

TALLINNA TERVISHOIU KÕRGKOO



Meditsiinitehnilise hariduse keskus

Optometri sti õppekava

Sandra Gustavson

AKOMMODATSIOONI AMPLITUUDI MÕÕTMISMEETODITE VÕRLDUS

Lõputöö

Tallinn 2024

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödest, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Luban Tallinna Tervishoiu Kõrgkoolil avalikustada oma lõputöö PDF-versiooni raamatukoguprogrammis.

Lõputöö autori allkiri

/allkirjastatud digitaalselt/

/kuupäev digitaalallkirjas/

Lubatud kaitsmisele.

Juhendaja

Juhendaja Vootele Tamme, MSc

/allkirjastatud digitaalselt/

/kuupäev digitaalallkirjas/

KOKKUVÕTE

1. Sandra Gustavson (2024). Tallinna Tervishoiu Kõrgkool, meditsiinitehnilise hariduse keskus, optometri sti õppekava. Akommodatsiooni amplituudi mõjutavad tegurid. Lõputöö II, koosneb 34 leheküljest, 11 joonisest ja 39 kirjandusallikast.

2. Lõputöö eesmärk on:

- kirjeldada subjektiivseid ja objektiivseid akommodatsiooni mõõtmismeetodeid;
- võrrelda mõõtmismeetodite erinevaid tulemusi ja usaldusväärsust;
- analüüsida artiklite põhjal erinevuste põhjuseid;
- uurida kirjandusallikate põhjal, millised tegurid mõjutavad akommodatsiooni amplituudi.

Lõputöö metoodika on teoreetiline ning põhineb tõendus põhiste kirjandusallikate ülevaatel. Kasutatud allikad on tõlgitud inglise keelest. Allikaid on mõne erandina otsitud 2013—2023. väljaannetest.

3. Enim kasutatakse akommodatsiooni mõõtmiseks push-up meetodit ning RAF-ruler'it. Üha enam kasutatakse mõõtmiseks ka autorefraktomeetreid, mille usaldusväärsus on kliiniliselt tõestatud, sama usaldusväärseks peetakse ka dünaamilist retinoskopeerimist. Liigne lähitöö väsitab akommodatsiooni, mistõttu peaks rõhku panema võimalikult mugava ja akommodeerimist soodustavale asendile ja töökeskkonnale. Enim akommodatsiooni on kasutusel lõunasel ajal, seda nii laste kui ka täiskasvanute seas. Ametroopiad ning refraktiivkirurgia mõjutavad akommodatsiooni amplituudi.

Peamiseks võtmesõnadeks olid ingliskeelsed vasted sõnadele akommodatsiooni amplituud, ametroopiad, Hofstetteri valem, presbüopia, *RAF-ruler*, *push-up* meetod, autorefraktomeeter

SUMMARY

1. Sandra Gustavson (2024). Tallinn Health Care College, Medical Technology Education Centre, Chair of Optometry. Comparing measurement methods of accommodative amplitude. Thesis is written on 34 pages, include 11 illustrations. There are 39 literary sources used in this thesis.

2. The aim of the research is:

- to describe subjective and objective accommodation measuring methods;
- to compare the differences between the results and their reliability on the basis of the literary sources;
- to analyse the differences between results;
- which are the affecting factors for accommodative amplitude.

The research method of this study is theoretical, based on evidence-based sources. All the sources were translated from English. The used materials were published between 2013—2023.

3. The most used aid for measuring accommodation amplitude is RAF-ruler and technique push-up method. Autorefractometers are now more used than ever and their reliability is clinically approved, dynamic retinoscopy is also trustworthy method. Excessive near work exhausts accommodation that is why the working environment should be accommodative facilitating. The most accommodation is used at noon for children and adults alike. Different ametropies and refractive surgery impacts accommodative amplitude.

The main keywords were accommodation amplitude, ametropies, Hofstetter formulae, presbyopia, RAF-ruler, push-up method, autorefractometer

SISUKORD

KOKKUVÕTE.....	3
SUMMARY	4
SISSEJUHATUS.....	6
1. METOODIKA	7
2. AKOMMODATSIOONI MÕÕTMISMEETODID	8
2.1. SUBJEKTIIVSED AKOMMODATSIOONI MÕÕTMISMEETODID.....	8
2.1.1. <i>RAF-ruler</i>	8
2.1.2. <i>Push-up, push-down</i> ja miinus-meetod	9
2.2. OBJEKTIIVSED AKOMMODATSIOONI MÕÕTMISMEETODID	13
2.2.1. Hofstetteri valem	13
2.2.2. Digitaalsete vahenditega akommodatsiooni amplituudi mõõtmine	15
3. AKOMMODATSIOONI MÕJUTAVAD TEGURID.....	17
3.1. Pilgu suuna mõju akommodatsioonile.....	17
3.2. Lähitöö mõju akommodatsioonile	20
3.3. Akommodatsiooni muutus päeva lõikes	22
3.4. Ametroopia roll akommodatsioonis	24
4. ARUTELU	27
JÄRELDUSED.....	29
KASUTATUD KIRJANDUS	31

SISSEJUHATUS

Hiljutine COVID-19 viirusaegne kodukontoritesse liikumine on põhjustanud oluliselt suuremal määral lähitööd, millega seoses on suurenenud ka silmade koormus. Erinevate uuringute järgi on 90% lähitööd tegevatest inimestest tundnud erinevat ekraanist tingitud ebamugavust silmades või nägemises (Zamani Shahri et al., 2021: 1). 2017. aastal oli maailmas 4,77 miljardit nutitelefone kasutajat. Pikaajaline arvuti ja nutitelefone kasutamine põhjustab akommodatsiooni nõrgenemist (Safarina Narawi et al., 2020: 244, 247). Akommodatsioon on silmade võimekus fokuseerida lõpmatuses lähemal asuvatele objektidele (Devenier et al., 2021: 1). Hea lähinägemise tagab toimiv akommodatsioon ning kui selles süsteemis on häireid, võivad kaasuda astenopilised kaebused. On leitud, et ligi 21% kooliealistest Läti lastest on mingit tüüpi akommodatsiooni süsteemi probleem. Selle põhjuseks arvatakse olevat lähitöö osakaalu suurenemine ning sellega seonduv müopia kasv (Ikaunieks et al., 2017: 387).

Lähitööks kasutatakse erinevaid vahendeid: printitud tekste, e-lugereid, nutitelefone, sülearvuteid, tahvelarvuteid jm. Ekraanide puhul on võimalik seadistada nii teksti suurust, valgustatust kui ka polarisatsiooni. Arvatakse, et suurema valgustatusega muutuvad pupillid väiksemaks ning seetõttu paraneb, kujutise kvaliteet: aberratsioonid vähenevad ja teravussügavus suureneb (Muhamad et al., 2023: 207, 212). Lõputöös on leitud erinevaid uuringuid, mis käsitlevad akommodatsiooni amplituudi muutumise seost eeltoodud teguritega.

Binokulaarne nägemine hõlmab endas akommodatsiooni ja konvergenti. Silmaläätse kumeruse muutusega ehk akommodatsiooniga muutub lääts optiline tugevus ning selge kujutise tekkimine reetinale on erinevatele distantsidele vaadates tagatud. Konvergeerides tagatakse kujutise ühene teke võrkkestale. Konvergenti võib nimetada diploopia-vastaseks efektiks ning akommodatsiooni uduse nägemise-vastaseks mehhanismiks. Nende koos toimimine vastutab ühese selge kujutise tekke eest reetinale. (Asharlous et al., 2022: 2010)

Lõputöö eesmärgiks on võrrelda erinevaid akommodatsiooni amplituudi mõõtmise meetodeid ja vahendeid ning leida erinevate teaduslike allikate põhjal, millised tegurid lisaks vanuse kasvamisele mõjutavad akommodatsiooni toimimist ja akommodatsiooni amplituudi vähenemist. Akommodatsiooni kohta on oluline rohkem infot saada, et ennetada ja ravida akommodatsiooni häireid kõikides vanuserühmades.

1. METOODIKA

Lõputöö vormistamisel on lähtunud Tallinna Tervishoiu Kõrgkooli kirjalike tööde koostamise ja vormistamise juhendist. Lõputöö on referatiivne ja põhineb kirjandusallikate ülevaatel.

Kirjandusallikate leidmiseks kasutati peamiselt internetis leiduvaid teaduslikke andmebaase ning *Google* ja *Google Scholar* andmebaase. Veel on allikaid leitud teiste autorite kasutatud kirjanduse hulgast. Tekst on korrektselt refereeritud ning autoritele on viidatud. Kõik töös kasutatud kirjandusallikad on välja toodud kasutatud kirjanduses. Kasutati 2013.—2023. aasta allikaid, va mõni erand, mis näitab töös varasema aja ja praeguse aja info võrdlust, kuid püüti leida kõige värskemaid.

2. AKOMMODATSIOONI MÕÕTMISMEETODID

2.1. SUBJEKTIIVSED AKOMMODATSIOONI MÕÕTMISMEETODID

Subjektiiivseks akommodatsiooni mõõtmiseks on vajalik, et uuritav saaks protsessi käigus anda tagasisidet, kas optotüübid muutuvad selgeks või ebaselgeks. (Anderson & Stuebing, 2014: 4)

2.1.1. *RAF-ruler*

Akommodatsiooni subjektiiivseks mõõtmiseks saab kasutada *RAF-ruler*’it ehk RAF-mõõdikut (vt joonis 1). *RAF-ruler* on suhteliselt usaldusväärne mõõtmisvahend ning kasutusel 1956. aastast alates. See on ligikaudu poole meetri pikkune joonlaud, mille ühel poolel on sentimeetrite ja teisel poolel dioptrite vahemikud ning mõõdiku peale on kinnitatud edasi-tagasi liikuv risttahukas, mille neljal küljel asuvad sihtmärgid erinevate testide sooritamiseks. Ühes otsas on käepide ja teises otsas tugi, mis toetub uuritava põsesarnadele. (Burns et al., 2020: 4; Shukla, 2020: 1521) Kui uuritavale on testi sooritamine tuttav, siis annab ta subjektiiivsele akommodatsiooni mõõtmise testidele täpsemaid vastuseid. (Esmail & Arblaster, 2016: 35). Subjektiiivselt saab akommodatsiooni mõõta lähimast punktist, mida katsealune selgelt näeb, objektiivselt mõõdetakse silma refraktsiooni suurenemist. (Ozulken K & Kiziltoprak H, 2019: 154).



Joonis 1. Uuritavale sooritatakse *RAF-ruler*-iga *push-up* meetodil akommodatsiooni amplituudi mõõtmist. (Black P. & Arbon Black T., 2021)

RAF-mõõdiku testmärki viiakse silmadele lähemale ühtlase kiirusega. Burns jt on välja toonud, et liiga kiire sihtmärgi liikumine ei ole usaldusväärne, sest reaktsiooniaeg võib põhjustada oluliselt suurema akommodatsiooni amplituudi näidu. Väidetakse, et aeglase reaktsiooni mõju võib anda kolmandiku võrra kõrgema akommodatsiooni väärtuse (Burns et al., 2020: 6).

2.1.2. *Push-up, push-down* ja miinus-meetod

Tavapäraselt *push-up* meetodit on akommodatsiooni lähipunkti mõõtmiseks kasutatud üle sajandi. Sellisel viisil akommodatsiooni lähipunkti mõõtmiseks tuuakse sihtmärki uuritava silmadele lähemale, kuni sihtmärk ei ole enam täiesti selge ja läheb uduseks (Esmail & Arblaster, 2016: 35). Testi võib sooritada nii monokulaarselt kui ka binokulaarselt. Tulemus mõõdetakse sentimeetrites ning arvutatakse ümber dioptriteks valemiga 100 jagatud saadud sentimeetrid (Pateras, 2012: 10).

Burns jt on öelnud, et *push-up* ja *push-down* meetodil saadud tulemusi tuleks võrrelda sarnaselt (Burns et al., 2014: 76). *Push-down* meetodi jaoks kasutatakse sarnaselt *push-up* meetodile RAF-ruler'it. Uuritavale viiakse sihtmärk silmadele võimalikult lähedale ning hakatakse aeglaselt eemaldama kuni kujutise selginemiseni. (Burns et al., 2020: 4) Miinusmeetodi puhul lisatakse korrigeeritud uuritava silmade ette -0,25 D läätsesid ning Snelleni lähitesti hoitakse 33 cm kaugusel. Läätsesid lisatakse seni, kuni uuritav ei suuda enam teksti selgena hoida. Testi sooritatakse monokulaarselt. Akommodatsiooni suuruseks loetakse lisatud negatiivsete läätsede summat (Pateras, 2012: 10—11).

Esmail ja Arblaster on enda töös *push-down* meetodit nimetanud muudetud *push-up* meetodiks, mille puhul jäetakse RAF-mõõdiku sihtmärk esmalt silmadele lähimasse asendisse ning hakatakse silmadest eemale tooma, kuni sihtmärgi selgeks muutumiseni. Võrreldi kahe testi tulemusi ning leiti, et tavalise *push-up* meetodiga mõõdetuna jäi tulemus silmadele lähemale (keskmine 8,35 cm) kui muudetud *push-up* meetodiga (9,08 cm). Mõlema meetodi jaoks kasutati RAF-ruler'it, kirja suurus oli 1,0. Tavapärase *push-up* meetodi puhul oli tulemust võimalik fikseerida, kui sihtmärk läks selgest uduseks, muudetud *push-up* meetodi puhul aga kui sihtmärk läks udusest selgeks. Esmalt tehti monokulaarsed mõõtmised, seejärel binokulaarsed. Binokulaarsed mõõtmised jäid 1 cm võrra lähemale kui monokulaarsed. Parema ja vasaku silma erinevus oli vastavalt 0,51 ja 0,61 cm, mida ei peetud oluliseks erinevuseks.

Testi tulemustest järeldati, et kui tavapärase *push-up* testi tulemused jäid silmale lähemale, siis jäid ka muudetud *push-up* testi omad ehk olid omavahel seoses. Kuna muudetud meetodi puhul jäid mõõtmistulemused silmast kaugemale, siis ei soovitatud neid teste vaheldumisi sooritada. Peale akommodatsiooni lähipunkti mõõtmist soovitatakse üles märkida, millist meetodit on kasutatud. Testi lõpus küsiti uuritavatele, kummast meetodist oli lihtsam aru saada ja kasutada ning nende vastustest selgus, et muudetud *push-up* meetodist. Võrreldes tavapärase *push-up* meetodiga on udususe ja selguse äratundmine uuritavale lihtsam. Erinevate uuringute tulemused annavad vastakaid tulemusi: osade uuringute tulemustes kajastub, et tavapärase mõõtmismeetodi järgi jääb lähipunkt uuritava silmadele lähemale kui muudetud meetodi puhul, osades kajastub aga vastupidine. (Esmail & Arblaster, 2016: 35—36, 38—39) *Push-up* meetodiga võib lugemiskaardi sihtmärgi tähtede suhtelise suurenduse tõttu silma akommodatsiooni ülehinnata (Pateras, 2012: 11).

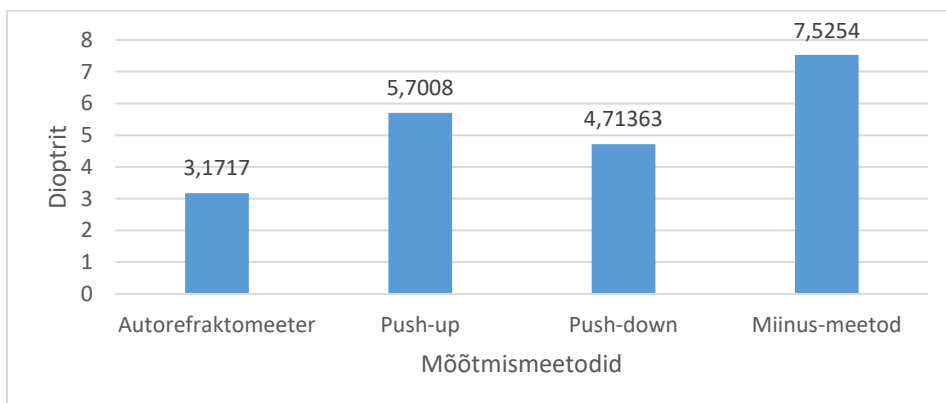
Burns jt on enda uuringus välja toonud, et erinevates allikates on sihtmärgi selginemist kirjeldatud erinevalt. Varasemate allikate järgi loetakse akommodatsiooni lõpp-punktiks, kui sihtmärk on „küllalt selge“, kuid hilisemate allikate järgi kui sihtmärk on „terav ja selge“. On ära märgitud, et erinev selginemise nimetus võib tähendada erinevat testi (Burns et al., 2020: 4) *Push-down* meetodist võib uuritaval olla lihtsam aru saada kui *push-up* meetodist (Mathebula et al., 2018: 7).

Momeni-Moghadam'i ja tema kolleegide uuringus osales 52 üliõpilast ning võrreldi tavapärase *push-up* testi, muudetud *push-up* testi, *push-down* testi ja miinusmeetodi tulemusi. *Push-up* testis pidid uuritavad vaatama 1,0 suurusega sihtmärki 40 cm kauguselt, mida liigutati silmadele lähemale. Kui sihtmärk muutus ebaselgeks ning paari sekundi jooksul seda teravustada ei suudetud, märgiti see tulemus millimeetrites ja arvutati dioptritesse. *Push-down* meetodi puhul toodi kõigepealt 1,0 kirjasuurusega tekst silmade lähedale ning seejärel viidi kaugemale kuni uuritav suutis kirja selgelt lugeda, tulemus arvutati millimeetritest ümber dioptritesse. Miinusmeetodi puhul seati Snelleni lähitest 40 cm kaugusele ja paluti vaadata 1,0 kirjasuurust ning eelnevalt korrigeeritud optilisele tugevusele hakati lisama -0,25 D läätsi, kuni uuritav ei suutnud enam pilti selgena hoida. Muudetud *push-up* meetodi puhul lisati uuritava korrigeeritud tugevusele -4,0 D lisaääts, ülejäänud osas toimus kõik sarnaselt tavapärasele *push-up* meetodile. Uuringus leiti, et *push-up* meetodi tulemused ($11,21 \text{ D} \pm 1,85$) olid teistest kolmest kõrgemad ning miinusmeetodi tulemus ($9,31 \text{ D} \pm 1,61$) kõige madalam. Tulemuse erinevus tuleneb akommodatsioonisüsteemi erinevast stimulatsioonist: *push-up* meetodil sihtmärki

silmale lähemale liigutades kujutis reetinal suureneb, samas miinusmeetodi puhul muutub kujutis väiksemaks (Momeni-Moghaddam et al., 2014, 683—684).

Altoaimi võrdles 2022. aastal *push-up* meetodit, miinusmeetodit ning Hofstetteri akommodatsiooni valemeid 79 uuritava peal, vanuses 19—30 aastat. Miinusmeetodi puhul kasutati 40 cm distantsi ehk 2,5 D akommodatsiooni. *Push-up* meetodi puhul saadi keskmiseks mõõtmistulemuseks 9,4 D ning maksimaalseks 12,5 D, miinusmeetodi puhul keskmiseks 8,6 D ning maksimaalseks 13,75 D ning Hofstetteri valemi järgi arvutades minimaalseks 8,9 D, keskmiseks 15,2 D ning maksimaalseks 16,6 D. Kõik tulemused olid omavahel üsna erinevad. Kõige sarnasemad mõõtmistulemused saadi miinusmeetodi ning Hofstetteri miinimumiga, mis on vastavuses ka varasemalt avaldatud uuringutega. Madalam miinusmeetodi tulemus võib olla tingitud väiksema võrkkesta kujutise tõttu ning ka kujutise kvaliteet on seetõttu halvem. (Hamad Altoaimi, 2022: 34—35)

Burns jt on uurinud, millised tegurid võivad akommodatsiooni amplituudi mõõtmist mõjutada ning on neid võrrelnud *push-up* ja *push-down* testi ning miinusmeetodiga. On välja toodud, et nii *push-up* ja *push-down* kui ka miinusmeetodit mõjutab fookussügavus, korrektsioon ja uurija ootus uuritava mõõtmistulemuste suhtes, kuna sageli eeldab uurija uuritava tulemusi. *Push-up* ja *push-down* testi puhul peetakse oluliseks reaktsioonikiirust, mõõtmisvahendi korrasolekut ning veidi vähem olulisemaks peetakse, kas testi sooritatakse monokulaarselt või binokulaarselt ja tulemuste tagasisidet. Miinusmeetodi puhul peetakse oluliseks võimalikuks mõõtmisveaks kujutise väiksemaks muutumist, samuti uurimisel kasutusel olevaid prooviläätsi, kuid neid ei peeta kliiniliselt oluliseks teguriks. (Burns et al., 2020: 6, 10)



Joonis 2. Subjektiiivsete ja objektiivsete AA mõõtmismeetodite võrdlus. (Ozulken K & Kiziltoprak H, 2019: 153).

Ozulken jt uuringus võrreldi 300 uuritava mõlema silma akommodatsiooni amplituudi erinevate mõõtmismeetoditega ning leiti sarnaselt varasemate avaldatud allikatega, et kõige suurem akommodatsiooni amplituud saadi miinus-meetodiga 7,52540 D, seejärel *push-up* meetodiga 5,7008 D, *push-down* meetodiga 4,71363 D ning objektiivselt autorefraktomeetriga 3,1717 D (vt joonis 2). (Ozulken K & Kiziltoprak H, 2019: 152—153)

Abu jt on võrrelnud subjektiivseid ja objektiivseid akommodatsiooni mõõtmismeetodeid 10—39-aastastel uuritavatel. Subjektiivseteks meetoditeks kasutati miinusmeetodit, *push-down*, *push-up* ja muudetud *push-up* meetodeid, viimase puhul lisati kaugkorrektsioonile -4 D lisaäätsed, muus osas toimus test sarnaselt tavapärasele *push-up* tehnikale. Objektiivsetest meetoditest kasutati Hofstetteri arvutuslikku keskmist akommodatsiooni amplituudi leidmise valemit ning dünaamilist retinoskopeerimist. Järeldati, et omavahel kõige sarnasemad olid muudetud *push-up* testi ning dünaamilise retinoskopeerimise ja Hofstetteri arvutusliku keskmise valemi tulemused. Samuti leiti sarnased olevat ka tavapärase *push-up* meetodi ning Hofstetteri arvutusliku keskmise mõõtmistulemused. Miinusmeetodi tulemused jäid kõige madalamateks ning *push-up* meetodi omad kõige kõrgemateks. (Abu et al., 2018: 1145—1147, 1149—1150) Nigeeria lastel läbi viidud uuringust järeldati, et kõige sarnasemad tulemused jäid miinusmeetodi ning muudetud *push-up* meetodi tulemused ning *push-up* ja *push-down* meetodi tulemused. Sarnaselt Abu jt uuringule on leiti, et sarnaste tulemustega teste võib omavahel vaheldumisi läbi viia. (Amiebenomo et al., 2018: 183)

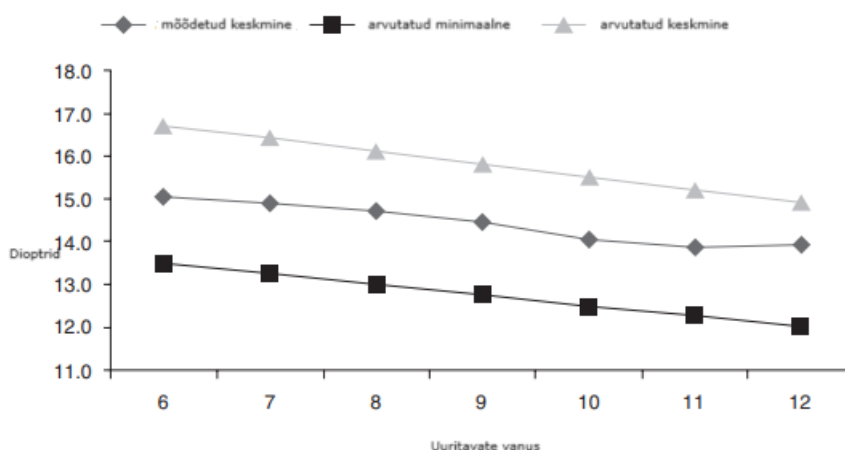
2.2. OBJEKTIVSED AKOMMODATSIOONI MÕÕTMISMEETODID

Objektiivse akommodatsiooni amplituudi mõõtmisel uuritav tagasisidet ei anna. Mõõtmistulemused selguvad uuritava poolt tehtud testidega, näiteks sooritatakse mõõtmine autorefraktomeetriga ning selle põhjal saab hinnata akommodatsiooni amplituudi suurust (Anderson & Stuebing, 2014: 8).

2.2.1. Hofstetteri valem

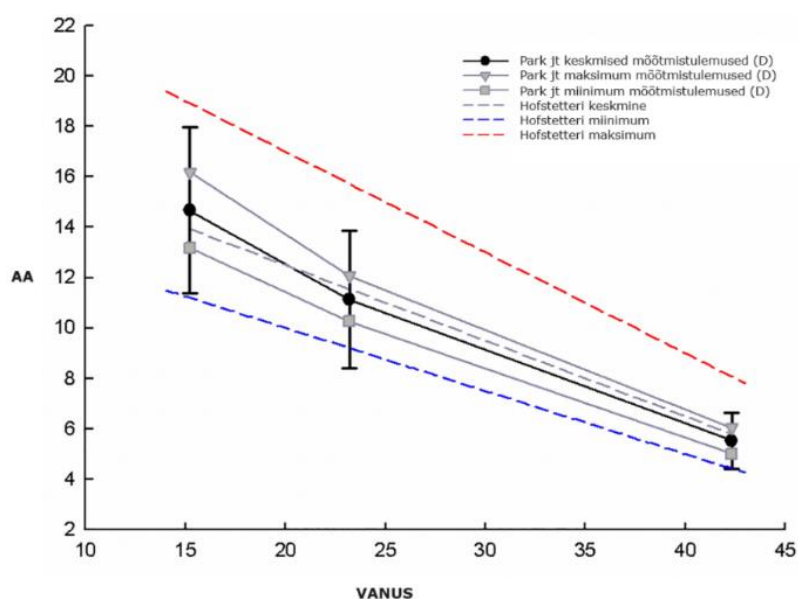
Akommodatsiooni amplituudi normatiivid on kasutusel aastast 1912 ning need võttis kasutusele Duane, hiljem muudeti norme Hofstetteri poolt (Shukla, 2020: 1521). Minimaalse akommodatsiooni amplituudi saab välja arvutada valemiga $15 - (0,25 \times \text{patsiendi vanus})$, keskmise valemiga $18,5 - (0,30 \times \text{patsiendi vanus})$ ning maksimaalse akommodatsiooni valemiga $25 - (0,40 \times \text{patsiendi vanus})$. (Akujobi, 2018: 2) Hofstetter pakkus välja akommodatsiooni amplituudi arvutamise valemid vanuse põhjal, Duane aga madalaima (9,7 D), keskmise (11,5 D), ülempiiri (13,0 D) ning äärmusliku akommodatsiooni amplituudi ülempiiri (14 D). Khani jt laiaulatuslikes analüütilistes uuringutes, milles analüüsiti 5433 eri vanusest, rassist ja soost uuritavaid, tõestati, et Hofstetteri valemi järgi arvutades saadi suurem akommodatsiooni amplituud, kui see subjektiivsete mõõtmistega tegelikult oli. Arvutuslikult minimaalne akommodatsioon väheneb aastaga 0,15 D, maksimaalne 0,34 D ja keskmine 0,24 D võrra, Hofstetteri järgi peaks vähenemine olema minimaalse juures 0,25 D, maksimaalse juures 0,40 D ja keskmise järgi 0,30 D aastas. Khani jt analüütilise uuringu järgi peaks keskmise akommodatsiooni amplituudi arvutamise valem olema $14,9 - (0,24 \times \text{patsiendi vanus})$, sel juhul oleksid arvutuslikud mõõtmistulemused sarnasemad subjektiivsetele tulemustele. Järeldati, et Hofstetteri mõõtmistulemused on eeldatavasti täpsemad 10-aastaste ning vanemate katsealuste puhul (Khan et al., 2022: 3, 6—7)

Hashemi jt läbilõike uuringus võrreldi laste akommodatsiooni amplituudi *push-up* meetodi ja Hofstetteri minimaalse ja keskmise valemi järgi ning järeldati, et mõõdetud tulemused ületasid objektiivseid tulemusi (vt joonis 3). Autorid on arutlenud varasemate uuringute üle, milles on leitud, et laste akommodatsiooni amplituudi vähenemine 6—12-aastaste laste seas (15,04 D-lt 14,03 D-le) ei ole kliiniliselt oluline muutus (Hashemi et al., 2018: 4—5)



Joonis 3. 6—12-aastaste laste *push-up* meetodil mõõdetud akommodatsiooni amplituudi võrdlus Hofstetteri valemiga arvutatud minimaalse ja keskmise akommodatsiooni amplituudiga. (Hashemi et al., 2018: 4, kohandatud)

Park jt päeva lõikelises akommodatsiooni amplituudi uuringus võrreldi Hofstetteri miinimumi, keskmist ja maksimum amplituudi, uuringus osalesid 15—40-aastased katsealused. Leiti, et Hofstetteri maksimum ületab selgelt subjektiivseid mõõtmistulemusi, kuid Park jt uuringu keskmised tulemused ja Hofstetteri keskmise valemi järgi arvutatud tulemused olid omavahel ligikaudu samad (vt joonis 4). (Park et al., 2019: 5)



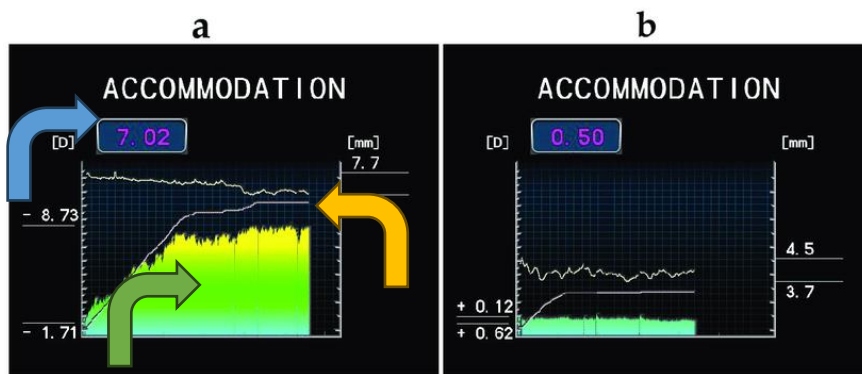
Joonis 4. Keskmise, miinimum ja maksimaalse akommodatsiooni amplituudi mõõtmistulemuste ja Hofstetteri keskmise, miinimumi ja maksimaalse tulevuste võrdlused (Park et al., 2019: 5, kohandatud).

Park jt ja Hashemi jt uuringutest järel dati, et Hofstetteri keskmise valemi järgi arvutades ning subjektiivselt mõõdetud keskmised tulemused jäävad sarnasesse vahemikku (Hashemi et al., 2018: 4; Park et al., 2019: 5).

2.2.2. Digitaalsete vahenditega akommodatsiooni amplituudi mõõtmine

Varasemalt olid kliinilises kasutuses vaid avatud vaateväljaga autorefraktomeetrid, millega oli võimalik mõõta ka akommodatsiooni amplituudi. Weng jt on 2020. aasta uuringuga püüdnud välja selgitada, kas uuema põlvkonna tehnoloogia abil on objektiivse akommodatsiooni amplituudi mõõtmise tulemused hästi korratavad, isegi kui suurem osa katsealustest on varapresbüoobid ja müoobid. Mõõtmised sooritati NIDEK Tonoref III autorefrakto-keratomeetriga, millega saab lisaks akommodatsiooni amplituudile (vt joonis 5) mõõta ka silma siserõhku ja sarvkesta paksust. Uuringu tulemustest selgus, et Tonoref III-ga mõõdetud tulemused on korratavad ning usaldusväärsed, keskmiselt oli kahe mõõtmise tulemuste vahe 0,23 D. Veel leiti, et meeste akommodatsiooni amplituud oli kõrgem kui naiste oma ja pupilli suurus mõjutab akommodatsiooni. Weng jt on oletustele tuginedes arutlenud, et suurema mioosiga inimestel on suurem akommodatsiooni tundlikkus. Tonoref III on usaldusväärne töövahend, mida on lihtne ja kiire kasutada ning sobib kliinilisteks uuringuteks. (Weng et al., 2020: 1—6)

Ozulken ja Kiziltoprak testisid sama aparati nii presbüoopidel kui mittepresbüoopidel jagades 300 uuritavat, vanuses 25—65 aastat ja keskmine vanus $39,06 \pm 0,608$ aastat, vanusegruppidesse. Kõiki uuritavaid testiti samal ajavahemikul: hommikul kella 10—12- ni, keskkond ja valgustatus säilitati ühtlasena kõikide uuritavate jaoks. Tonoref III mõõdab akommodatsiooni stiimulit liikudes plusspoolelt miinuspoolele. Mõõtmine lõpetatakse, kui akommodatsioonis ei ole kuue sekundi jooksul olnud muutuseid või kui testi algusest on möödunud 30 sekundit. Tulemuseks arvutatakse maksimaalse ja minimaalse refraktsiooni väärtuste vahe. Mittepresbüoopidega viidi läbi ka subjektiivsed *push-up*, *push-down* ja miinusmeetodi testid tuvastamaks, kas subjektiivsete ja objektiivsete meetodite vahel on tuvastatav teatav korrelatsioon. Tuldi taas järeldusele, et subjektiivsed mõõtmistulemused ületavad objektiivseid ja kaasaegse aparatuuriga on võimalik objektiivselt täpsemaid tulemusi saada. Objektiivselt mõõdetuna jäi keskmiseks akommodatsiooni amplituudiks $3,17 \pm 1,65$ D ja subjektiivsete mõõtmiste tulemused *push-up* meetodil $5,7 \pm 0,9$ D, *push-down* meetodiga $4,71 \pm 0,08$ D ja miinusmeetodiga $7,53 \pm 0,08$ D. (Ozulken & Kiziltoprak, 2019: 150—151)



Joonis 5. Tonoref III-ga mõõdetud akommodatsiooni amplituudi ja pupilli suuruse muutus a) 25-aastasel 7,02 D ja b) 53-aastasel 0,50 D. Sinine nool näitab akommodatsiooni amplituudi, kollane nool pupilli suurust ning roheline nool akommodatsiooni amplituudi graafikut. (Kubota et al., 2020: 3, kohandatud)

Houstoni Ülikoolis võrreldi 5—60-aastaste akommodatsiooni amplituudi, kasutades selleks avatud vaateväljaga refraktomeetrit (vt joonis 6) ning dünaamilist retinoskopeerimist. Saja uuritava läbi viidud uuringust selgus, et omavahelised mõõtmistulemused on sarnased, keskmised erinevused jäävad $0,02 \pm 0,97$ D juurde. Uuringust järeldati, et dünaamiline retinoskopeerimine sobib kliiniliseks kasutamiseks samalaadselt avatud vaateväljaga refraktomeetriga (Aboumourad & Anderson, 2019: 9).



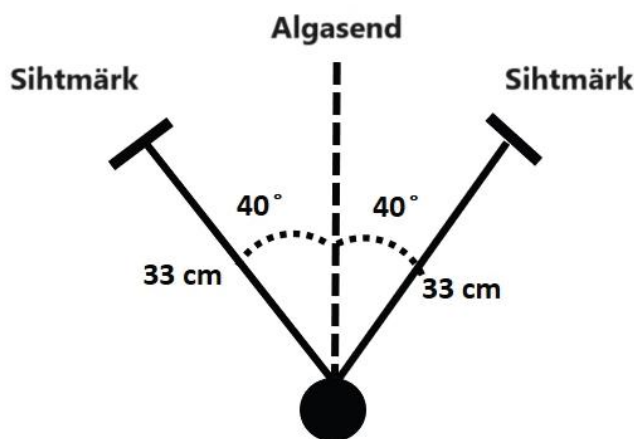
Joonis 6. Vasakul pildi poolel klassikaline ning paremal avatud vaateväljaga refraktomeeter (Kiermasz J et al., 2022)

Avatud vaateväljaga refraktomeetrit kasutades on uuritava akommodatsioon lõõgastunud, kuna uuritav saab vaadata lõpmatusse (Rao et al., 2022: 2).

3. AKOMMODATSIOONI MÕJUTAVAD TEGURID

3.1. Pilgu suuna mõju akommodatsioonile

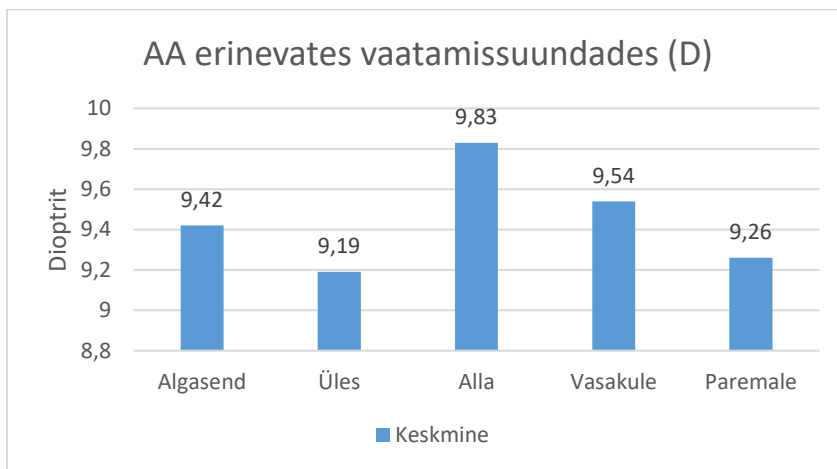
2018. aastal viidi 19—25-aastaste (21 osalejat) emmetroopide või emmetroopideks korrigeeritud uuritavate seas läbi uuring, milles püüti välja selgitada, mil määral mõjutab pilgu suund binokulaarseid funktsioone, nagu näiteks konvergentsi, lähifooriaid ja monokulaarset akommodatsiooni kergust viies erinevas pilgu suunas. Mõõdeti otse-, üles-, alla-, paremale-, ja vasakule suundades. Uuringus ei saanud osaleda üle 0,5 D suuruse refraktsioonivea ega strabismiga üliõpilased. Sihtmärki liigutati igasse suunda algasendist 40 kraadi võrra, et mõõtmistulemused oleksid võrreldavad, testi valmisseadmiseks kasutati malli ning joonlauda. (vt joonis 7). Testide teostamise järjekord oli juhuslik ning iga suuna mõõtmiste vahele jäeti 5-minutiline paus. Optotüüpideks kasutati lähitesti 0,63 nägemisteravuse rida. (Asharlous et al., 2022: 210—211)



Joonis 7. Asharlous jt tegid mõõtmisi 33 cm kaugusel silmast ning muutsid pilgu suunda 40 kraadi võrra (Asharlous et al., 2022: 214, kohandatud).

Uuringust järeldati et akommodatsiooni amplituudi tulemuste erinevus temporaalsele-, nasaalsele- ja otsesuunale ei olnud märkimisväärse erinevusega, küll aga erinesid mõõtmistulemused üles ja alla vaatamisel (vt joonis 8). Meeste keskmine akommodatsiooni amplituud oli naiste omast suurem. Samuti muutusid märkimisväärselt lähi- ja otsevaate fooriate suurused. (Asharlous et al., 2022: 209—213) Ka Bal jt uuringust selgus, et naiste akommodatsiooni amplituud oli meestega võrreldes madalam ning seetõttu muutuvad nad

meestest varem presbüoopseks. Oletatakse, et selle põhjuseks võivad olla hormonaalsed muutused. (Bal et al., 2018: 22—23)

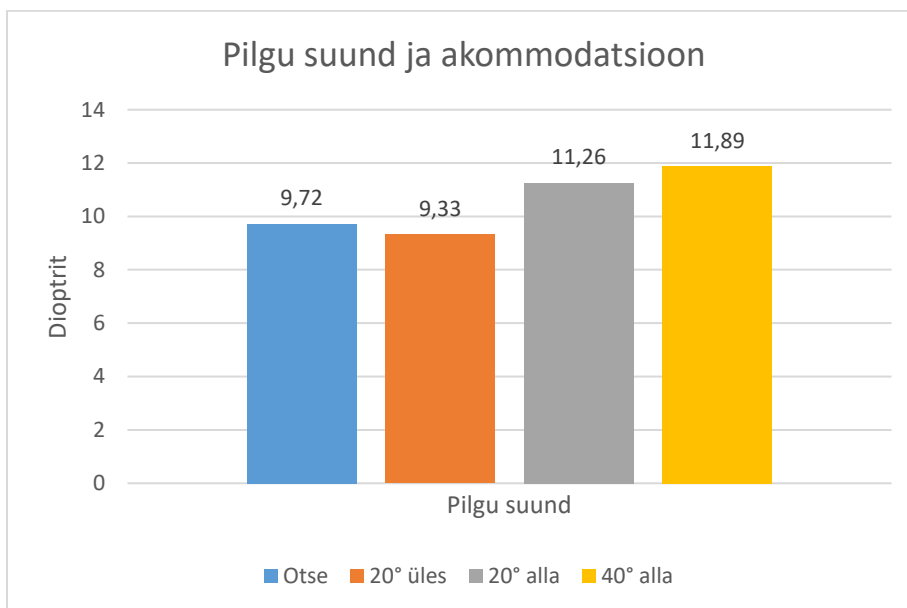


Joonis 8. Akommodatsiooni amplituudi mõõtmistulemused erinevates vaatamissuundades (Asharlous et al., 2022: 213).

Varasemalt läbiviidud uuringutest on avaldatud vastakaid arvamusi: Atchison jt on enda 1993. aasta uuringus väitnud, et pilgu suunal ei ole olulist mõju akommodatsiooni amplituudi suurusele ning on püüdnud ümber lükata Hessi väiteid, et akommodeeritud läätsel mõjub gravitatsioon, kuid akommodeerimata olekus läätsel gravitatsiooni mõju ei ole. Hess tegi kindlaks, et alla lähedale akommodeerides on silmalääts sfäärilisem kui üles lähedale akommodeerides. Tema sõnul liikus silmalääts maksimaalselt akommodeerides ning alla vaadates 0,15 mm eeskambri suunas. Atchison jt leidsid, et lõdvestunud silmaläätse puhul annab iga 0,1 mm suurune nihe ettepoole 0,12 D akommodatsiooni ehk 10,9 D suuruse akommodatsiooni korral lisanduks läätsel tugevusele 0,2 D, millel puudub märkimisväärne mõju. (Atchison et al., 1994: 339). Asharlous jt on kritiseerinud varasemaid akommodatsiooni ja konvergenti uuringuid, sest need on tehtud eraldiseisvatena ning viisid siis ise uuringud läbi nii, et võeti arvesse binokulaarse nägemise erinevaid külgi, mille juurde kuuluvad ka fooriad ja pilgu suuna olulisus. (Atchison et al., 1994: 339). Atchison jt on ka enda 2016. aasta uuringus öelnud, et gravitatsiooni mõju akommodatsioonile on küll olemas, kuid toetab siiski Helmholtzi teooriat, milles on öeldud, et akommodatsiooni põhjustab ripslihase kokkutõmme ning silmalääts muutub ümaramaks (D. A. Atchison et al., 2016).

Malaisias uuriti poole aasta vältel 32 noort (15—35 a) ja püüti teada saada, mil määral mõjutab lugemisasend akommodatsiooni. Sellesse kaasati vaid tervete silmadega uuritavad, kelle

nägemisteravus oli korrigeeritult 1,0, erinevate häirete või patoloogiatega inimesi ei kaasatud. Akommodatsiooni amplituudi mõõdeti monokulaarselt miinusmeetodiga, sooritati kolm mõõtmist ning arvutati nende keskmine tulemus. Uuritava asendi, uurimisvahendite, ruumi ja valgustuse tingimused olid kogu uuringu vältel samad: teksti suurus oli N6 (1,0 detsimaalühikut), valgustus 120—160 luxi, lugemiskaugus 33 cm ning kõikide asendite puhul oli kaldenurk 30°. Uuringus selgus, et akommodatsiooni amplituud suurenes 1,92 D võrra, kui asendit muudeti istuvast seisvasse, lisaks selgus, et emmetroopidel on müoopide ja hüperoopidega võrreldes suurem akommodatsiooni amplituud. (Majumder, 2018: 002, 004)



Joonis 9. Pilgu suuna ja akommodatsiooni amplituudi suhe. Kõige rohkem akommodeeritakse 40° juures alla vaadates ja kõige vähem 20° juures üles vaadates. (Majumder 2015: 278)

Veel on Majumder võrrelnud 18—26-aastaste noorte akommodatsiooni amplituudi miinusmeetodiga ning võrrelnud, millise pilgu suuna korral on akommodatsiooni amplituud kõige suurem. Ta uuris noori erinevate vertikaalsete pilgu suundadega ning sai tulemused otse vaatamisel ($9,72 \text{ D} \pm 1,77 \text{ D}$), 20° üles ($9,33 \text{ D} \pm 1,73 \text{ D}$), 20° alla ($11,26 \text{ D} \pm 1,82 \text{ D}$) ning 40° alla ($11,89 \text{ D} \pm 1,95 \text{ D}$) vaatamisel ning leidis olulise erinevuse 20° juures üles vaatamisel ning 40° juures alla vaatamisel ($9,33 \text{ D} \pm 1,73 \text{ D}$ vs $11,89 \text{ D} \pm 1,95 \text{ D}$), erinevuse suurus oli ligikaudu 2,5 D (vt joonis 9). (Majumder 2015: 276—277)

3.2. Lähitöö mõju akommodatsioonile

Sagedase ja pikaajase ekraanide kasutamisega kaasneb ebamugavustunne nii silmades kui ka nägemises. Nendeks võivad olla astenopilised kaebused, näiteks udune nägemine, sügelevad või kuivad silmad. On täheldatud, et kolmandikul ekraanide kasutamisest tingitud kaebuste all kannatajatel esineb mõni akommodatsiooni häire. (Devenier et al., 2021: 1—2) Pikaajase lähitöö tagajärjel võib erinevatele distantsidele fokuseerimine olla raskendatud (Jaiswal et al., 2019: 468).

2017. aastal viidi läbi uuring, milles võrreldi 47 terve noore täiskasvanu (18—30 a) akommodatsiooni andmeid enne ja pärast pooletunnist 40 cm kauguselt ekraanilt lugemist. Testis kasutati 5-tollist nutitelefoni. Ruumi ja ekraani valgustus oli muutumatu kogu uuringu vältel. Lugemiseks kasutati Snelleni kaardi 1,0 rida. Uuringuks kasutati *RAF-ruler*-it, kuid pole täpsustatud, millist akommodatsiooni amplituudi mõõtmismeetodit (*push-up/push-down*, miinusmeetod vm). Akommodatsiooni lähipunkti mõõtmistulemused erinesid omavahel 0,02 cm võrra ehk enne testi oli akommodatsiooni lähipunktiks 8,85 cm ja pärast 8,87 cm ehk ümber arvatult vähenes akommodatsiooni amplituud ligikaudu 0,5 D. (Padavettan et al., 2021: 1487—1490). Narawi jt 2020. aasta uuringust tehti erinevaid järeldusi: akommodatsiooni amplituud langes pärast nutitelefoni kasutamist monokulaarselt keskmiselt 9,9 D-lt 8,76 D-le ja binokulaarselt 12,02 D-lt 10,96 D-le. Selleks uuriti 40 19—30-aastast Malaisialast, kel paluti mängida 20 minutit järjest nutitefonil sõnamängu. Enne ja pärast nutiseadme kasutamist mõõdeti *push-up* meetodiga akommodatsiooni amplituudi kolm korda, seda nii monokulaarselt kui binokulaarselt. (Safarina Narawi et al., 2020: 245—246)

Lõuna-Aafrika Vabariigi teadlased testisid 30 katsealuse (keskmine vanus 20,16 a) akommodatsiooni. Uuringu eesmärgiks oli teada saada, kas akommodatsioonis on muutusi ja erinevusi, kui lähitööks kasutatakse ekraani või prinditud teksti. Varasemates uuringutes on märgitud, et lähitööst tingitud kaebused on pärast ekraani vaatamist märkimisväärselt suuremad kui pärast trükitud kirja lugemist. Veel on väidetud, et teksti suurus ja pilgu suund võivad olla ekraani ja paberteksti vaatamisel erinevad. Paberilt lugedes on peegeldused väiksemad ning tekst kontrastsem. Ekraani tekst koosneb pikslitest ning ei ole stabiilne. Varasemad ekraane ja paberteksti võrdlevad uuringud on tehtud suuremate ekraanide ja kindlalt fikseeritud lugemisdistantsilt, samas kui kaasaskantavaid nutiseadmeid kasutatakse erinevatel distantsidel ning need on väiksema ekraaniga. Devenier jt kasutasid enda uuringus tahvelarvutit *iPad Mini*

kõrgema pikslite arvuga mudelit *Retina Display*, mis peaks vähendama ekraanist tingitud silmade pinget. Testide sooritamiseks püüti tekitada võimalikult sarnased tingimused: nii paberile printitud sihtmärk kui ka tahvelarvuti asetati uuritavast samale kaugusele lugemisalusele, ruumi valgustatus oli kontrollitud ja teksti suurus ning kontrast olid samad nii paberil kui ka ekraanil. Akommodatsiooni amplituudi mõõdeti binokulaarselt ning kasutati *push-up* testi, mida sooritati kolm korda ning tulemuseks arvutati nende keskmine. *iPad*-ilt lugedes jäi tulemuseks 10,5 D ning paberilt lugedes 9,85D, mida on peetud oluliseks erinevuseks. Autorid on oma uuringus järeldanud, et tänapäevane tihe nutiseadmete kasutamine nii töises kui ka koduses keskkonnas nõuaksid nägemiskontrolli teostamisel samuti digitaalseid võimalusi akommodatsiooni mõõtmiseks, et mõõtmistulemused oleksid adekvaatsed ka neile, kelle igapäevane töö toimub ekraane kasutades. (Devenier et al., 2021: 1—3)

Kang jt uurisid 46 alla 40-aastast katsealust. Uuritavatele jagati erineva suurusega nutiseadmed: tahvelarvuti ja nutitelefon ning neil paluti *Youtube*'i platvormis vaadata nädalase vahega mõlema seadmega tund aega kestvat dokumentaalfilmi, huvi säilitamiseks valiti selleks erinevad filmid. Uuritavad kasutasid vajaliku korrektsiooniga prille või kontaktläätsi ning seadme kaugus vaatamiseks oli 30 cm. Uuritavate akommodatsiooni lähipunkti mõõdeti *push-up* meetodiga ning enne tunnist videote vaatamist oli akommodatsiooni amplituud $5,24 \text{ D} \pm 0,77 \text{ D}$, peale nutitelefoni $5,43 \text{ D} \pm 1,19 \text{ D}$ ja peale tahvelarvuti kasutamist $5,35 \text{ D} \pm 1,01 \text{ D}$. Uuritavad pidid vastama ka küsimustikule, milles paluti vastata küsimustele silmades tekkiva võimaliku ebamugavuse kohta. Oodatult selgus, et väiksema ekraani vaatamine tekitab silmades suuremat ebamugavustunnet ning ka akommodatsiooni lähipunkt oli peale nutitelefoni kasutamist kaugemal. (Kang et al., 2021: 1—2, 4, 6, 8)

Austraalia uuringuga leiti, et arvuti või tahvelarvuti ekraanilt 20-minutise lugemise järel 50 cm kauguselt ei ole akommodatsiooni amplituudil olulist erinevust. Pärast 30-minutist filmi vaatamist nutitelefonis vähenes monokulaarne akommodatsioon 1,14 D võrra, mida peetakse statistiliselt oluliseks erinevuseks ning see oli 0,74 D võrra suurem, kui pooletunnise raamatu lugemise järel. Autorid on arutlenud, et noorte puhul ei ole ühe dioptri akommodatsiooni amplituudi vähenemine kliiniliselt oluline muutus. Siiani pole teada, miks akommodatsiooni amplituud arvuti ja lähitööga väheneb, kuid arvatakse, et selle põhjuseks võib olla akommodatsiooni väsimine. Veel arvatakse, et subjektiivse uuringu puhul võis tulemuste puhul olla eksitavaks mõõtmismeetodi usaldusväärsus ning objektiivsete mõõtmismeetoditega oleks tulemused olnud võib-olla teistsugused. (Jaiswal et al., 2019: 468)

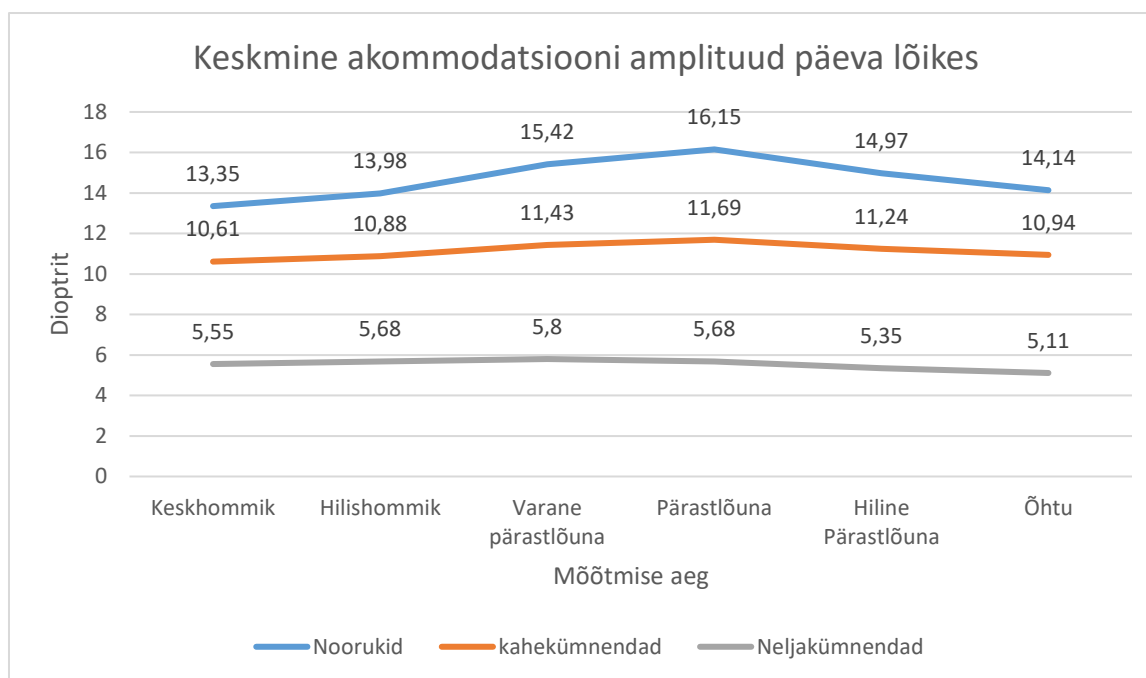
Muhamad jt uurisid, milline on polarisatsiooni mõju akommodatsiooni amplituudile, varasemalt on seda teemat vähe käsitletud. Elektroonikaseadmete ekraanidel kasutatakse enamasti positiivset polaarsust ehk kui tumedat teksti saab lugeda heledalt taustalt, samuti on võimalik kasutada negatiivset polaarsust, kui heledat teksti saab lugeda tumedalt taustalt. Vähema valgustusega keskkonnas soovitatakse nägemisväsimumise vähendamiseks kasutada tumedat režiimi, samas kui heledama režiimiga peegeldub ekraanilt vähem valgust tagasi. Läbilõike uuringus osales 30 uuritavat vanuses 20—25 aastat. Varasemalt on uuringus väidetud, et 30-minutiline nutitelefoni kasutamine noortel vähendab oluliselt monoklaarset akommodatsiooni amplituudi, sama kaua raamatut lugedes aga suureneb akommodatsiooni viivitus. Uuritavate akommodatsiooni amplituudi mõõtmiseks kasutati *RAF-ruler*-it ning 0,63 *visus*-täherida. Katsealustel paluti enne ja pärast lugemisülesannete täitmist vastata küsimustikule, milles taheti teada uuritavate silmade väsimussümptomite kohta. Testimisvahendiks kasutati *HP ProBook* sülearvutit, mille ekraani heledus oli seatud 100%-le ning vaatenurk sätitud kõikide uuritavate jaoks 15 kraadi juurde. Uuringu kestuseks oli 90—100 minutit. Selle hulka kuulus silmade lõdvestamine, kaks küsimustikku, enne ja pärast lugemist akommodatsiooni amplituudi mõõtmine ja kaks 30-minutilist teksti lugemist negatiivse või positiivse polarisatsiooniga ekraanilt. Katse juurde kuulusid ka 15-minutilised pausid lugemisperiodide vahel. Negatiivse või positiivse polarisatsiooniga teksti lugemise järjekord oli randomiseeritud. Muhamad jt uuringust selgus, et pärast 30-minutilist lähitööd vähenes uuritavate akommodatsiooni amplituud (10,72 D-lt 9,97 D-le positiivse polarisatsiooniga ja 9,81-le D-le negatiivse polarisatsiooniga ekraanilt) olenemata sellest, kas vaadati heledat teksti tumedal taustal või vastupidi. Autorid on välja toonud, et kuigi ruumi valgustus oli kõikide uuritavate jaoks seatud 200 luks juurde, võib see siiski põhjustada märkimisväärseid muutuseid nii silmade väsimussümptomites kui akommodatsiooni amplituudi hulgas. (Muhamad et al., 2023: 208—212)

3.3. Akommodatsiooni muutus päeva lõikes

Läti teadlased esitasid hüpoteesi, et nooremad lapsed loevad teksti lähemalt ning seetõttu on nende akommodatsiooni süsteem lähitööst rohkem mõjutatud kui vanematel lastel. Püüti teada saada, mil moel nende akommodatsiooni amplituud koolipäeva jooksul muutub. Veel väideti, et Hofstetteri akommodatsiooni amplituudi valemeid ei saa laste puhul kasutada ja mõõdetud tulemused jäävad alla Hofstetteri normide järgi arvutatute. Uuringusse kaasati 73 7—15-aastast

last, kelle lähi-*visus* oli detsimaalsüsteemi järgi 1,0 või kõrgem. Lapsed jagati vanuse järgi erinevatesse gruppidesse: $8,4 \pm 0,5$ aastat (21 osalejat); $12,3 \pm 0,4$ aastat (29 osalejat) ning $14,8 \pm 0,4$ aastat (23 osalejat). Akommodatsiooni amplituudi mõõtmiseks kasutati *push-up* meetodit ning *RAF-ruler*-it enne ning pärast testi teostamist. Lapsi testiti hommikul ning pärast tundide lõppu. Ruumi valgustust hoiti samana kogu päeva vältel. Oodatult langes akommodatsiooni amplituud päeva jooksul kõikides vanusegruppides keskmiselt 0,7 D võrra, samuti langes akommodatsiooni amplituud vanuse kasvades. Hofstetteri akommodatsiooni amplituudi valemi järgi jäid hommikused mõõtmised üsna Hofstetteri miinimumi arvutuste lähedale kuid pärastlõunased mõõtmistulemused jäid oluliselt alla Hofstetteri miinimumi normi. Hofstetter on enda valemid arvanud binokulaarsete mõõtmiste järgi, samas kui paljude erinevate uuringute autorid teevad monokulaarseid mõõtmisi, nende erinevused võivad olla ligikaudu 2,7 D. Ka ei ole kindlat standardit, millist mõõtmismeetodit kasutada, ning kui uuringu keskkonna tingimused ei ole kontrollitud, siis võivad tulemused jääda erinevad, näiteks enne akommodatsiooni amplituudi mõõtmist ei teata, kui palju lähitööd uuritav enne uuringu teostamist teinud on. Ikaunieks jt on varasemast uuringust välja toonud, et *push-up* meetodiga akommodatsiooni amplituudi mõõtes oli testi korratavus 4,76 D, samas kui *push-down* ja miinusmeetodi puhul oli see 3,12 D, mis on tunduvalt parem korratavus tulemus. Varasema uuringu tulemustest on välja toodud, et pärast mõningast lähitööd väheneb tooniline akommodatsioon umbes 0,5 D võrra, mis on sarnane Ikaunieksi jt töös välja toodud päevasele akommodatsiooni amplituudi vähenemisele (u 0,7 D). (Ikaunieks et al., 2017: 387—390)

Poolas uuriti erinevate vanuste akommodatsiooni amplituudi muutumist päeva lõikes. Uuringus osales kokku 154 uuritavat ning nad jagati eri vanusegruppidesse: noorukid, 10—19 aastased (48 uuritavat), 20—29-aastased (56 uuritavat) ning neljakümnendates eluaastates uuritavad (50). Kõiki katsealuseid ei saanud strabismide või silmahaiguste tõttu uuringusse kaasata. Uuritavate korrigeeritud *visus* oli vähemalt 1,0 ning keskmine refraktsiooniviga $-2,83 \pm 2,06$ D. Akommodatsiooni amplituudi mõõdeti monokulaarselt ja ainult paremalt silmalt, kasutades *push-up* meetodit Bernelli akommodatiivse konvergentsi mõõdikuga, mille sihtmärgiks nägemisteravuse 0,63 suuruses rida, teostati kolm mõõtmist ning arvutati nende keskmine. Üldine valgustatus hoiti 410 luksi juures. Mõõtmisi teostati kindla ajavahemiku tagant, kokku kuuel tööperioodil: keskhommikul; hilishommikul; varasel pärastlõunal; pärastlõunal; hilisel pärastlõunal ning õhtul (vt joonis 10). (Park et al., 2019 1, 3)



Joonis 10. Akommodatsiooni kõikumine päeva lõikes erinevates vanuseastmetes (Park et al., 2019: 4).

Uuringust selgus, et noorukitel ja kahekümnendates uuritavatel oli kõige rohkem akommodatsiooni võimekust pärastlõunasel ajal ning mudel oli sarnane: keskhommikul kõige madalam, seejärel tõusvas joonel ning pärastlõunast langevas joonel. Neljakümnendates uuritavate akommodatsiooni amplituud oli kõige kõrgem varasel pärastlõunal ning kõige madalam õhtul. Vanuse kasvades vähenes keskmise mõõdetud akommodatsiooni amplituudi miinimum ja maksimum: noorukite keskmine oli 3,10 D, kahekümnendates uuritavatel 1,81 D ning neljakümnendates uuritavatel 1,03 D. (Park et al., 2019: 3—4; 9)

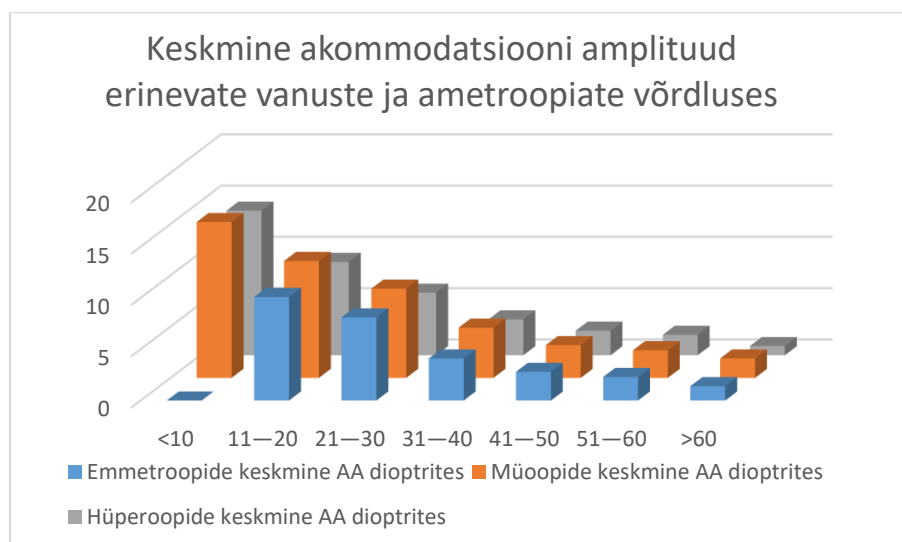
3.4. Ametroopia roll akommodatsioonis

Mõned uuringud väidavad, et akommodatsiooni puudulikkus või selle elastsuse probleemid lapsepõlves võivad põhjustada silma pikitelje liigset kasvu (Ghouschi et al., 2021: 3283). Ametroopiad võivad akommodatsioonimehhanismi mõjutada erinevalt (Yekta et al., 2017: 9). Hiljutises uuringus püüti välja selgitada, mil määral mõjutab müoopia akommodatsiooni. Ghouschi jt leidsid, et müoopia ja akommodatsiooni vahel ei ole tugevat seost. Küll aga leiti, et kuna müoopide miios toimub aeglasemalt, on konvergensti ja akommodatsiooni reaktsioon aeglasemad. (Ghouschi et al., 2021: 3293) Kuriakose jt on 2005. aastal väitnud, et hüperoopide akommodatsioon ei ole nii efektiivne kui müoopidel ja emmetroopidel. Hüperoobid vajavad

lähedale vaatamiseks nägemisabivahendit varem kui teiste ametroopiate puhul (Kuriakose et al., 2005).

Iraanis viidi läbi läbilõike uuring, milles osales 5620 (lõpliku välistamise järel 5444) last vanuses 6—12 aastat, kelle keskmiseks akommodatsiooni amplituudiks mõõdeti 14,44 D. Mõõtmiseks kasutati *push-up* meetodit ning Snelleni tähtedega lugemistesti. Kõige rohkem osales uuringus emmetroope (4867), kelle keskmiseks akommodatsiooni amplituudiks mõõdeti 14,31 D, hüperoopidel (191) mõõdeti 14,87 D, ning müoopidel (214) 17,30 D. Linna keskkonnas õppivate laste akommodatsiooni amplituud (14,50 D) oli suurem kui maal õppivatel lastel (13,87 D). (Hashemi et al., 2018: 1—2)

Bengalis uuriti 300 katsealust, kellest 36,3% emmetroope, 35,7% müoope ja 28% hüpermetroope. Püüti teada saada, kui suur on akommodatsiooni erinevus erinevate ametroopiate puhul. Selle mõõtmiseks kasutati *RAF-ruler*'it ning *push-up* meetodit. Teksti suuruseks oli 1,0. Sihtmärki hakati 50 cm kauguselt silmadele lähemale tooma ning kui tundus, et kiri muutus pisut uduseks, viidi see uuesti kaugemale kuni muutus selgelt loetavaks. Kui presbüoopide akommodatsiooni lähipunkt jäi kaugemale kui 50 cm, lisati korrektsioonile +1,0 D lisalääts ning mõõdeti uuesti. Müoopidel oli kõrgem akommodatsiooni amplituud kui hüperoopidel ja emmetroopidel. Seega presbüoopsed hüperoobid vajavad lähikorreksiooni varem kui müoobid (vt joonis 11). Vanuse kasvades langeb akommodatsioonivõime kõikide ametroopiate puhul. (Bal et al., 2018: 22—23)



Joonis 11. Keskmine akommodatsiooni amplituud erinevate vanuste ja ametroopiate võrdluses (Bal et al., 2018: 23).

Ozulken jt on samuti testinud 300 uuritavat (600 silma) vanuses 25—65 aastat ning teinud samu järeldusi: müoopide akommodatsioonivõime kõige suurem, keskmiseks saadi 1,8496 D, ning hüperoopidel kõige nõrgem 0,9057 D, emmetroopidel aga 1,7806 D. Kõige rohkem osales uuringus müoopilisi silmi (284), seejärel emmetroopilisi (192) ning 124 hüperoopi. Mõõtmiseks kasutati Tonoref III autorefraktomeetrit. (Ozulken K & Kiziltoprak H, 2019: 151—152)

Refraktiivkirurgia võib mõjutada akommodatsiooni, uuringuid on rohkem tehtud müoopidega ühtlasi on nende akommodatsioon tõhusam kui emmetroopidel või korrigeeritud hüperoopidel. Suure ametropiaga müoopilised patsiendid võivad pärast refraktiivkirurgiat vajada lähedale vaatamisel rohkem konvergentsi, mistõttu võib neil tekkida ajutine akommodatsiooni puudulikkus, sest nad peavad suutma kujutist lähedalt fokuseerida, samuti võib neil tekkida akommodatsiooni spasm või liiasus. Akommodatsiooni probleemid, näiteks muutus akommodatsiooni amplituudis, halvasti püsiv akommodatsioon või akommodatsiooni liigsus refraktiivkirurgia järgselt on seotud suure akommodatsiooni muutusega, millega silmad peavad kohanema. On ära toodud, et binokulaarsed häired olid refraktiivkirurgia järgselt sagedamini neil, kel oli eelnevalt probleeme binokulaarsusega. (García-Montero et al., 2019: e146—e147)

Ozulken jt võrdlesid 13 LASIK refraktiivlõikuse läbinud uuritavat ning 13 sama vana ja soost emmetroopilist uuritavat. Mõõdeti mõlema silma akommodatsiooni amplituudi. Vähemalt 9 kuud tagasi LASIK operatsiooni teinud uuritavate keskmine akommodatsiooni amplituud oli 1,4835 D ning emmetroopidel 2,8027 D, mida peetakse oluliseks erinevuseks. (Ozulken K & Kiziltoprak H, 2019: 151—154)

4. ARUTELU

Lõputöös kasutatud uuringutesse kaasati uuritavad, kelle nägemisteravust oli võimalik korrigeerida *visus*-tabeli järgi vähemalt 1,0 nägemisteravuseni. Välistati erinevate fooriate ja patoloogiatega uuritavad. Väheema nägemisteravuse või fooriatega ei ole akommodatsiooni mõõtmistulemused võrreldavad tervete silmadega uuritavate omadega, mistõttu ei oleks analüüsitud andmed tõepärased.

Subjektiivse akommodatsiooni mõõtmiseks kasutatakse erinevaid meetodeid. Mõõdetakse nii monokulaarselt kui ka binokulaarselt, mistõttu võivad mõõtmistulemused olla erinevad. Üldiselt ületavad binokulaarsed mõõtmised monokulaarseid, sest kasutusel on ka konvergents. Mõõtmiseks kasutatakse erinevaid mõõtmistehnikaid, mille tulemused ei ole sageli omavahel võrreldavad. *Push-up* meetodiga suureneb kujutis reetinal, *push-down* ja miinus-meetodiga väheneb. Edaspidistes subjektiivsetes uuringutes oleks oluline märkida, kas testi on sooritatud monokulaarsetes või binokulaarsetes tingimustes ning ka testi sooritamise meetod. Tulemusi võib mõjutada ka kellaeg: keskpäeval ajal on kasutusel olev akommodatsiooni hulk kõige suurem, õhtuks võimekus väheneb.

Autorefraktomeetrid on akommodatsiooni mõõtmiseks olnud kasutusel lühikest aega, kuid on tulemustes täpsed ning korratavad. Tänapäevased seadmed on hinnalt jõukohased ning nägemisspetsialistid saavad aparatuuri töö lihtsustamiseks ja aja kokkuhoiuks endale võimaldada.

Erinevatest uuringutest selgus, et hüperoopide akommodatsioonivõimekus on kõige madalam, ning müoopidel kõige suurem. Hüperoobid vajavad teiste ametropiatega võrreldes prillikorrektsiooni kõige varem, mis võib olla tingitud ripslihase jõu vähenemisega. Naised vajavad presbüopsesse ikka jõudes prille varem kui mehed, mis arvatakse olevat tingitud hormonaalsetest muutustest.

Akommodeerimise vajadus on paberilt või ekraanilt teksti lugedes erinev. Devenier jt (2021) on välja toonud, et paberilt lugedes on tekst kontrastsem, ekraani pilt koosneb aga pikslitest, seega pole nii stabiilne. Veel on nad väitnud, et kuna tänapäeval toimub suurem osa lähitööd erinevatel nutiseadmetel, peaks ekraanidega töötavate inimeste akommodatsiooni mõõtmisi teostama samuti ekraanilt. Samas Muhammad jt (2023) on arutlenud, et ekraani valgustatus tekitab mioosi ning sellega suureneb sügavusteravus ja vähenevad aberratsioonid. Ekraani ja

paberilt lugemise võrdlemiseks on erinevad tingimused, samuti erinevad ekraanid omavahel nii heleduselt kui sageduselt, mis teeb nende kõrvutamise keeruliseks, eriti juhul, kui täpseid mõõtmistingimusi pole välja toodud.

Akommodatsiooni funktsioneerimist ja tegureid uuritakse eelkõike nägemismugavuse parandamiseks ja tänapäevase ekraaniväsimuse vähendamiseks või ärahoidmiseks. Lisaks sellele püütakse leida presbüopia edasilükkamise või ärahoidmise võimalusi.

JÄRELDUSED

Lõputöö eesmärgiks oli kirjeldada ja võrrelda ning analüüsida erinevaid akommodatsiooni mõõtmismeetodeid ning nende usaldusväärsust erialaste kirjandusallikatega ja uurida, millised tegurid mõjutavad akommodatsiooni amplituudi.

Järeldati, et akommodatsiooni amplituudi mõõtmiseks kasutatakse enamasti *push-up* meetodit, mille teostamine on lihtne, kuid mõõtmise käigus võib tekkida vigu, nt liiga kiire sihtmärgi liigutamine uuritava suunas võib uurija reaktsiooni kiiruse tõttu mõjutada mõõtmistulemusi. Veel saadi teada, et objektiivselt Hofstetteri keskmise akommodatsiooni amplituudi valemiga ($18,5 - (0,3 \times \text{patsiendi vanus})$) arvutades ja keskmiste subjektiivsete mõõtmiste tulemused olid sarnased, samas kui subjektiivsed mõõtmistulemused ületasid selgelt Hofstetteri enimkasutatud maksimaalse akommodatsiooni amplituudi valemi tulemusi ($(25 - (0,4 \times \text{patsiendi vanus}))$). Khani jt (2022) laiaulatusliku kirjandusallikate analüüsil põhineva uuringu järgi võiks keskmise akommodatsiooni amplituudi valem olla $14,9 - (0,24 \times \text{patsiendi vanus})$

Minu näitel oleks see erinevus miinimumi puhul 8,9 D, maksimumi puhul 12,2 D ehk 3,3 D ning Khani leitud valemi järgi 7,22 D

Akommodatsiooni mõjutavad pilgu suund objekti suhtes. Kõige rohkem akommodatsiooni on kasutusel alla vaatamisel ning kõige vähem üles vaatamisel. Seistes on kasutusel rohkem akommodatsiooni kui istuvas asendis. Paberilt teksti vaadates arvatakse olevat kasutusel vähem akommodatsiooni, samas on ekraani teksti peetud pikslite tõttu ebastabiilsemaks ning tekst pole seetõttu nii kontrastne kui paberil. Väiksemat ekraani vaadates on kasutusel rohkem akommodatsiooni amplituudi kui suure ekraani puhul. Veel arvatakse, et ekraani heledusest tingitud mioosi tõttu on parem sügavusteravus ja vähem aberratsioonid. Polariseerimine ei mõjuta akommodatsiooni amplituudi.

Akommodatsiooni mõõtmise keerukus seisneb erinevates tegurites, mida ei ole võimalik iga indiviidi puhul eraldi arvesse võtta. Nii vaadeldava objekti kui ka silmade asend ning erinevad ametropiad mõjutavad akommodatsiooni erinevalt. Samuti mõjutab akommodatsiooni vergentsi võimekus, mioosi suurus, uuritava pupillide vahekaugus jm. Erinevad mõõtmismeetodid annavad suhteliselt erinevaid tulemusi. Samas on oluline, et vanuselised normatiivid oleks sätestatud. Igapäevases nägemiskontrollis akommodatsiooni amplituudi mõõtes ei oma väikesed mõõtmisvead suurt rolli, kuna lähedale fokuseerimise võimekust peaks

kahtluse korral ka teiste testidega kontrollima. Oluline osa on akommodatsiooni amplituudi mõõtmise täpsusel just kliiniliste uuringute korral.

Akommodatsiooni on kõikides vanusegruppides lihtne kontrollida, subjektiivseteks tulemusteks on vajalik uuritava lugemis- ja tagasisidestamisoskus, kas vaadeldav objekt on selge või ebaselge. Objektiivsete meetodite puhul piisab autorefraktomeetrist või dünaamilisest retinoskoobist ning Hofstetteri akommodatsiooni amplituudi keskmise valemi järgi arvutamisest.

Eeldatakse, et lastel on hea akommodatsiooni võimekus ning sageli jäetakse akommodatsiooni amplituud mõõtmata, lapse prillivajadus võib jääda seetõttu märkamata, mis omakorda võib kaasa tuua õppeedukuse languse ja üldise ebamugavustunde. Eriti võib uurija jaoks olla eksitav, kui testitav kurdab udust nägemist ainult kaugele. Akommodatsiooni mõõtmata on oht kirjutada välja vale tugevusega prilliresept. Akommodatsiooni on oluline mõõta nii monokulaarselt kui binokulaarselt, et kontrollida silmade omavahelist sarnasust.

Lõputöö eesmärk sai täidetud. Leidus laialdaselt ingliskeelset materjali, eestikeelseid artikleid akommodatsiooni amplituudi mõõtmise kohta ei leitud, millest võib järeldada, et Eestis ei tegeleta antud teemaga piisavalt. Optometristidele peaks rõhutama akommodatsiooni mõõtmise olulisust erialases praktikas.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Aboumourad, R., & Anderson, H. A. (2019). Comparison of Dynamic Retinoscopy and Autorefractometry for Measurement of Accommodative Amplitude. *Optometry and Vision Science, 96*(9), 670–677. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001423>
- Abu, E. K., Ocansey, S., Yennu, J., Asirifi, I., & Marfo, R. (2018). Comparing Different Methods of Measuring Accommodative Amplitude with Hofstetter's Normative Values in a Ghanaian Population. *Current Eye Research, 43*(9), 1145–1150. <https://doi.org/10.1080/02713683.2018.1480044>
- Akujobi, A. U. (2018). Assessment of amplitude of accommodation (AA) in Owerri Municipal Council, Southeast, Nigeria. *World Journal of Ophthalmology & Vision Research, 1*(2). <https://doi.org/10.33552/wjovr.2018.01.000509>
- Amiebenomo, O. M., Ovenseri-Ogbomo, G. O., & Nwacheli, C. (2018). Comparing Measurement Techniques of Accommodative Amplitude Among School Children. *Optometry and Visual Performance, 6*(5), 181–186.
- Anderson, H. A., & Stuebing, K. K. (2014). Subjective versus objective accommodative amplitude: Preschool to presbyopia. *Optometry and Vision Science, 91*(11), 1290–1301. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000402>
- Asharlous, A., Doostdar, A., Ghaemi, V., Farzi, M., Yekta, A., Mortazavi, A., Ostadimoghaddam, H., & Khabazkhoob, M. (2022). Binocular Function in Different Gaze Positions. *Journal of Ophthalmic and Vision Research*. <https://doi.org/10.18502/jovr.v17i2.10792>
- Atchison, D. A., Claydon, C. A., & Irwin, S. E. (1994). Amplitude of Accommodation for Different Head Positions and Different Directions of Eye Gaze. *Optometry and Vision Science, 71*(5), 339–345. <https://doi.org/10.1097/00006324-199405000-00006>
- Atchison, D. A., Lister, L. L., Suheimat, M., Verkicharla, P. K., & Mallen, E. A. H. (2016). Author response: Gravity affects amplitude of accommodation. In *Investigative Ophthalmology and Visual Science* (Vol. 57, Issue 11, p. 4571). Association for Research in Vision and Ophthalmology Inc. <https://doi.org/10.1167/iovs.16-20069>
- Bal, C., Chaudhuri, G., & Banerjee, S. (2018). A Study on Amplitude of Accommodation in Different Refractive Condition in Bengali Population. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS) e-ISSN, 17*, 21–24. <https://doi.org/10.9790/0853-1704122124>
- Black P., & Arbon Black T. (2021). Fundamentals of ophthalmic dispensing 23: Presbyopia 1. *Optician, 2021*(11). <https://www.opticianonline.net/cpd-archive/6237>
- Burns, D. H., Allen, P. M., Edgar, D. F., & Evans, B. J. W. (2020). Sources of error in clinical measurement of the amplitude of accommodation. In *Journal of Optometry* (Vol. 13, Issue 1, pp. 3–14). Spanish Council of Optometry. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2019.05.002>

- Devenier, M., Hansraj, R., & Rasengane, T. A. (2021). The response of the accommodation system to digital and print images. *African Vision and Eye Health*, 80(1). <https://doi.org/10.4102/aveh.v80i1.662>
- Esmail, H., & Arblaster, G. (2016a). A comparison of the conventional and modified push-up methods of measuring the near point of accommodation. 35–39.
- Esmail, H., & Arblaster, G. (2016b). A comparison of the conventional and modified push-up methods of measuring the near point of accommodation. *British and Irish Orthoptic Journal*, 13(0), 35. <https://doi.org/10.22599/bioj.100>
- Ghoushchi, V. P., Mompeán, J., Prieto, P. M., & Artal, P. (2021). Binocular dynamics of accommodation, convergence, and pupil size in myopes. *Biomedical Optics Express*, 12(6), 3282. <https://doi.org/10.1364/boe.420334>
- Hamad Altoaimi, B. (2022). Comparison of the Amplitude of Accommodation Measured Using Push-up, Minus Lens-to-Blur Methods and Hofstetter's Equations in Saudi University Students. *International Journal of Ophthalmology & Visual Science*, 7(1), 33. <https://doi.org/10.11648/j.ijovs.20220701.16>
- Hashemi, H., Nabovati, P., Khabazkhoob, M., Yekta, A., Emamian, M. H., & Fotouhi, A. (2018). Does Hofstetter's equation predict the real amplitude of accommodation in children? *Clinical and Experimental Optometry*, 101(1), 123–128. <https://doi.org/10.1111/cxo.12550>
- Ikaunieks, G., Panke, K., Segliņa, M., Švede, A., & Krumiņa, G. (2017). Accommodative Amplitude in School-Age Children. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences*, 71(5), 387–391. <https://doi.org/10.1515/prolas-2017-0065>
- Jaiswal, S., Asper, L., Long, J., Lee, A., Harrison, K., & Golebiowski, B. (2019). Ocular and visual discomfort associated with smartphones, tablets and computers: what we do and do not know. In *Clinical and Experimental Optometry* (Vol. 102, Issue 5, pp. 463–477). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/cxo.12851>
- Kang, J. W., Chun, Y. S., & Moon, N. J. (2021). A comparison of accommodation and ocular discomfort change according to display size of smart devices. *BMC Ophthalmology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12886-020-01789-z>
- Khan, S., Faisalabad, A. H., Muttayab, S., Hospital, Z., Khan, R. Y., Ali, M., & Ahmad, I. (2022). Hofstetter's equations overestimate the amplitude of accommodation in human eye: An analyses of 5433 subjects Federal Government Polyclinic (Post-Graduate Medical institute) Islamabad. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1980656/v1>
- Kiermasz J, Sobol M, & Pniewski J. (2022). Impact of viewing conditions and vision anomalies on accuracy and dynamics of non-cycloplegic autorefraction. *Optom Vis Sci*.
- Kubota, M., Kubota, S., Kobashi, H., Ayaki, M., Negishi, K., & Tsubota, K. (2020). Difference in pupillary diameter as an important factor for evaluating amplitude of accommodation: A prospective observational study. *Journal of Clinical Medicine*, 9(8), 1–9. <https://doi.org/10.3390/jcm9082678>

- Kuriakose, T., Abraham, L. M., Sivanandam, V., Venkatesan, N., Thomas, R., & Muliylil, J. (2005). Amplitude of Accommodation and its Relation to Refractive Errors. In *Indian J Ophthalmol* (Vol. 53). <http://journals.lww.com/ijo>
- Majumder, C. (2018). Comparison of Amplitude of Accommodation in Different Reading Posture. *JOJ Ophthalmology*, 6(3). <https://doi.org/10.19080/ijojo.2018.06.555689>
- Majumder, C., Optom, M., Shin Ying, L., & Optom, B. (2015). Comparison of Amplitude of Accommodation in Different Vertical Viewing Angles Article 4 Comparison of Amplitude of Accommodation in Different Vertical Viewing Angles. In *Optometry & Visual Performance* (Vol. 3). <https://www.researchgate.net/publication/292985639>
- Mathebula, S. D., Ntsoane, M. D., Makgaba, N. T., & Landela, K. L. (2018). Comparison of the amplitude of accommodation determined subjectively and objectively in South African university students. *African Vision and Eye Health*, 77(1). <https://doi.org/10.4102/aveh.v77i1.437>
- Momeni-Moghaddam, H., Kundart, J., & Askarizadeh, F. (2014). Comparing measurement techniques of accommodative amplitudes. *Indian Journal of Ophthalmology*, 62(6), 683–687. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.126990>
- Muhamad, N., Moktaeffendi, N. H., & Azni, N. S. (2023). Effect of Display Polarity on Amplitude of Accommodation and Visual Fatigue. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, 8(24), 207–214. <https://doi.org/10.21834/ebpj.v8i24.4611>
- Ozulken, & Kiziltoprak. (2019). Objective Accommodation Measurements by Using a New Autorefractometer Device. *Beyoglu Eye Journal*. <https://doi.org/10.14744/bej.2019.52724>
- Padavettan, C., Nishanth, S., Vidhyalakshmi, S., Madhivanan, N., & Madhivanan, N. (2021). Changes in vergence and accommodation parameters after smartphone use in healthy adults. *Indian Journal of Ophthalmology*, 69(6), 1487–1490. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_2956_20
- Park, S. M., Moon, B. Y., Kim, S. Y., & Yu, D. S. (2019). Diurnal variations of amplitude of accommodation in different age groups. *PLoS ONE*, 14(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225754>
- Pateras, E. S. (2012). *Measurement of the eye accommodation range in young people with different daily habits*. <https://www.researchgate.net/publication/339788741>
- Rao, D. P., Negiloni, K., Gurunathan, S., Velkumar, S., Sivaraman, A., Baig, A. U., Kumari, B., & Murali, K. (2022). Validation of a simple-to-use, affordable, portable, wavefront aberrometry-based auto refractometer in the adult population: A prospective study. *BMC Ophthalmology*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02684-5>
- Safarina Narawi, W., Razak, A., & Azman, N. (2020). The Effect of Smartphone Usage on Accommodation Status. In *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences* (Vol. 16, Issue 2).
- Shukla, Y. (2020). Accommodative anomalies in children. In *Indian Journal of Ophthalmology* (Vol. 68, Issue 8, pp. 1520–1525). Wolters Kluwer Medknow Publications. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1973_18

- Weng, C. C., Hwang, D. K., & Liu, C. J. L. (2020). Repeatability of the amplitude of accommodation measured by a new generation autorefractor. *PLoS ONE*, *15*(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224733>
- Yekta, A. A., Khabazkhoob, M., Hashemi, H., Ostadimoghaddam, H., Ghasemi-Moghaddam, S., Heravian, J., Doostdar, A., & Nabovati, P. (2017). Binocular and Accommodative Characteristics in a Normal Population. *Strabismus*, *25*(1), 5–11. <https://doi.org/10.1080/09273972.2016.1276937>
- Zamani Shahri, R., Jafarzadehpour, E., & Mirzajani, A. (2021). Study of Lag of Accommodation After Using a Smartphone. *Function and Disability Journal*, *4*(1), 38–38. <https://doi.org/10.32598/fdj.4.38>