarvoista on siis merkittävästi iänmukaista keskiarvoa suurempia tai pienempiä.



Kuvio 9. Kuvaajaan on merkitty vasemmasta silmästä mitatut monokulaariset akkommodaatiolaajuusarvot ja niitä vastaava keskiarvokäyrä.

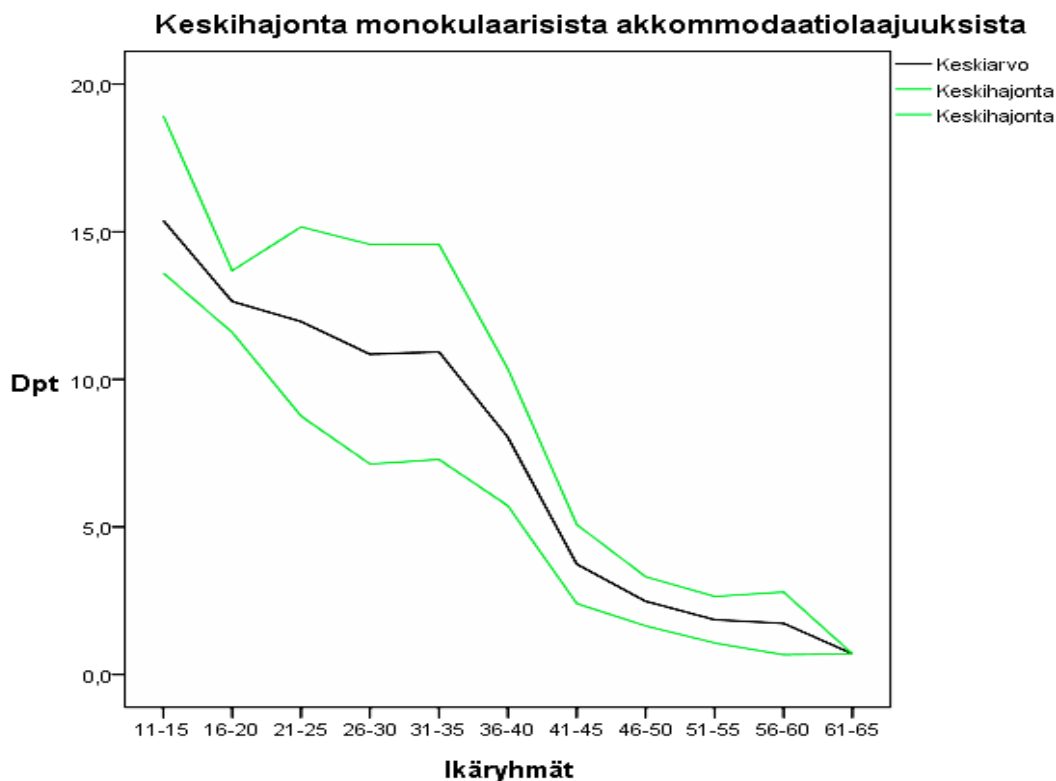
Vasemmasta silmästä mitatuista 116 akkommodaatiolaajuudesta on laadittu samanlainen kuvaaja (kuvio 9) kuin oikean silmän arvoista. Vertaamalla oikean ja vasemman silmän kuvaajia (kuviot 8 ja 9) keskenään voidaan havaita, että akkommodaatiolaajuuden heikkeneminen iän mukana on melko lineaarista ja samankaltaista oikeassa ja vasemmassa silmässä. Mittauspisteet jakautuvat lähes samalla tavalla kummassakin kuvaajassa ja keskiarvokäyrät muistuttavat toisiaan hyvin paljon. Myös vasemmasta silmistä mitatut yksittäiset akkommodaatiolaajuusarvot hajaantuvat huomattavan kauas

keskiarvokäyrästä alle 40-vuotiaiden tutkittavien kohdalla eli on saatu paljon keskiarvoa pienempiä ja suurempia mittausrvoja.



Kuvio 10. Kuvaajaan on yhdistetty oikeasta ja vasemmasta silmästä saadut monokulaariset akkommodaatiolaajuusarvot ja keskiarvokäyrä.

Oikean ja vasemman silmän monokulaarisia akkommodaatiolaajuusarvoja on tutkimuksessa mitattu yhteensä 232 kappaletta ja arvoista on laadittu kuvaaja (kuvio 10). Keskiarvoviiva kuvautuu samanlaisena kuin oikean ja vasemman silmän akkommodaatiolaajuuksia havainnollistavissa kuvaajissa (kuviot 8 ja 9). Kaikkien monokulaaristen akkommodaatiolaajuusarvojen yhteisestä kuvaajasta voidaan havaita, että osa mittauspisteistä sijoittuu huomattavan etäälle keskiarvokäyrästä eli on saatu keskiarvoa huomattavasti suurempia ja pienempiä akkommodaatiolaajuuden mittaustuloksia. Hajonta iänmukaisten akkommodaatiolaajuusarvojen välillä on erityisen suurta 13–39-vuotiaiden kohdalla. Suurin ryhmän sisäinen vaihtelu on 25-vuotiaiden tutkittavien kohdalla, jossa ero suurimman ja pienimmän mitatun akkommodaatiolaajuusarvon välillä on jopa 15,7 dioptriaa. Kuitenkin 40 ikävuoden jälkeen iän mukaisten akkommodaatiolaajuusarvojen vaihtelu on merkittävästi pienempää.



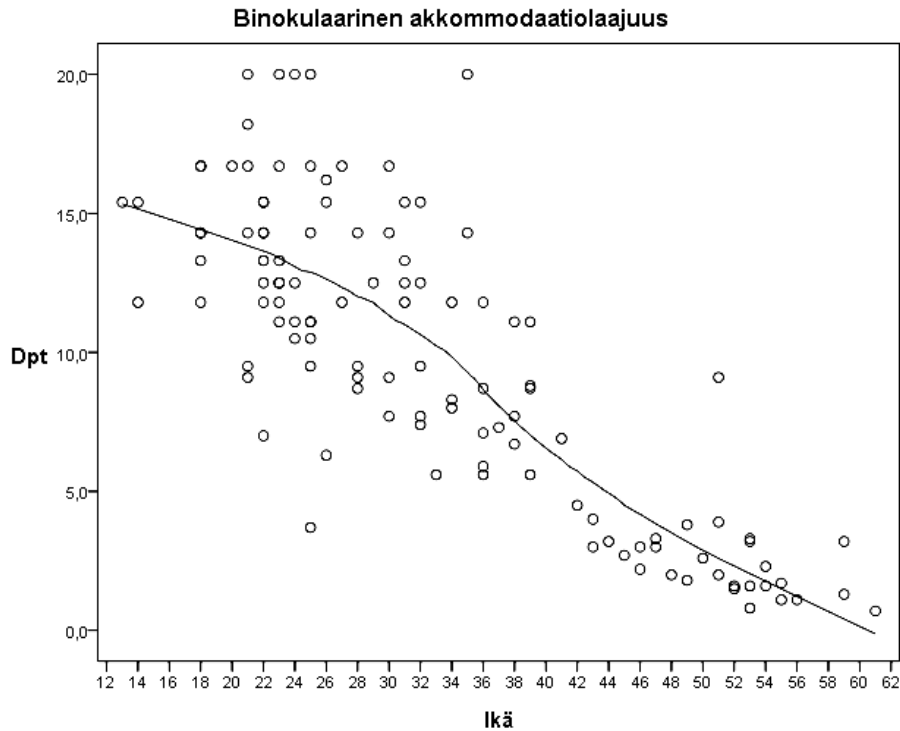
Kuvio 11. Kuvaajaan on merkitty ikäryhmittäin muodostettu musta keskiarvoviiva ja keskihajontaa kuvaamaan vihreät viivat.

Edellisistä kuvaajista (kuviot 8–10) on nähtävissä, että hajonta iän mukaisten akkommodaatiolaajuusarvojen välillä on huomattavasti suurempaa alle 40-vuotiailla kuin yli 40 vuotiailla henkilöillä. Keskihajonnan havainnollistamiseksi koehenkilöt on jaettu viiden vuoden välein ikäryhmiin, joiden sisällä keskihajonta on laskettu. Tuloksista on laadittu kuvaaja (kuvio 11), jossa musta viiva kuvaa ikäryhmien keskiarvoakkommodaatiolaajuutta. Mitattujen akkommodaatiolaajuusarvojen keskihajontaa kuvaavat vihreät viivat. Keskihajonta tarkoittaa mittauspisteiden sijoittumista keskiarvonsa ympärille. Suurimman osan ikäryhmässä mitatuista akkommodaatiolaajuusarvoista pitäisi sijoittua kahden vihreän viivan väliselle alueelle. Keskihajonta-arvojen mukaan suurin vaihtelu esiintyy 11–15-vuotiaiden, 21–25-vuotiaiden, 26–30-vuotiaiden ja 31–35-vuotiaiden ikäryhmissä. Pienempää hajonta on 16–20-vuotiaiden sekä yli 35-vuotiaiden ikäryhmissä.

Taulukko 2. Keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe ikäryhmittäin.

Ikäryhmät (vuotta)	Keskiarvo	Keskiarvon keskivirhe
21-25	12,0	0,394
26-30	10,9	0,703
31-35	10,9	0,665
36-40	8,0	0,455
51-55	1,9	0,154

Viidessä ikäryhmässä monokulaaristen mittausten lukumäärä on riittävä, jotta tuloksia voidaan tarkastella tilastollisesti. Tarkasteltavat ikäryhmät ovat 21–25-vuotiaat, 26–30-vuotiaat, 31–35-vuotiaat, 36–40-vuotiaat ja 51–55-vuotiaat. Eniten mitattuja arvoja on 21–25-vuotiaiden ikäryhmässä, jossa monokulaarisia akkommodaatiolaajuusarvoja on yhteensä 66 kappaletta. 26–30-vuotiaiden ikäryhmässä mitattuja arvoja on 28 kappaletta ja 31–35-vuotiaiden ryhmässä 30 kappaletta. Sekä 36–40-vuotiaiden että 51–55-vuotiaiden ikäryhmissä 26 kappaletta. Näiden viiden ikäryhmän sisällä mitatuista akkommodaatiolaajuusarvoista on laskettu keskiarvot ja keskiarvojen keskivirheet eli otantajakauman keskihajonta (taulukko 2). Keskiarvon keskivirhe kertoo kyseessä olevan otoksen keskiarvon luotettavuudesta (Heikkilä 1998: 88). Pienin keskiarvon keskivirhe on 51–55-vuotiaiden ikäryhmässä, jossa hajonta mittauspisteiden välillä on hyvin pieni. Suurin keskiarvon keskivirhe on 26–30-vuotiaiden ryhmässä. Keskivirheeseen lasketussa keskiarvossa vaikuttaa mittauspisteiden hajonta ja lukumäärä ikäryhmän sisällä.



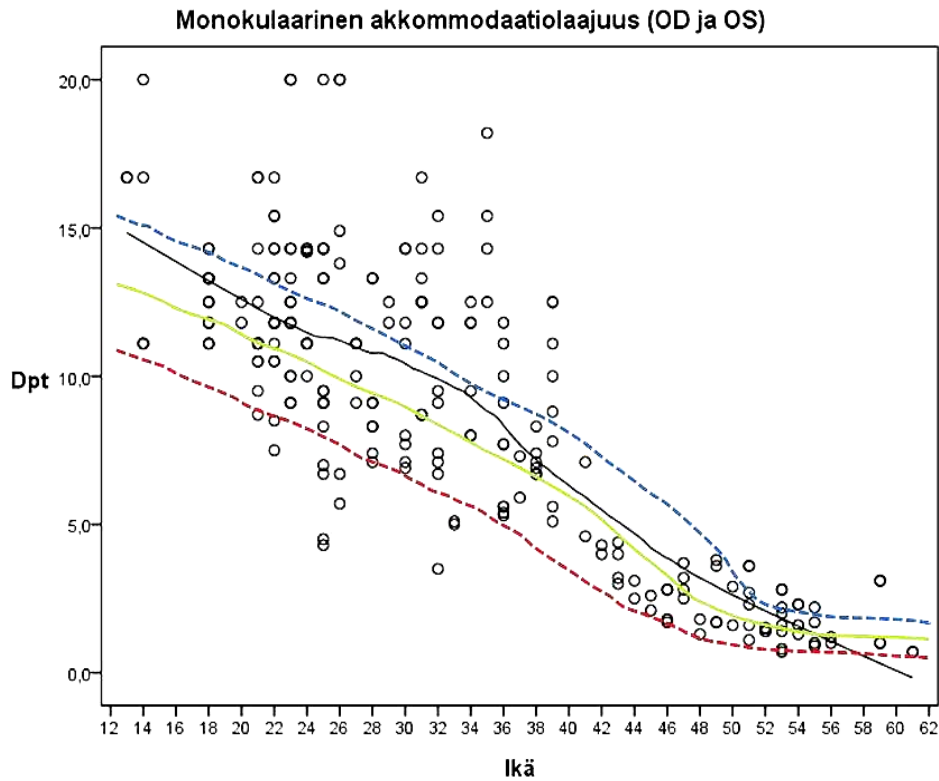
Kuvio 12. Kuvaaja binokulaarisista akkommodaatiolaajuusarvoista.

Kuvaajassa (kuvio 12) näkyy 116 binokulaarisesti mitattua akkommodaatiolaajuusarvoa ja niistä koostuva keskiarvokäyrä. Pääpiirteissään kuvaaja on hyvin samankaltainen kuin monokulaaristen akkommodaatiolaajuusarvojen kuvaajat, mutta etenkin alle 40-vuotiaiden kohdalla binokulaarinen akkommodaatiolaajuus on hieman suurempi kuin monokulaarinen akkommodaatiolaajuus. Myös binokulaarisissa akkommodaatiolaajuusarvoissa esiintyy suurta hajontaa alle 40-vuotiaiden kohdalla. Joitakin yksittäisiä poikkeuksellisen suuria ja pieniä iänmukaisia arvoja erottuu kuvaajassa pisteinä, jotka ovat huomattavan etäällä keskiarvokäyrästä.

8.2 Tulosten vertaaminen Duanen määrittämiin arvoihin

Tutkimuksessa mitattuja akkommodaatiolaajuusarvoja verrataan Duanen tutkimuksessa määritettyihin arvoihin kuvaajien avulla. Tilastollinen analysointi ja tilastollisen merkitsevyyden arviointi tehdään One-Sample T-testiä apuna käyttäen ja testillä saatujen p-arvojen avulla. Kuvaajaan (kuvio 13) on yhdistetty tutkimuksessa mitatut akkommodaatiolaajuusarvot ja arvojen perusteella määritetty keskiarvokäyrä sekä Duanen määrittämät minimi-, maksimi- ja keskiarvokäyrät. Kuvaajan avulla saadaan selville, sijoittu-

vatko tutkimuksen mittauspisteet Duanen määrittämälle normaalialueelle eli minimi- ja maksimiarvojen väliin. Lisäksi huomionarvoista on, kuinka suuri osa pisteistä jää minimikäyrän alapuolelle.



Kuvio 13. Kuvaaja, jossa monokulaarisesti mitatut akkommodaatiolaajuusarvot (pisteet), keskiarvokäyrä (musta viiva) sekä Duanen määrittämät minimi- (punainen katkoviiva), maksimi- (sininen katkoviiva) ja keskiarvokäyrä (vihreä viiva).

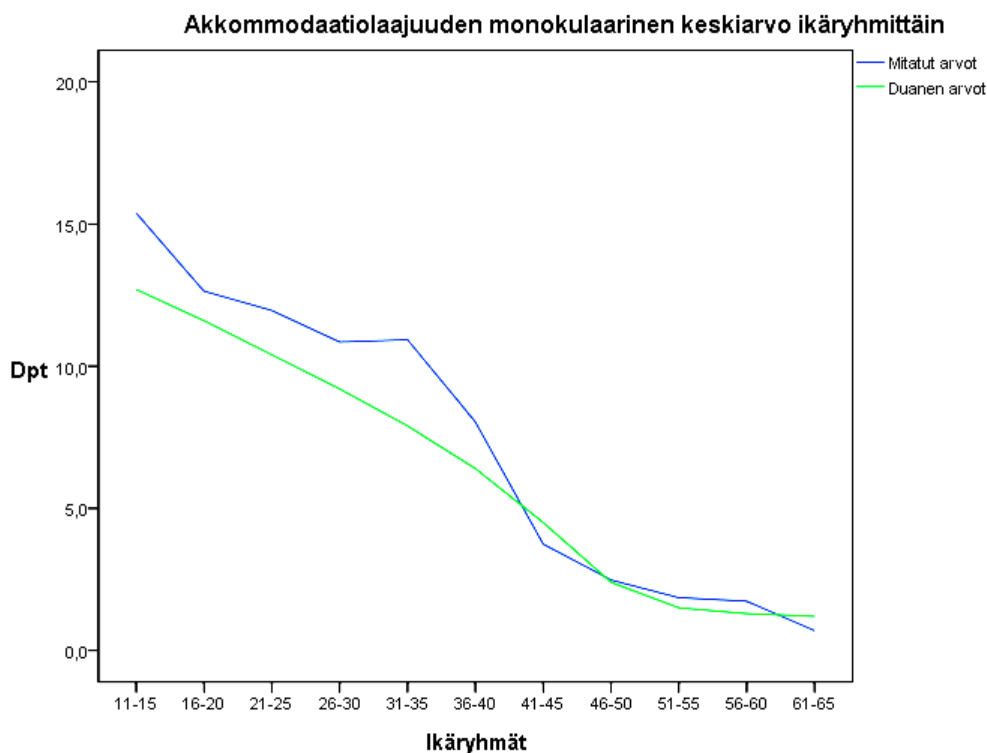
Kuvaajassa (kuvio 13) musta viiva on mittauspisteiden perusteella laskettu keskiarvokäyrä. Keskimäinen vihreä viiva on Duanen määrittämä keskiarvokäyrä. Duanen maksimikäyrää kuvaa sininen ylin katkoviiva ja minimikäyrää punainen alin katkoviiva. Kuvaajasta voidaan havaita, että suuri osa mitatuista akkommodaatiolaajuusarvoista sijoittuu Duanen minimi- ja maksimikäyrien väliselle alueelle. Lähes kaikki yli 40-vuotiailta mitatut akkommodaatiolaajuusarvot ovat Duanen normaalialueella. Kuitenkin alle 40-vuotiaiden kohdalla on paljon myös sellaisia mittauspisteitä, jotka ovat joko huomattavasti minimikäyrän alapuolella tai maksimikäyrän yläpuolella. Tutkimusjoukossa on siis henkilöitä, joilla on huomattavasti suurempia tai pienempiä akkommodaatiolaajuusarvoja kuin Duanen määrittämä iän mukainen keskiarvo antaa olettaa. Erityi-

sesti 13–39-vuotiailta mitattujen akkommodaatiolaajuusarvojen hajonta on huomattavasti suurempaa kuin Duanen tutkimuksessa. Myöskään iänmukaisten keskiarvojen suhteen tulokset eivät ole samanlaisia, sillä keskiarvokäyrät eivät noudata samaa linjaa.

Koska akkommodaatiolaajuuksia ei tutkimuksessa ole saatu mitattua riittävästi jokaiselta ikävuodelta, ei mittauspisteiden perusteella voida määrittellä yksiselitteisiä minimi- ja maksimiarvoja iänmukaisille akkommodaatiolaajuuksille kuten Duanen tutkimuksessa on tehty. Mitattuja akkommodaatiolaajuusarvoja vertaillaan Duanen tutkimustuloksiin keskiarvoja apuna käyttäen. Keskiarvojen vertailua varten olemme muodostaneet ikäryhmät viiden vuoden välein, alkaen 11–15-vuotiaista ja päättyen 61–65-vuotiaisiin. Ikäryhmien muodostamiseen päädyttiin, koska tutkimuksessa ei saatu riittävästi koehenkilöitä kultakin ikävuodelta, jotta jokaisen ikävuoden keskiarvoja olisi voitu verrata keskenään. Ikäryhmien keskimääräiset akkommodaatiolaajuudet on laskettu tutkimuksessa mitatuista akkommodaatiolaajuusarvoista. Ikäryhmien akkommodaatiolaajuusarvojen keskiarvoista on koottu taulukko (taulukko 3) ja muodostettu kuvaaja (kuvio 14). Sekä taulukossa että kuvaajassa ilmenee tutkimuksen akkommodaatiolaajuusarvojen ja Duanen tutkimuksen arvojen perusteella määritetyt keskiarvot ikäryhmittäin.

Taulukko 3. Taulukossa ilmoitetaan tutkimuksessa mitattujen akkommodaatiolaajuuksien keskiarvot ja Duanen määrittämät keskiarvot ikäryhmittäin.

Ikäryhmä (vuotta)	Mitattu keskiarvo	Duanen keskiarvo
11-15	15,4	12,7
16-20	12,6	11,6
21-25	12,0	10,4
26-30	10,9	9,2
31-35	10,9	7,9
36-40	8,0	6,4
41-45	3,7	4,5
46-50	2,5	2,4
51-55	1,9	1,5
56-60	1,7	1,3
61-65	0,7	1,2



Kuvio 14. Monokulaarisesti mitattujen akkommodaatiolaajuuksien keskiarvot ja Duanen määrittämät keskiarvot on piirretty ikäryhmittäin kuvaajaan.

Kuvaajan (kuvio 14) muodostavat kaksi käyrää, jotka havainnollistavat iän mukaan muuttuvaa keskimääräistä akkommodaatiolaajuutta. Sininen viiva muodostuu tässä tutkimuksessa mitattujen akkommodaatiolaajuusarvojen perusteella lasketuista ikäryhmien keskiarvoista. Duanen iän mukaisista keskiarvoista lasketut ikäryhmien keskimääräiset akkommodaatiolaajuudet on merkitty vihreällä viivalla kuvaajaan. Kun näitä kahta käyrää verrataan keskenään, voidaan todeta, että akkommodaatiolaajuus ei ole merkittävästi heikompi kuin Duanen tutkimuksen aikana havaittiin. Akkommodaatiolaajuusarvot ovat 11–40-vuotiailla keskimäärin suurempia kuin Duanen määrittämät arvot ovat. Keskiarvo 41–45-vuotiaiden ikäryhmässä mitattujen akkommodaatiolaajuuksien suhteen on hieman pienempi kuin Duanen keskiarvo. Yli 45-vuotiaiden keskiarvoisissa akkommodaatiolaajuusarvoissa ei ole juurikaan eroa Duanen arvoihin verrattuna.

Tilastollista merkitsevyyttä arvioidaan viidessä ikäryhmässä p-arvojen avulla. 21–25-vuotiaiden ikäryhmässä mitattujen akkommodaatiolaajuusarvojen keskiarvo on 1,56 dioptriaa suurempi kuin Duanen määrittelemä ikäryhmän keskiarvoinen akkommodaatiolaajuus. SPSS-ohjelmalla laskettuna 95 prosentin todennäköisyydellä mittaustulosten keskiarvo 0,8–2,3 dioptriaa suurempi kuin Duanen keskiarvo. P-arvo on $\leq 0,001$ eli

ero keskiarvojen välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä. Voidaan todeta, että 21–25-vuotiaiden akkommodaatiolaajuus on tänä päivänä suurempi kuin Duanen tutkimuksen aikana havaittiin.

Mitattu keskiarvo 26–30-vuotiaiden ikäryhmässä on 1,65 dioptriaa suurempi kuin Duanen määrittämä keskiarvo. Mitattu keskiarvo on 95 prosentin todennäköisyydellä 0,2–3,1 dioptriaa suurempi kuin Duanen keskiarvo. Tällöin p-arvo on $0,01 < p \leq 0,05$ ($p=0,026$) eli ero keskiarvojen välillä on tilastollisesti melkein merkitsevä. Tässä ikäryhmässä akkommodaatiolaajuuden keskiarvon voidaan ajatella todennäköisesti olevan suurempi kuin Duanen tutkimuksessa.

Mitattujen akkommodaatiolaajuusarvojen keskiarvo 31–35-vuotiailla on 3,03 dioptriaa suurempi kuin Duanen määrittämä ikäryhmän keskiarvoinen akkommodaatiolaajuus. Mitattu keskiarvo on 95 prosentin todennäköisyydellä 1,7–4,4 dioptriaa suurempi kuin Duanen määrittämä keskiarvo. P-arvo on $\leq 0,001$ eli ero keskiarvojen välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä. Voidaan siis ajatella, että nykyään akkommodaatiolaajuuksien keskiarvo on 31–35-vuotiailla suurempi kuin Duanen tutkimuksen aikana.

36–40-vuotiailta mitatuista akkommodaatiolaajuuksista laskettu keskiarvo on 1,64 dioptriaa suurempi kuin Duanen keskiarvo. Mitattujen akkommodaatiolaajuuksien keskiarvo on 95 prosentin todennäköisyydellä 0,7–2,6 dioptriaa suurempi kuin Duanen keskiarvo. P-arvoksi saadaan $\leq 0,001$ eli ero keskiarvojen välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä. Tässäkin ikäryhmässä voidaan ajatella, että keskiarvoinen akkommodaatiolaajuus on nykyään suurempi kuin Duanen tutkimuksen aikana.

Mitattu keskiarvo 51–55-vuotiailla on 0,36 dioptriaa suurempi kuin Duanen määrittelemä keskiarvoinen akkommodaatiolaajuus. 95 prosentin todennäköisyydellä mitattujen akkommodaatiolaajuuksien keskiarvo on 0,04–0,7 dioptriaa suurempi kuin Duanen määrittämä keskiarvo. P-arvo on $0,01 < p \leq 0,05$ ($p=0,029$) eli ero keskiarvojen välillä on tilastollisesti melkein merkitsevä. Voidaan siis olettaa, että akkommodaatiolaajuus kyseisessä ikäryhmässä on melko todennäköisesti keskimäärin suurempi nykypäivänä kuin Duanen aikana.

9 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä pyrkimyksenä oli lähityön vaikutusten selvittäminen akkommodaatiolaajuuteen. Tutkimuksella ei kuitenkaan saatu vahvistusta oletukselle, että akkommodaatiolaajuus olisi heikentynyt lisääntyneen lähityön vaikutuksesta. Tutkimustulosten perusteella ei siis voida todeta, että akkommodaatiolaajuus olisi heikentynyt jatkuvan lähityön seurauksena. Päinvastoin tutkimuksen tulokset osoittavat, että mitatut akkommodaatiolaajuusarvot ovat suurimmalla osalla tutkimusjoukosta suurempia kuin Duanen tutkimuksessa. Joissakin yksittäisissä tapauksissa voi kuitenkin olla, että pieni akkommodaatiolaajuus johtuu pitkäkestoisen lähityön aiheuttamasta rasituksesta.

Tutkimuksen akkommodaatiolaajuusarvoissa löytyy myös yhteneväisyyksiä Duanen tutkimuksen tulosten kanssa. Akkommodaatiolaajuus heikkenee melko tasaisesti iän myötä ja binokulaarinen akkommodaatiolaajuus on hieman suurempi kuin monokulaarinen akkommodaatiolaajuus. Oikean ja vasemman silmän akkommodaatiolaajuusarvoissa ei ole huomattavaa eroa.

Hajonta akkommodaatiolaajuusarvoissa on suurinta nuorella iällä. Noin 40 ikävuoden jälkeen akkommodaatiolaajuuden mittaustulokset alkavat olla tasaisempia eri tutkittavien välillä eikä hajontaa enää esiinny niin laajasti. Nuorilla henkilöillä näyttää siis olevan enemmän eroja akkommodaatiolaajuuden määrässä. Tuloksissa havaitaan sekä selvästi suurempia että pienempiä akkommodaatiolaajuusarvoja verrattuna Duanen määrittämään iän mukaiseen keskiarvoon. Akkommodaatiolaajuuden määrässä esiintyy siis yksilöllisiä eroja. Erot voivat olla huomattavankin suuria. Ikäryhmistä etenkin nuoremmilla pienimmän ja suurimman akkommodaatiolaajuusarvon ero voi nousta huomattavan suureksi.

Kaikissa ikäryhmissä, joissa tulosten tilastollista merkitsevyyttä tutkittiin, tutkimuksen keskimääräiset akkommodaatiolaajuusarvot olivat joko tilastollisesti melkein merkitsevästi tai tilastollisesti merkitsevästi suurempia kuin Duanen keskimääräiset akkommodaatiolaajuudet. Ainoastaan 41–45-vuotiaiden ikäryhmässä akkommodaatiolaajuus on pienempi kuin Duanen tutkimuksen keskiarvo. Kuvaajissa, joissa näkyvissä ovat kaikki tutkimuksen mitatut akkommodaatiolaajuusarvot, nähdään kuitenkin myös osalla muidenkin ikäryhmien tutkittavista pienempiä saavutettuja akkommodaatiolaajuusarvoja verrattuna Duanen normiarvoihin. Voidaan siis todeta, että yksilöllisiä eroja akkommodaatiolaajuudessa löytyy ja niillä, joilla akkommodaatiolaajuus on heikompaa, voi jatku-

va lähityöskentely olla yhtenä syynä heikkoon akkommodaatiolaajuuteen. Kuitenkin tilastollisesti akkommodaatiolaajuudet näyttävät olevan merkitsevästi suurempia kuin Duanen arvot. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että oletettu lisääntynyt lähityö ei näytä vaikuttaneen silmän akkommodaatiokykyyn heikentävästi, vaan päinvastoin akkommodaatiolaajuusarvot ovat suurempia kuin Duanen noin sata vuotta sitten toteutetussa tutkimuksessa.

10 Pohdinta

Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, onko akkommodaatiolaajuus oletettavasti heikentynyt lisääntyneen lähityön seurauksena. Tutkimusongelmaan saatu vastaus ei kuitenkaan ollut odotetun kaltainen. Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin lähi- ja päätyön rasittavuutta sekä näköjärjestelmää että akkommodaatiomekanismia kohtaan. Kun pitkäkestoisen lähikatselun aikana akkommodaatio ylikuormittuu, se ei enää toimi yhtä tehokkaasti kuin tilanteessa, jossa akkommodaatio ei ole rasituksen alaisena pitkiä aikoja. Lähityön tutkitun rasittavuuden vuoksi akkommodaatiolaajuuden voitiin olettaa olevan heikentynyt samalla, kun lähityön määrä on kasvanut viimeksi kuluneiden parin vuosikymmenen aikana. Tutkimuksen tulokset olivat kuitenkin ristiriidassa teoriapohjan perusteella tehtyjen johtopäätösten kanssa. Teorian ja tulosten yhteneväisyys havaittiin kuitenkin, kun tutkimuksessa akkommodaatiolaajuus heikkeni lineaarisesti iän myötä, kunnes vakiintui noin 60 ikävuoden kohdalla. Lisäksi teoriapohja tukee havaintoa siitä, että tutkimuksessa binokulaariset akkommodaatiolaajuusarvot olivat hieman suurempia kuin monokulaariset arvot.

Tutkimuksen aihe koettiin ajankohtaiseksi, sillä voitiin olettaa, että akkommodaatiolaajuuden arvioinnissa käytettävät normit vaatisivat päivittämistä. Lisäksi akkommodaatio-ongelmat tuntuivat olevan nykyisin melko yleisiä. Tutkimuksessa onnistuttiin selvittämään tutkimusjoukon akkommodaatiolaajuusarvojen suhde Duanen tutkimuksen akkommodaatiolaajuusarvoihin. Tutkimuksen avulla ei kuitenkaan pystytty todistamaan hypoteettista oletusta akkommodaatiolaajuuden nykytilanteesta eli siitä, että akkommodaatiolaajuus olisi heikentynyt lisääntyneen lähityön vaikutuksesta. Päinvastoin akkommodaatiolaajuudet olivat suurella osalla tutkimusjoukosta suurempia verrattuna Duanen tutkimuksen arvoihin.

Yhtä selittävää syytä tutkimuksessa ilmenneisiin suurempiin akkommodaatiolaajuusarvoihin on vaikea määrittää. Nyky-yhteiskunta, jossa lähityötä tehdään paljon, ei todennäköisesti aiheuta ihmisten akkommodaatiolaajuusarvojen suurenemista. Odotettavampi tutkimuksen tulos olisi ollut heikompi akkommodaatiolaajuus verrattuna noin sata vuotta sitten saatuihin arvoihin. Kuitenkaan tulokset eivät välttämättä ole täysin vertailukelpoisia, sillä kulttuurillisia eroja akkommodaatiossa voi löytyä eri kansojen väestöstä. Toisaalta Hofstetterin kehittämää kaavaa käytetään myös Suomessa akkommodaatiolaajuuden normaaliuden määrittämisen apuna, joten näin ollen tutkimus suomalaisten akkommodaatiolaajuusarvoista oli aiheellinen. Vertailujen tutkimusten

suuri kokoero on myös voinut vaikuttaa tulosten luotettavuuteen ja tulosten eroavuuksiin ennako-odotuksista poikkeavalla tavalla. Mahdolliset mittausvirheet sekä tutkimustapojen ja -olosuhteiden eroavaisuudet ovat osaltaan voineet vaikuttaa tutkimustulosten vertailukelpoisuuteen.

Tutkimuksessa ainoastaan 41–45-vuotiailta mitatut akkommodaatiolaajuusarvot olivat pienempiä kuin Duanen määrittämät akkommodaatiolaajuusarvot. Tämä herätti ajatuksia siitä, että voisivatko pienemmät akkommodaatiolaajuusarvot johtua lähilasiensa käytön puutteesta. Tämän ikäryhmän henkilöillä ei välttämättä ole vielä käytössä lähilaseja, vaikka akkommodaatiolaajuus on jo sen verran heikko, että lähilasit olisivat tarpeelliset. Lähilasiensa käytön puutteesta johtuen akkommodaation toimintaan tarvittavat lihakset olisivat yllirasittuneet, minkä seurauksena silmät eivät jaksaisi akkommodoida esimerkiksi työpäivän rasituksen jälkeen maksimaalista määrää.

Hajonta akkommodaatiolaajuusarvoissa oli suurinta nuorten alle 40-vuotiaiden kohdalla. Noin 40 ikävuoden jälkeen akkommodaatiolaajuuden mittaustulokset olivat tasaisempia eri tutkittavien välillä. Voi olla, että akkommodaatiotoiminta saattaa ikään kuin rauhoittua ja tasoittua iän myötä, kun taas nuorilla akkommodaation ”pumppaus” ja epävakaus aiheuttaa suurempaa hajontaa tuloksissa.

Yli 55-vuotiaiden akkommodaatiolaajuusarvoista ei voitu luotettavasti tutkia tilastollista merkitsevyyttä verrattuna Duanen keskiarvoon, sillä mitattujen arvojen määrä oli liian pieni. Kuitenkin muodostetun keskiarvokuvaajan (kuvio 14) perusteella kyseisessä ikäryhmässä akkommodaatiolaajuus näyttää olevan melko samalla tasolla tai jopa hieman pienempi kuin Duanen keskiarvoinen akkommodaatiolaajuus. Syynä tähän saattaa olla, että yli 55 vuoden iässä akkommodaatiokyky on jo sen verran heikko, että eroja ei enää synny vertailussa. Lisäksi useilla on varmasti kyseisessä iässä käytössään jo jonkinlaista apua lähityöskentelyyn, kuten lukulasit tai portaattomat moniteholasit, jolloin lähityöskentelyn rasittavuus ei vaikuta akkommodaatioon. Lisäksi syväterävyyden merkitys korostuu, kun akkommodaatiokyky on heikkoa tai olematonta.

Mahdollisia virheitä tutkimuksen tuloksiin saattoivat aiheuttaa erilaiset tutkijat ja tutkustavat, näöntutkimustilojen erilaisuus sekä tutkittavien henkilöiden erot. Vaikka tutkijoille annettiin yhteinen ohjeistus, tutkustavat saattavat erota toisistaan. On vaikea arvioida sitä, kuinka motivoituneita ryhmän jäsenet ovat olleet huolelliseen mittaamiseen, kuinka huolellisesti he ovat asiakkaan ohjeistaneet sekä kuinka tarkasti mittauk-

set on suoritettu ja tulokset merkitty ylös. Lisäksi tutkittavat henkilöt voivat ymmärtää Duanen viivatestin eri tavoin, eikä asiakas aina välttämättä kerro, ellei ymmärrä testiä tai ohjeistusta kunnolla. Kaikesta huolimatta tutkittava henkilö pyrkii ”onnistumaan” ja tuloksena saattaa olla hyvinkin vääristynyt tulos. Tutkijan antama ohjeistus sekä kommunikointi tutkittavan ja tutkijan välillä ovat tärkeässä osassa, ja erot tällä osa-alueella voivat olla merkittäviä. Ei myöskään tiedetä, onko tulos otettu heti ensimmäisestä mittauksesta vai onko henkilö saanut harjoitella testin tekemistä. Tulos on voitu ottaa myös esimerkiksi kolmannelta mittauksesta, jonka tutkija on ajatellut olevan ensimmäinen onnistunut mittaustulos. Olisi ollut tärkeä seikka tarkentaa ohjeistuksessa, mikä mittaustulos tulee merkitä ylös. Olisi ollut hyvä myös täsmentää, että akkommodaatiolaajuus mitataan kolme kertaa, ja näiden mittausten keskiarvo merkitään ylös. Tällöin olisi saatu vielä paremmin yhtenäistettyä tutkimus- ja toimintatapaa, jolloin mahdollisten virheiden määrä olisi pienentynyt ja tulosten luotettavuus parantunut. Täsmällisemmän tuloksen varmistamiseksi, olisi voitu ohjeistaa mittaamaan akkommodaatiolaajuus satunnaisesti oikeasta ja vasemmasta silmästä ensin. Eri optikkoliikkeiden näöntutkimustilojen erot muun muassa valaistuksessa ovat osaltaan voineet vaikuttaa mitattuihin akkommodaatiolaajuusarvoihin. Tutkimuslomakkeesta ei myöskään selviä, mihin aikaan päivästä akkommodaatiolaajuuden mittaus on tehty. Tutkittavien erilaisella viireystilalla saattoi olla merkitystä akkommodaatiolaajuusarvon suuruuteen.

Tutkimuksessa ei huomioitu, onko tutkittavalla ollut käytössä lähilaseja. Heräsi ajatus siitä, että voiko lähilasiensa käyttö vaikuttaa silmiin ja akkommodaatioon rentouttavasti siten, että akkommodoiminen olisi helpompaa. Näin ollen akkommodaatiolaajuusarvot olisivat lähilasiensa käyttäjillä suurempia. Toisaalta jotkut asiakkaat kokevat, että he eivät enää näe lukea ilman laseja sen jälkeen, kun ovat hankkineet ensimmäiset lähilasit. Tällöin päinvastaisesti lähilasit oletettavasti huonontaisivat lähinäköä. Voisiko akkommodaatio toisaalta ikään kuin laiskistua sen jälkeen, kun lähilasin ansiosta silmien ei enää tarvitse käyttää niin paljon akkommodaatiota?

Tutkimuslomakkeessa ei myöskään selvitetty esitietojen perusteella tutkittavan akkommodaatioon mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksen tarkoituksena oli ottaa otos suomalaisten akkommodaatiolaajuuksista ja verrata niitä Duanen tutkimuksen akkommodaatiolaajuusarvoihin. Tavoitteena oli selvittää, onko akkommodaatiolaajuus heikentynyt lisääntyneen lähityön vaikutuksesta verrattuna noin sata vuotta sitten määritettyihin akkommodaatiolaajuuden normiarvoihin. Tutkimuksessa ei siis pyritty perehtymään erityisesti akkommodaatioon vaikuttaviin tekijöihin, jotka selviäisivät anamnee-

sisä. Tutkimuslomakkeesta päädyttiin tekemään mahdollisimman yksinkertaistettu ja helposti täytettävä. Tällä pyrittiin tekemään mittaustilanteesta mahdollisimman sujuva sekä kannustamaan ja motivoimaan muita mittaajia toteuttamaan akkommodaatiolaajuusmittauksia mahdollisimman paljon.

Tutkimukseen ei saatu niin paljon mittauksia kuin oli tavoitteena. Kaikki mittaajat eivät tutkineet akkommodaatiolaajuuksia kymmeneltä tutkittavalta eikä osa tehnyt mittauksia lainkaan, mikä toisaalta oli odotettavissakin. Tutkimusjoukosta saatiin kuitenkin riittävän suuri tulosten analysoimiseksi ja aiheen pohtimiseksi, mutta ei riittävän laajaa luotettavien ja lopullisten johtopäätösten tekemiseksi.

Tutkimuksessa onnistuttiin toimimaan eettisesti ja tutkittavan yksityistä tietosuojaa kunnioittaen. Tutkimuslupa varmistettiin tutkittavan tai hänen huoltajansa allekirjoituksella. Tutkittava henkilö näki kaikki tutkimuslomakkeeseen merkityt tiedot, eikä muita näön-tutkimuksessa mahdollisesti ilmenneitä tietoja käytetty opinnäytetyössä lainkaan. Opin-näytetyössä ei käsitelty tietoja nimillä eikä yksilöitä voida tunnistaa.

Jatkossa akkommodaatiolaajuutta voisi tutkia samankaltaisella tutkimusasetelmalla, jossa mittaajia olisi vain muutama ja esitiedot kerättäisiin täsmällisemmin. Anamneesissa voitaisiin kysyä tarkemmin käytössä olevista lähilaseista, akkommodaation kuor-mituksesta sekä akkommodaatioon vaikuttavista tekijöistä. Tutkimuksen voisi toteuttaa niin, että akkommodaatiolaajuus mitattaisiin kaikilta tutkittavilta samaan aikaan päivästä, esimerkiksi työpäivän jälkeen. Jatkotutkimuksessa tutkittavia ikäryhmiä voisi rajata ja mahdollisesti ottaa suuremman otoksen esimerkiksi yhden ikäryhmän sisältä. Vaihtoehtoisesti esimerkiksi koulun tai työpaikan sisältä voisi ottaa kohdennetun otoksen, jolta tutkia akkommodaatiolaajuutta. Tutkimus liittyen lähiongelmiin voisi olla yksi vaihtoehtoinen jatkotutkimus. Lähiongelmia voisi tutkia ja selvittää esimerkiksi, kuinka moni kokee lähityössä ongelmia ja mistä ongelmat mahdollisesti johtuvat. Lisäksi lähilasi-en käytön vaikuttavuutta akkommodaatioon voisi tutkia valitsemalla tutkimusjoukkoon henkilöitä, joilla lähilasit ovat olleet käytössä ja henkilöitä, joilla lähilaseja ei ole ollut käytössä. Akkommodaatiolaajuuksien vertailua voisi tehdä myös hyperooppien ja myooppien välillä sekä selvittää, miten taittovirheen määrä vaikuttaa akkommodaatioon.

Lähteet

Benjamin, William J. (toim.) 1998. Borish's Clinical Refraction. Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Benjamin, William J. (toim.) 2006. Borish's Clinical Refraction. 2. painos. St. Louis, Missouri: Butterworth-Heinemann.

Charman, W. Neil 2007. The eye in focus: Accommodation and Presbyopia. Clinical and Experimental Optometry. Verkkodokumentti.
<<http://onlinelibrary.wiley.com/store/10.1111/j.1444-0938.2008.00256.x/asset/j.1444-0938.2008.00256.x.pdf?v=1&t=hct23fjq&s=4f6055859b534696596378679b22025e33892fb0>> Luettu 25.7.2012.

Donders, F. C. 1864. On the Anomalies of Accommodation and Refraction of the Eye. English translation by W. D. Moore. London: The New Sydenham society.

Duane, Alexander 1922. Studies in Monocular and Binocular Accommodation with Their Clinical Application. American Ophthalmological Society. Verkkodokumentti.
<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1318318/pdf/taos00079-0136.pdf>>. Luettu 24.7.2012.

Forrester, John V. – Dick, Andrew D. – McMenamin, Paul – Lee, William R. 1999. The Eye. Basic Sciences in Practise. Lontoo: Harcourt Publishers W.B. SAUNDERS.

Glasser, Adrian – Campbell, Melanie C. W. 1998. Presbyopia and the Optical Changes in the Human Crystalline Lens with Age. Elsevier Science Ltd.

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

Grosvenor, Theodore 2007. Primary Care Optometry. 5. painos. St. Louis: Butterworth-Heinemann.

Hamasaki, Duco – Ong, Jin – Marg, Elwin 1956. The Amplitude of Accommodation in Presbyopia. American journal of optometry and archives of American academy of optometry. Verkkodokumentti.
<<http://www.ocf.berkeley.edu/~marg/pub/1956%20Jan%20The%20Amplitude%20of%20Accommodation%20In%20Presbyopia.pdf>>. Luettu 25.7.2012.

Heikkilä, Tarja 1998. Tilastollinen tutkimus. 5. painos. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kivelä, Tero 2011. Silmän rekenne ja toiminta. Teoksessa Saari, K. Matti (toim.): Silmätautioppi. 6. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy. 11–36.

Mancil, Gary L. – Bailey, Ian L. – Brookman, Kenneth E. – Campbell, J. Bart – Cho, Michael H. – Rosenbloom, Alfred A. – Sheedy, James E. 2011. Care of the Patient with Presbyopia. Optometric Clinical Practice Guideline. American Optometric Association. Verkkodokumentti. <<http://www.aoa.org/documents/CPG-17.pdf>>. Luettu 24.7.2012.

McBrien, Neville A. – Millodot, Michel 1986: Amplitude of Accommodation and Refractive Error. Investigative Ophthalmology and Visual Science. Verkkodokumentti.
<<http://www.iovs.org/content/27/7/1187.full.pdf>>. Luettu 25.2.2013.

Online Journal of Ophthalmology 2007. Homocysteinuria, Luxation of Lens , Zonule Fibers. Verkkodokumentti.
<http://shop.onjoph.com/catalog/product_info.php?cPath=22&products_id=6527>. Luettu 25.3.2013.

Rabbetts, Ronald B. 2007. Bennett & Rabbetts' Clinical Visual Optics. 4. painos. Philadelphia: Butterworth Heinemann Elsevier.

Rowe, Fiona J. 1997. Clinical Orthoptics. Blackwell Science Ltd.

Saari, K. Matti – Korja, Taru 2011. Silmän refraktio ja akkommodaatio. Teoksessa Saari, K. Matti (toim.): Silmätautioppi. 6. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy. 301–321.

Sheedy, James E. – Shaw-McMinn, Peter G. 2003: Diagnosing and Treating Computer-Related Vision Problems. Amsterdam: Butterworth-Heinemann.

Sterner, Bertil – Gellerstedt, Martin – Sjöström, Anders 2004. The amplitude of accommodation in 6–10-year-old children – not as good as expected!. The College of Optometrists. Verkkodokumentti.
<http://www.motorikogsyn.dk/Dokumenter/Dokumentation/doc_3.pdf>. Luettu 26.7.2012.

Teräsvirta, Markku 2011. Mykiö ja sen sairaudet. Teoksessa Saari, K. Matti (toim.): Silmätautioppi. 6. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy. 207–222.

Vuorenmaa, Niina 2010. Erityistyölasien vaikutus näköön liittyviin rasitusoireisiin näytöpäätyössä. Pro Gradu tutkielma. Biolääketiede. Itä-Suomen yliopisto.

Werner, Leonardo – Trindale, Fernando – Pereira, Frederico – Werner, Liliana 2000. Physiology of Accommodation and Presbyopia. Verkkodokumentti.
<http://www.scielo.br/pdf/abo/v63n6/en_9615.pdf>. Luettu 1.8.2012.



Akkommodaatiolaajuuden mittauslomake

Tutkija _____

Tutkittavan nimi _____

Sukupuoli nainen ___ mies ___

Syntymäaika (pp.kk.vvvv) _____. _____. _____ Ikä (täydet vuodet) _____

Annan luvan tässä lomakkeessa olevien tietojen luovuttamiseen Metropolian Ammattikorkeakoulun optometrian koulutusohjelman opiskelijoiden opinnäytetyötä varten. Opinnäytetyö käsittelee akkommodaatiolaajuutta. Kaikki tiedot ovat luottamuksellisia ja tullaan julkaisemaan opinnäytetyössä nimettöminä.

Allekirjoitus _____ Paikka ja pvm _____

Refraktio

OD Sf _____ Cyl _____ Ax _____ Prd _____ bas _____ Visus _____

OS Sf _____ Cyl _____ Ax _____ Prd _____ bas _____ Visus _____ Add _____ Visus OA _____

Peitä ei-tutkittava silmä peittolevyllä (käytä maitolasia, jos mahdollista).

Akkommodaatiolaajuus (dpt)

OD _____ (taulun etäisyys _____ cm)

OS _____ (taulun etäisyys _____ cm)

OA _____ (taulun etäisyys _____ cm)

Tutkijalle:

Akkommodaatiolaajuuden mittaaminen tehdään kaukorefraktion päälle, Duanen viivaa apuna käyttäen. Mikäli tutkittava tarvitsee ns. apu-addia nähdäkseen viivan, tulee **ADD:n määrä poistaa mitatusta akkommodaatiolaajuudesta.**

Mitta otetaan koekehysten linssin takapinnasta testitauluun. Pidä huoli, että testitaulu on suorassa.

Ota mitta tarkasti ja huolellisesti. Mittaa ½ cm:n (= 5 mm) tarkkuudella.



A-laajuuden mittaaminen opinnäytetyötä varten

Hei SO10K1!

Opinnäytetyömme aihe on akkommodaatiolaajuuden mittaaminen eri-ikäisiltä ja tulosten vertaaminen Duanen kuvaajan arvoihin.

Tarkoituksena on, että jokainen mittaa akkommodaatiolaajuuden kymmeneltä henkilöltä **Duanen viivaa apuna käyttäen**. Mittaukset tehdään harjoittelujakson (30.4. -1.6.2012) aikana. Apu on tarpeen, jotta saamme tarpeeksi kattavan otoksen opinnäytetyötämme varten. Näiden mittausten lisäksi teemme itse kesän aikana mittauksia niin paljon kuin mahdollista.

Mittaus tehdään monokulaarisesti ja binokulaarisesti kaukorefraktion päälle. Monokulaarista mittaa ottaessa, peitä ei-tutkittava silmä peittolevyllä. Käytä maitolasia, jos mahdollista. Tutkittavaa ohjeistetaan katsomaan testitaulun ohutta mustaa hiusviivaa ensin käsien mitan etäisyydeltä.

Taulua tuodaan rauhallisesti kohti katselijaa kunnes viiva häviää näkyvistä. Tältä taulun etäisyydeltä otetaan mitta koekehysten linssin takapinnasta testitaulun keskelle, $\frac{1}{2}$ cm:n (= 5 mm) tarkkuudella. Muista tarkistaa, että testitaulu on suorassa. Mittaa tarkasti ja huolellisesti.

Annamme mukaan erilliset lähitestitaulut mittauksen suorittamista varten sekä tarvittavat tulosten kirjauslomakkeet. **Tulokset merkitään lomakkeisiin dioptrioina ja cm:ä. Ikänäköisillä henkilöillä mittaustuloksista vähennetään mahdollisen lähilisän määrä.**

Tutkittavalta tulee kysyä lupa tietojen luovuttamiseen opinnäytetyötä varten.

Suuri kiitos kaikille jo etukäteen!

Hanna ja Maikku

