



LATVIJAS UNIVERSITĀTE

KAROLA PANKE

ACS AKOMODĀCIJAS DARBĪBA DIGITĀLO TEHNOLOĢIJU LAIKMETĀ: SUBJEKTĪVĀS UN OBJEKTĪVĀS ACS AKOMODĀCIJAS NOVĒRTĒŠANAS METODES UN NORMAS

PROMOCIJAS DARBS

Zinātniskā doktora grāda (Ph.D.) iegūšanai fizikas un astronomijas nozarē

Apakšnozare: medicīniskā fizika

Rīga, 2020

Promocijas darbs izstrādāts
Latvijas Universitātes
Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātes
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā
laika posmā no 2015. gada līdz 2020. gadam.

Darbs sastāv no 3 nodaļām, ir uzrakstīts datorsalikumā uz 159 lapaspusēm, satur 42 attēlus,
15 tabulas, 21 formulu un 297 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba forma: disertācija fizikas un astronomijas nozarē, medicīniskās fizikas apakšnozarē.
Darba zinātniskā vadītāja: *Dr. phys.* Aiga Švede, asociētā profesore, Latvijas Universitāte

Darba recenzenti:

- 1) *Dr. phys.* Aleksejs Kataševs, profesors, Nanoinženierijas katedras vadītājs, Rīgas Tehniskā universitāte
- 2) *Dr. habil. phys.* Māris Ozoliņš, profesors, Latvijas Universitāte
- 3) *Dr. prof.* Anna Horwood, profesore, Lielbritānijas un Īrijas Ziemeļu optikas biedrības pētniecības direktore, *University of Reading*, Lielbritānija

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2020. gada 27. novembrī plkst. 15:00 Rīgā, Jelgavas ielā 1, Latvijas Universitātes Fizikas, astronomijas un mehānikas zinātņu nozares promocijas padomes atklātajā sēdē.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Universitātes Bibliotēkā Rīgā, Kalpaka bulvārī 4.

LU Fizikas, astronomijas un mehānikas specializētās promocijas
padomes priekšsēdētājs *Dr. habil. phys.* Jānis Spīgulis:
padomes sekretāre Annija Stūrmane:

ANOTĀCIJA

Pētījuma pirmā daļa veltīta dabiskas, vecuma izraisītas akomodācijas spēju samazināšanās (presbiopijas) procesa izpētei no klīniskās puses. Tiek kritiski izvērtēts koncepts par vecumam atbilstošām normas vērtībām un, balstoties uz pētījuma rezultātiem, piedāvāts modelis, kas ļauj precīzāk paredzēt indivīda vecumam sagaidāmo tuvuma korekcijas apjomu. Papildu iegūtie rezultāti parāda sakarību starp presbiopijas attīstības pakāpi un korekcijas ietekmi uz tuvuma darbu veikspēju, kas ļauj prognozēt potenciālo ietekmi uz dzīves kvalitāti cilvēkiem pēc 45 gadu vecuma. Darba otrajā daļā tiek piedāvāta metodoloģija kā papildināt subjektīvos akomodācijas funkciju novērtēšanas testus ar dinamiski iegūtu objektīvo mērījuma komponenti, kā arī tiek izvērtētas minētās metodes priekšrocības, tehniski ierobežojošie faktori un papildu iegūtās informācijas nozīmīgums. Trešā daļa veltīta mūsdienu digitālo tehnoloģiju ietekmei uz redzes sistēmu. Tika novērtētas atšķirības viedtālrunu lietošanas attālumā, veicot aktīvu un pasīvu uzdevumu, jaunu pieaugušo vidū. Iegūtie rezultāti parāda, ka vidējais viedtālruna lietošanas attālums ir būtiski tuvāks nekā klasiski pieņemtais 40 cm darba attālums, turklāt aktīvs uzdevums tiek veikts tuvākā attālumā nekā pasīvs uzdevums. Tika novērtēta arī acs akomodācijas atbilde un redzes nogurums pēc ilgstoša darba ar volumetrisko ekrānu, kas ir Latvijas inovācija trīsdimensiju attēlatveides tehnoloģiju jomā. Iegūtie rezultāti parāda iepriekš neapraķstītu, potenciāli pozitīvu ietekmi uz redzes atslābināšanos pēc darba ar īstu trīsdimensionālu attēlu.

ABSTRACT

The first part of the thesis is aimed to study physiological, age related decline of eye accommodation (presbyopia) from clinical side. The tentative near addition based on the age expected norm values has been critically evaluated based on the results of the study and a new model is proposed that allows more accurate prediction of the amount of near correction expected for an individual's age. The additional results show a correlation between the degree of development of presbyopia and the effect of correction on the near task performance, allowing to estimate the potential impact on the quality of life of people over 45 years. The second part of the thesis proposes a methodology for supplementing subjective accommodation function tests with a dynamically obtained objective measurements, as well as evaluate the advantages of this method, technically limiting factors and significance of the additional information obtained. The third part focuses on the impact of current digital technologies on the visual system. The differences between smartphone viewing distance for active and passive task were assessed for young adults, showing that the average viewing distance for smartphone is significantly closer than the classically assumed near work distance of 40 cm, and the active task is performed at closer distance than the passive task. The status of ocular accommodation and visual fatigue after prolonged work with volumetric display, which is innovation in the field of three-dimensional imaging technology made in Latvia, has been evaluated. The results have highlighted previously undescribed, potentially positive effect on ocular relaxation after work with a real three-dimensional image.

SATURS

1	IEVADS	8
1.1	Tēmas aktualitāte	8
1.2	Darba mērķis un uzdevumi	9
1.3	Izmantotās metodes.....	9
1.4	Darba novitāte.....	10
1.5	Autores ieguldījums	10
2	LITERATŪRAS PĀRSKATS	11
2.1	Acs akomodācijas aparāts.....	11
2.2	Akomodācijas atbilde.....	12
2.3	Vergences process.....	16
2.4	Tuvuma triāde	17
2.5	Akomodācijas funkciju izmaiņas dzīves laikā.....	20
2.6	Akomodācijas funkciju novērtēšana	23
2.6.1	Subjektīvās un objektīvās akomodācijas novērtēšanas metodes	24
2.6.1.1	Akomodācijas atpalikšana	28
2.6.1.2	Mikrofluktuācijas	30
2.7	Akomodācijas dinamisko parametru novērtēšana	32
2.7.1	Dinamisko akomodācijas mērījumu datu apstrāde.....	33
2.7.2	Fotorefraktometrijas pielietojums akomodācijas dinamisko parametru novērtēšanai.....	35
2.7.2.1	Fotorefraktometra kalibrēšana.....	38
3	PĒTĪJUMS	42
3.1	Presbiopijas korekcijas klīniskie un praktiskie aspekti.....	42
3.1.1	Aditīva normu pielietojums klīniskajā optometrijā.....	42
3.1.1.1	Aktualitāte	42
3.1.1.2	Uzdevumi	42
3.1.1.3	Dalībnieki	43
3.1.1.4	Metode.....	44
3.1.1.5	Rezultāti.....	47
3.1.1.6	Diskusija.....	54
3.1.1.7	Secinājumi	58
3.1.2	Tuvuma darbu izpildes veiktspēja atkarībā no aditīva lieluma	58
3.1.2.1	Aktualitāte	58
3.1.2.2	Uzdevumi	59
3.1.2.3	Dalībnieki	60
3.1.2.4	Metode.....	61
3.1.2.4.1	Lasīšanas uzdevuma stimulu izveide.....	61
3.1.2.4.2	Meklēšanas uzdevuma stimulu izveide	62
3.1.2.4.3	Pētījuma dizains.....	63
3.1.2.4.4	Datu statistiskās apstrādes metodes.....	64
3.1.2.5	Rezultāti.....	65
3.1.2.6	Diskusija.....	76
3.1.2.7	Secinājumi	80

3.2	Akomodācijas funkciju objektīvie mērījumi	81
3.2.1	Aktualitāte	81
3.2.2	Uzdevumi	82
3.2.3	Ekscentriskā fotorefraktometra funkcionālā testēšana	82
3.2.3.1	Metode	82
3.2.3.2	Mirkšķināšanas datu apstrāde	84
3.2.3.2.1	Pētījuma gaita	85
3.2.3.3	Rezultāti	87
3.2.3.3.1	Refrakcijas kļūdas mērījumu precizitāte	87
3.2.3.3.2	Zīlītes mērījumu precizitāte	89
3.2.3.4	Diskusija	90
3.2.3.5	Secinājumi	93
3.2.4	Klīnisko akomodācijas testu papildināšana ar objektīviem mērījumiem	94
3.2.4.1	Dalībnieki	94
3.2.4.2	Metode	94
3.2.4.2.1	Datu apstrāde	95
3.2.4.2.2	Datu analīze	97
3.2.4.3	Rezultāti	97
3.2.4.3.1	Izstrādātās metodikas potenciālais pielietojums	97
3.2.4.3.2	Pozitīvo akomodācijas rezervju objektīvie mērījumi	99
3.2.4.3.3	Negatīvo akomodācijas rezervju objektīvie mērījumi	102
3.2.4.3.4	Mikrofluktuāciju loma akomodācijas rezervju mērījumā	105
3.2.4.4	Diskusija	106
3.2.4.5	Secinājumi	107
3.3	Acs akomodācijas atbilde darbā ar digitālajām tehnoloģijām	108
3.3.1	Darba attālums veicot aktīvu un pasīvu uzdevumu viedtālrunī	108
3.3.1.1	Aktualitāte	108
3.3.1.1	Uzdevumi	109
3.3.1.2	Dalībnieki	109
3.3.1.3	Metode	110
3.3.1.3.1	Teksta stimulēšana un parametri	110
3.3.1.3.2	Pētījuma gaita	110
3.3.1.4	Rezultāti	112
3.3.1.4.1	Darba attālums	112
3.3.1.4.2	Uzdevuma veikšanas ātrums	114
3.3.1.5	Diskusija	115
3.3.1.6	Secinājumi	118
3.3.2	Redzes sistēmas izvērtējums pēc darba 3D vizuālo saturu	118
3.3.2.1	Aktualitāte	118
3.3.2.2	Uzdevumi	119
3.3.2.3	Dalībnieki	119
3.3.2.4	Metode	120
3.3.2.4.1	Uzdevums un stimuli	120
3.3.2.4.2	Pētījuma gaita	123

3.3.2.4.3	Datu analīze	124
3.3.2.4.4	Datu statistiskās apstrādes metodes.....	125
3.3.2.5	Rezultāti.....	125
3.3.2.5.1	Refrakcijas nobīde	125
3.3.2.5.2	Akomodācijas atpalikšana	127
3.3.2.5.3	Mikrofluktuācijas	128
3.3.2.5.4	Zīlītes izmēra izmaiņas.....	129
3.3.2.6	Diskusija.....	130
3.3.2.7	Secinājumi	133
NOBEIGUMS		134
AIZSTĀVĀMĀS TĒZES		135
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS		136
AUTORES PUBLIKĀCIJU SARAKSTS		152
DALĪBA KONFERENCĒS		154
PATEICĪBAS.....		159

1 IEVADS

1.1 Tēmas aktualitāte

Acs akomodācija ir pētīta jau daudzu gadu desmitus un tās fizioloģijas pamatprincipi ir skaidri (McDougal & Gamlin, 2015; Plainis et al., 2014). Tomēr kā liecina García-Muñoz un kolēģu (2014) publikācija, kurā ir apkopoti pēdējo 25 gadu redzes zinātnē nozīmīgākie pētījumi, kuros tika pētītas subjektīvās sūdzības un to saistība ar akomodācijas vai vergences sistēmas traucējumiem – vismazāk pētījumu veltīti tieši akomodācijas traucējumu izpētei. Autori parāda, ka 50 % pētījumi ir veltīti konverģences nepietiekamībai, savukārt pārējām binokulārās redzes problēmām, kas ietver arī akomodācijas darbības traucējumus, uzmanība zinātniskajā literatūrā ir veltīta daudz mazāka. No apkopotajiem pētījumiem, tikai trīs pētīja akomodācijas funkciju darbību konkrētu traucējumu gadījumos (Cacho et al., 2002; Marran et al., 2006; Mazow et al., 1989). Akomodācijas traucējumi var kā minimums ietekmēt sekmes skolā un sarežģītākos gadījumos var liecināt par nozīmīgām neiroloģiskām problēmām vai sistēmiskām patoloģijām (Adnan et al., 2014; Braun et al., 1995; Feizabadi et al., 2018; Ohtsuka et al., 2002). Tā kā akomodācijas fizioloģiskā funkcija ir nodrošināt skaidru redzi tuvos darba attālumos un tuvuma darbu intensitāte, attīstoties tehnoloģijām, tikai aug, būtu sagaidāms, ka pieaugs arī akomodācijas traucējumu skaits. Tas rada nepieciešamību uzlabot esošās diagnostikas metodes, piedāvāt jaunas, mūsdienīgas terapijas iespējas un papildināt uz pierādījumiem balstītu izpratni par acs akomodācijas sistēmas darbību digitālo tehnoloģiju laikmetā.

1.2 Darba mērķis un uzdevumi

Darba **mērķis** ir apzināt esošo acs akomodācijas novērtēšanas metožu ierobežojumus un piedāvāt metožu uzlabojumus, lai izvērtētu gan ikdienā lietojamo, gan inovatīvo digitālo tehnoloģiju ietekmi uz redzes sistēmu.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi tika izvirzīti sekojoši **uzdevumi**:

1. Izvērtēt vecumam atbilstošā aditīva normu pielietošanas efektivitāti individuāliem gadījumiem un metodes sakrītību ar citām aditīva novērtēšanas metodēm (apakšnodaļa 3.1.1.).
2. Izvērtēt kā nekorīgēta presbiopija ietekmē tuvuma darbu veiktspēju (apakšnodaļa 3.1.2.),
3. Veikt ekscentriskās fotorefraktometrijas iekārtas *PowerRef 3* funkcionālo testēšanu un izstrādāt metodiku, kas ļauj klīniskos akomodācijas novērtēšanas testus papildināt ar dinamiski iegūtu objektīvo datu komponenti (apakšnodaļas 3.2.3. un 3.2.4.).
4. Izvērtēt atšķirības starp viedtālruna lietošanas attālumu aktīva un pasīva uzdevuma veikšanas laikā (apakšnodaļa 3.3.1.).
5. Izvērtēt kā trīsdimensionāla attēlatveides veids ietekmē redzes sistēmu (apakšnodaļa 3.3.2.).

1.3 Izmantotās metodes

Akomodācijas darbība tika izvērtēta gan ar klasiskām, optometrista praksē izmantotām subjektīvām metodēm, gan ar objektīvām metodēm. Objektīviem acs akomodācijas un zīlītes mērījumiem tika izmantota ekscentriskās fotorefraktometrijas iekārta *PowerRef 3 (PlusOptix, Vācija)*, kas darbojas uz dinamiskās fotoskiaskopijas principa, kur tiek izmantota infrasarkanā starojuma video tehnika un no tīklenes atstarotās gaismas refleksa gradienta analīze, kas tālāk tiek izteikts dioptrijās.

Volumetrisko trīsdimensiju stimulu projicēšanai tika izmantots volumetriskais ekrāns (*Lightspace Technologies, Latvija*), kas ļauj 20 optisko elementu plakņu ietvaros projicēt reālu, telpisku attēlu. Anaglifa trīsdimensiju attēla izveidei tika izmantoti Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā veidotās sarkani-zilo filtru brilles, kurām atbilstoši filtru caurlaidībai tika pielāgota stimulu krāsa.

Datu analīze un grafiskā attēlošana tika veikta ar *SPSS Statistics 22.0, R 3.5.1* un *MS Excel*, datu apstrādes programmām.

1.4 Darba novitāte

1. Ir izveidots regresijas modelis un tam atbilstošs algoritms, kas ļauj prognozēt nepieciešamo aditīva lielumu ar augstāku precizitāti kā līdz šim piedāvātais.
2. Ir atrasts kritiskais aditīva lielums, kuru nekoriģējot tiek būtiski ietekmēta tuvuma darbu veikspēja.
3. Ir izveidota metodika, kas ļauj papildināt klīnisko akomodācijas rezervju mērījumu ar objektīvās akomodācijas atbildes komponenti.
4. Ir izpētīti viedtālruņa lietošanas attālumu ietekmējošie faktori, kur kā būtisks darba attāluma un tuvuma slodzes ietekmējošs faktors tiek konstatēts uzdevuma veids.
5. Ir demonstrēta metode tuvuma funkciju izvērtēšanai pēc darba ar trīsdimensiju vizuālo saturu un iegūtie rezultāti parāda iepriekš neaprašītu hipermetropiska tipa refrakcijas nobīdi.

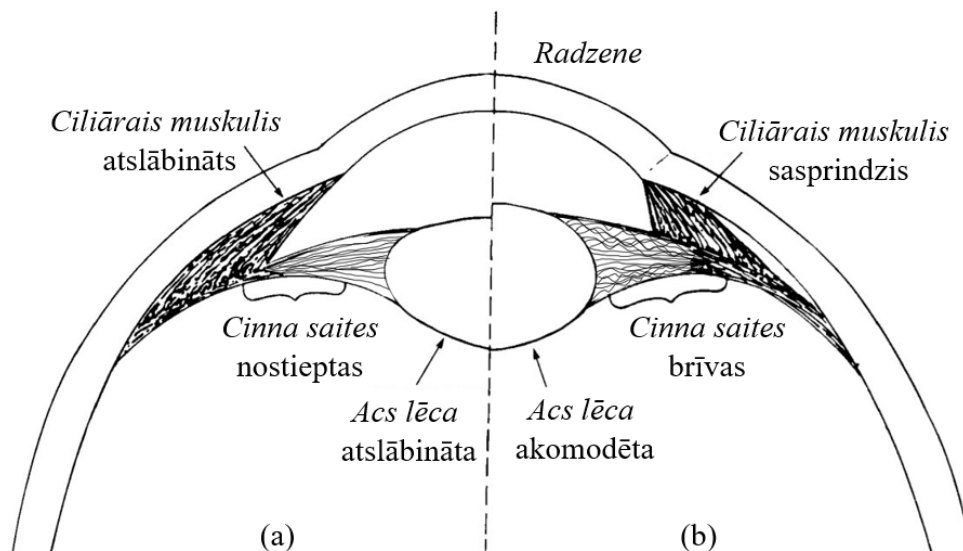
1.5 Autores ieguldījums

Promocijas darbā aprakstītie pētījumi ir izstrādāti Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā. Presbiopijas aditīva noteikšanas un viedtālruņa attāluma eksperiments tika veikti optometrista kabinetā, pārējie eksperimenti tika veikti Redzes ergonomikas kabinetā. Lasīšanas un meklēšanas uzdevuma izveidi pēc autores MSc. Karolas Pankes ieteikumiem veica studente Annija Šperliņa. Volumetriskā ekrāna stimulu konceptuālo izveidi, kritisko parametru definēšanu un piemērošanu redzes zinātnes pētījumiem veica promocijas darba autore MSc. Karola Panke un MSc. Tatjana Pladere. Volumetriskā ekrāna stimulu praktisko izveidi, programmēšanu un tehnisko daļu pēc norādītajiem parametriem nodrošināja *Lightspace Technologies*. Pētījuma dalībnieku meklēšanu, eksperimentālo datu iegūšanu un pamata datu apkopošanu, konsultējoties ar darba autori, veikušas Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas studentes Annija Šperliņa, Vita Štokmane, Līva Jākobsons, Žaklīna Hermāne un Marina Seļežņova. Pētījumā aprakstīto rezultātu analīzi, interpretāciju, grafisko attēlošanu un statistisko datu apstrādi veikusi darba autore (izņemot datu statistisko apstrādi programmā R 3.5.1., ko veica MSc. Māra Delesa-Vēliņa). Autore piedalījās vairāku zinātnisku publikāciju sagatavošanā kā galvenā autore vai līdzautore. Kopumā par promocijas darbā iegūtajiem rezultātiem kā pirmais autors ir prezentēti 8 mutiski referāti starptautiskās konferencēs un publicēti 5 zinātniskie raksti. Darba rezultāti ir apspriesti Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas doktorantūras skolas zinātniskajā seminārā 2019. gada 13. decembrī.

2 LITERATŪRAS PĀRSKATS

2.1 Acs akomodācijas aparāts

Acs akomodācija ir dinamisks, gribai nepakļauts process, kas nodrošina skaidru attēlu uz tīklenes skatoties dažādos attālumos, tai skaitā ātru fokusa maiņu no tāluma uz tuvumu un no tuvuma uz tālumu, kas tiek nodrošināts sarežģītu sensoro, neiromuskulāro un biofizikālo procesu rezultātā (Kaufman, 1994). Anatomiski acs akomodācijas procesu nodrošina akomodācijas aparāts (skat. Att. 2.1.), kura būtiskākie elementi ir ciliārais muskulis, acs lēca, Cinna saites un kā palīgmehānismi procesa nodrošināšanā piedalās stiklveida ķermenis un sklēra. Ciliārais muskulis sastāv no trīs muskuļu šķiedru grupām, kas novietotas gareniski (Brukes muskulis), cirkulāri (Millera muskulis) un slīpi. Acs lēca ir avaskulāra epitēlija šūnu un šķiedru struktūra bez atsevišķas inervācijas un tai izšķir 3 daļas – kodolu, garozu un kapsulu. Cinna saites ir elastīgas šķiedras, kas savieno ciliāro muskuli ar acs lēcas kapsulu. (Ciuffreda, 2006; Glasser, 2011)



Att. 2.1. Shematisks acs priekšējo struktūru šķērsgriezums, kurā attēloti akomodācijas aparāta būtiskākie elementi un to stāvoklis (a) atslābināta akomodācija jeb skats tālumā un (b) sasprindzināta akomodācija jeb skats tuvumā. Attēls vienkāršots, papildināts un aizgūts no Ciuffreda (2006).

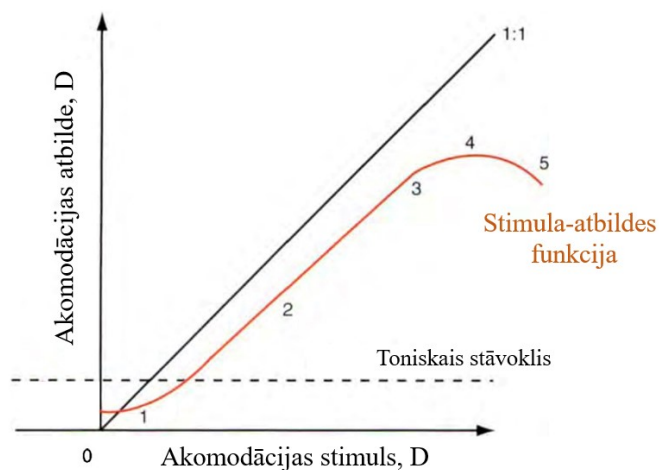
Acs akomodācijas procesa biomehānika paredz, ka, skatoties tuvumā, notiek ciliārā muskuļa šķiedru sasprindzēšana, kas ciliāro muskuli pabīda nedaudz uz iekšu un uz priekšu, iestiepjot sklēru un ļaujot priekšējām un mugurējām Cinna saitēm atbrīvoties (ekvatoriālās

Cinna saites paliek nostieptas), kas rada acs lēcas kapsulas formas izmaiņu un rezultātā tiek iegūts lielāks acs lēcas optiskais stiprums (lēcas fokusa attālums samazinās) (Ciuffreda, 2006). Līdz ar šīm izmaiņām lēca kļūst vidēji par 0,36 līdz 0,58 mm biezāka, tās diametrs samazinās par 0,4 mm, lēcas priekšējais un mugurējais pols pavirzās nedaudz atpakaļ un gravitācijas spēku ietekmē lēca nedaudz nosēžas uz leju (Ciuffreda, 2006; Jones et al., 2007; Khan et al., 2018).

Ciliārā muskuļa neirālo inervāciju pamatā nodrošina gribai nepakļautās īso ciliāro nervu postganglionārās nervu šķiedras, kas nāk no ciliārā ganglija. Preganglionārās šķiedras uz ciliāro gangliju nāk no III galvas smadzeņu nerva (*n. ophthalmicus*) pa parasimpātiskajām šķiedrām, kas, savukārt, nāk no Edingera-Vestfāla kodola vidussmadzenēs (Glasser, 2011; McDougal & Gamlin, 2015). Tieši parasimpātiskā inervācija un M3-muskarīna receptori ļauj ciliārajam muskulim sasprindzināties un mazāk kā 1 sekundes laikā radīt līdz pat 20,00 D izmaiņas lēcas optiskajā stiprumā. Simpātiskās inervācijas loma dinamiskās atbildes nodrošināšanā ir mazāka, tā pamatā saistās ar acs akomodācijas atslābināšanās nodrošināšanu un β_2 adrenergiskajiem receptoriem, kas noris daudz lēnāk – vidēji 10 līdz 40 sekunžu laikā (Glasser, 2011; McDougal & Gamlin, 2015). Optiski akomodācijas atbildes un ciliārā muskuļa inervācijas ierosināšana noris primāri kā atbilde uz apmiglojumu tīklenes centrālajā fovejas daļā (Kruger & Pola, 1986).

2.2 Akomodācijas atbilde

Akomodācijas process un atbilstošā optiskā stipruma izmaiņa ir apgriezts lielums tuvuma attālumam un tiek mērīts dioptrijās (D), tādējādi, jo tuvāk atrodas objekts, jo lielāks optiskais stiprums jānodrošina, lai attēls tiktu saskatīts skaidri. Piemēram, 40 cm attālumā akomodācijas pieprasījums ir 2,50 D, bet 30 cm attālumā 3,33 D. Teorētiski ideālā optiskā sistēmā akomodācijas atbildes lielumam būtu jāsakrīt ar akomodācijas pieprasījumu, tomēr praktiski novērotā akomodācijas stimula-atbildes funkcija (skat. Att. 2.2.) ietver fizioloģiskas fokusēšanās sistēmas kļūdas, kas ir daļa no normālas akomodācijas stimula-atbildes funkcijas, kas iepriekš literatūrā ir aprakstīta bērnu (Wang & Candy, 2010), jaunu pieaugušo (Buehren & Collins, 2006; Mhairi Day et al., 2006; Lin & Jiang, 2013; Tosha et al., 2009; Yeo et al., 2006) un presbiopijas vecuma grupās (Goss, 2012).



Att. 2.2. Statiskās akomodācijas stimula-atbildes funkcijas shematisks attēlojums, kur redzamas piecas atbildes zonas (sīkāk aprakstīts tekstā). Attēls aizgūts un papildināts no *Ciuffreda* (2006).

Ja akomodācijas atbilde ir zemāka par akomodācijas pieprasījumu konkrētajā skata attālumā, tad starpība starp pieprasījumu un reālo atbildi tiek saukta par akomodācijas atpalikšanu. Ja akomodācijas atbilde ir augstāka par pieprasījumu, tad tiks novērots akomodācijas pārsvars. Akomodācijas stimula-atbildes funkcija satur piecas zonas, kur katra no tām raksturo sagaidāmo fizioloģiskās akomodācijas atbildes raksturu normas gadījumā, atkarībā no akomodācijas stimula jeb pieprasījuma apjoma (skat. Att. 2.2.):

- 1) Pirmā zona raksturo akomodācijas atbildi, kas novērojama skatoties tālumā, kad akomodācijas stimuls ir no 0,00 D līdz apmēram 1,00 D (Ciuffreda, 2006). Šajā zonā akomodācijas atbildei būtu jābūt atslābinātai, tomēr tiek novērots vidēji 0,25 D līdz 0,33 D saspringums (akomodācijas pārsvars) (Rosenfield et al., 1992), ko primāri stimulē toniskās akomodācijas (vidēji 0,50 D līdz 1,50 D) stāvoklis (Bullimore & Gilmartin, 1989; Ciuffreda, 2006; Glasser, 2011; Liu et al., 2016) un sekundāri ietekmē fokusa dziļums (Collins et al., 2006; Hung & Semmlow, 1980).
- 2) Otrā zona raksturo akomodācijas atbildi, kas novērojama, skatoties tuvumā, kad pakāpeniski pieaug akomodācijas stimula jeb pieprasījuma līmenis. Šajā zonā novērojama neliela, fizioloģiska akomodācijas atpalikšana un akomodācijas atbilde ir proporcionāla akomodācijas stimulam (Buehren & Collins, 2006; Ciuffreda, 2006). Šīs zonas ietvaros tiek novērots, ka, pieaugot akomodācijas pieprasījumam, palielinās akomodācijas mikrofluktuāciju apjoms (Mhairi Day et al., 2006; Harb et al., 2006; Seidel et al., 2003).

- 3) Trešā zona raksturo akomodācijas atbildi augstu akomodācijas stimulu gadījumā (sākot no $\geq 5,00$ D jeb attālumam ≤ 20 cm) (Ciuffreda, 2006; Ciuffreda & Kenyon, 1983), kad, palielinot akomodācijas pieprasījumu, akomodācijas spējas vairs nav pietiekamas, lai nodrošinātu stimulam proporcionālu atbildi, un pieaug atpalikšanas apjoms (Momeni-Moghaddam et al., 2014; Yeo et al., 2006).
- 4) Ceturtā zona parāda individuālo akomodācijas maksimālās saspringšanas jeb akomodācijas amplitūdas robežu un tieši šī zona ir pirmā, kas tiek ietekmēta tad, kad sāk attīstīties ar vecumu saistītās redzes izmaiņas jeb presbiopija (Charman, 1989; Heron et al., 2001).
- 5) Piektā zona jeb tā dēvētā miopiskā defokusa zona raksturo apmieglojuma apgabalu, kur akomodācijas stimuliem, kas pārsniedz akomodācijas amplitūdu par 2,00 D, rodas nekompensējams tīklenes apmieglojums, kas rada pakāpenisku akomodācijas atbildes samazināšanos līdz pilnībā miglaina attēla gadījumā, ar ļoti zemu kontrastu tiek sasniegts toniskās akomodācijas līmenis, un var uzskatīt, ka augstā apmieglojuma dēļ akomodatīvs stimulns nav pieejams (Ciuffreda, 2006).

No redzes funkcionālā viedokļa *Heath* (1956) definējis, ka acs akomodācijas atbilde sastāv no 4 komponentēm, kas pastāv vienlaicīgi un kopā veido pilno akomodācijas atbildi:

- 1) Reflektorā akomodācija – raksturo automātisku acs refrakcijas stāvokļa izmaiņu, lai nodrošinātu un noturētu skaidru attēlu uz tīklenes. Reflektorā akomodācija reaģē uz apmieglojumu līdz pat 2,00 D. Reflektorā akomodācija veido lielāko daļu no kopējās akomodācijas atbildes gan monokulāros, gan binokulāros apstākļos (Ciuffreda, 2006).
- 2) Konverģences akomodācija – raksturo verģences izmaiņu ietekmi uz akomodāciju, ko izsaka kā 1Δ verģences ierosinātu akomodācijas atbildes izmaiņu dioptrijās (KA/K attiecība (konverģences akomodācija/konverģence)) (Ciuffreda, 2006). Konverģence izraisa akomodācijas saspringšanu un diverģence izraisa akomodācijas atslābšanu, kas jaunu pieaugušo grupā veido konverģences akomodāciju ap $0,10 D/\Delta$ (Hasebe et al., 2005; Simmons & Firth, 2014; Sweeney et al., 2014). Konverģences akomodācija veido otru lielāko kopējās akomodācijas atbildes daļu binokulāros apstākļos un, pieaugot vecumam, konverģences akomodācijas ieguldījums kopējā akomodācijas atbildē samazinās (Bruce et al., 1995; Hasebe et al., 2005).

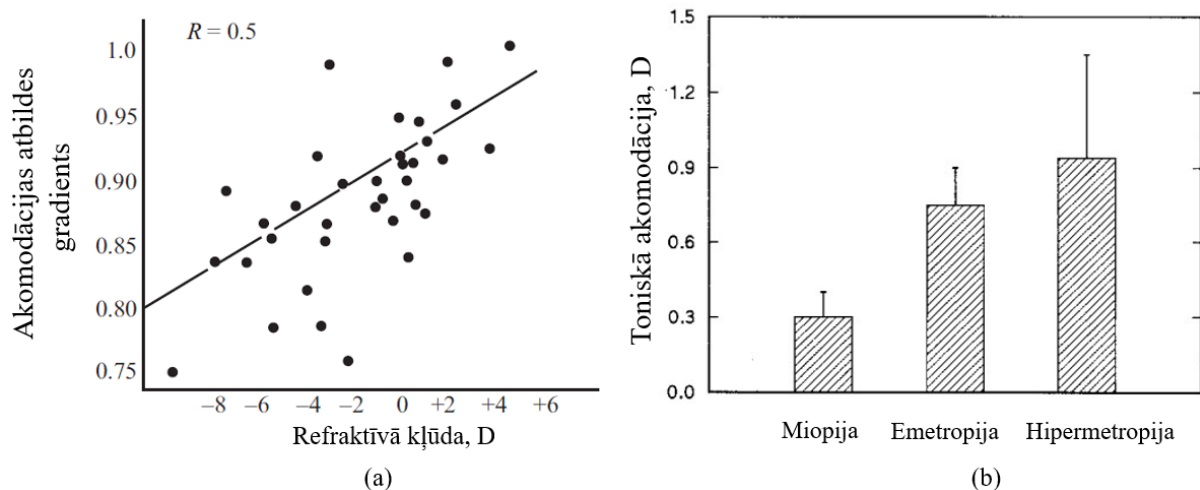
- 3) Proksimālā akomodācija – akomodāciju ierosina attāluma uztverē balstīts vērtējums par stimula tuvumu. Dabiskos un binokulāros apstākļos, normas gadījumā, proksimālā akomodācija var tikt ierosināta attālumos, kas tuvāki par 3 m (Rosenfield et al., 1991) un proksimālās akomodācijas komponente veido 4-10 % no kopējās akomodācijas atbildes (Hung et al., 1996). Proksimālā akomodācija tiek stimulēta tīri kā uztveres fenomens un tai nav tieša saistība ar apmiglojuma analīzi tīklenē (Ciuffreda, 2006). Klīniskie novērojumi parāda, ka nelielai daļai bērnu vecumā līdz 8 gadiem mēdz būt ļoti aktīva proksimālās akomodācijas komponente, kas rezultējās viltus augstos objektīvās refrakcijas rādītājos un atspoguļo proksimālās akomodācijas iesaisti instrumentu miopijas ierosināšanā (Wesner & Miller, 1986).
- 4) Toniskā akomodācija – dēvē arī par tumsas akomodāciju – ir pasīvs akomodācijas stāvoklis, kas raksturo vidēji 0,50 D līdz 1,50 D lielu akomodācijas saspringumu (Bullimore & Gilmartin, 1989; Ciuffreda, 2006; Glasser, 2011) apstākļos, kad nav pieejams akomodatīvs stimulē (piemēram, skatoties pilnīgā tumsā vai pilnīgi tukšā, gaišā laukumā). Toniskā akomodācija raksturo pamata neirālo stimulāciju, kas nāk no vidus smadzenēm (Ciuffreda, 2006) un tiek uzskatīts, ka tās ieguldījums kopējā atbildē sarūk līdz ar indivīda vecumu, kas tiek skaidrots ar acs lēcas novecošanās procesā radītajiem biomehāniskiem ierobežojumiem (Ciuffreda, 2006; Mordi & Ciuffreda, 2004; Rosenfield et al., 1993). Ir novērotas toniskās akomodācijas atšķirības dažādās refrakcijas grupās, kur zemāka toniskā akomodācija novērota skolēniem ar miopiju un augstāka dalībniekiem ar hipermetropiju (skat. Att. 2.2.(b)) (Gwiazda et al., 1995). Nesens pētījums demonstrējis plašas individuālās toniskās akomodācijas variācijas jaunu pieaugušo grupā, kur toniskā akomodācija novērota no -0,50 D līdz pat 5,50 D (vidēji $1,84 \pm 1,29$ D) un atrasta saistība starp toniskās akomodācijas stāvokli un akomodācijas atbildi. Tika novērotas 0,30 D izmaiņas akomodācijas atbildē katrai 1,00 D izmaiņai toniskajā akomodācijā (Liu et al., 2016).

Akomodācijas stimula-atbildes funkciju apraksta ar slīpuma koeficientu (mēdz saukt arī par akomodācijas atbildes gradientu), kas jauniem indivīdiem sagaidāms vidēji 0,75 līdz 0,95 lielumā, kur dalībniekiem ar hipermetropiju novēros augstāku akomodācijas atbildes gradientu nekā dalībniekiem ar miopiju (skat. Att. 2.3.(a)) (Millodot, 2015; Yeo et al., 2006). *Anderson* un kolēģi (2009) demonstrē metodi, kur no akomodācijas stimula-atbildes līknes var vairāku stimula pieprasījumu diapazonā ar vienu vērtību raksturot akomodācijas atpalikšanu, izsakot to

kā akomodācijas atpalikšanas indeksu (AEI, *accommodative error index*). Pozitīvs akomodācijas atpalikšanas indekss raksturo akomodācijas atpalikšanu, savukārt, negatīvs akomodācijas atpalikšanas indekss raksturo akomodācijas pārsvaru. Akomodācijas atpalikšanas indekss tiek aprēķināts no stimula-atbildes funkcijas laukuma, kas atrodas starp 1:1 ideālo līkni un reāli iegūtās akomodācijas atbildes funkcijas lineārās regresijas līkni, kas tiek dalīta ar determinācijas koeficientu (Anderson et al., 2009):

$$AEI = \frac{(1-m)\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right)-b}{R^2} \quad (2.1.)$$

kur m ir akomodācijas stimula-atbildes funkcijas lineārās regresijas līknes slīpuma koeficients, b ir regresijas līknes novirze no y (*intercept*), x_1 ir mazākais un x_2 ir lielākais akomodācijas pieprasījums, kurā veica mērījumus (D), R^2 ir determinācijas koeficients.



Att. 2.3. Refraktīvās kļūdas ietekme uz (a) akomodācijas atbildes gradientu (attēls aizgūts no Millodot (2015)) un (b) tonisko akomodāciju (attēls aizgūts no Gwiazda (1995)).

2.3 Vergēnces process

Vergēnces process raksturo izmaiņas relatīvajā redzes asu novietojumā, kur, mainot skata fiksāciju dažādos attālumos, redzes asu novietojums un leņķis starp tām mainās. Vergēnces atbildi var izteikt metriskā leņķa (MA) vienībās, kur 1 MA atbilst abu acu savirzes apjomam, ja skats tiek fiksēts 1 m attālumā no acīm. Biežāk vergēnces atbildi raksturo ar prizmatiskām dioptrijām (PD jeb Δ), kur 1 Δ atbilst 1 cm izmaiņām relatīvajā redzes asu novietojumā 1 m attālumā (Hughes, 1967). Mainot skatu no tāluma uz tuvumu, redzes asu novietojums un leņķis starp tām pieaug un process tiek saukts par konverģenci, savukārt, no skata tuvumā uz skatu tālumā leņķis starp redzes asu novietojumu samazinās un process tiek saukts par diverģenci. Diverģence ir pretējs process konverģencei, tomēr tas nav simetriski inverss parametrs, jo

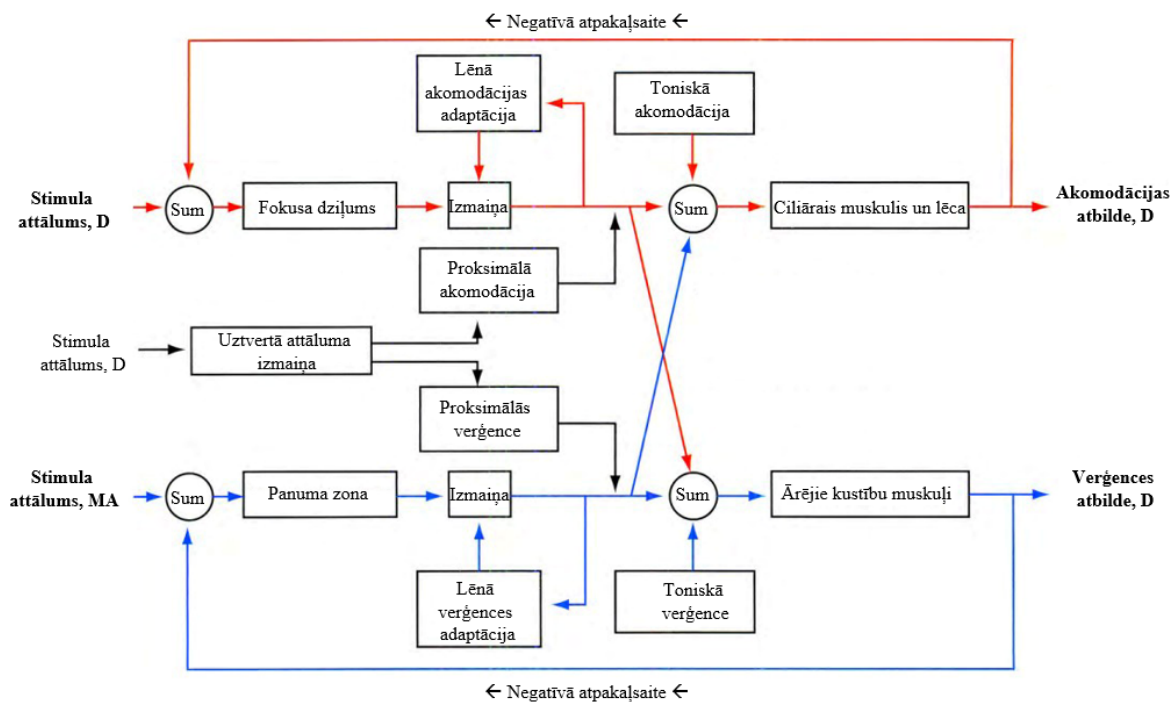
konverģences un diverģences inervācija, kā arī dinamiskie parametri (latence, ātrums, paātrinājums) ir atšķirīgi (Hung et al., 1997). Verģences atbilde satur vairākas komponentes, kur proksimālā verģence tiek ierosināta no apziņas par objekta attāluma maiņu, fuzionālā verģence tiek ierosināta kā atbilde uz atšķirīgi novietotiem attēliem uz abu acu tīklenēm, toniskā verģence tiek nodrošināta no acs ārējo muskuļu toniskā stāvokļa, kad redzes sistēmai nav fiksācijas objekta, un akomodatīvā verģence notiek reflektori līdz ar akomodācijas saspringšanu vai atslābšanu (Chen et al., 2010; Davson, 1990). Konverģences un akomodācijas savstarpējās sasaistes intensitāti izsaka ar AK/A attiecību, kas raksturo akomodatīvās konverģences (AK) lieluma, kas izteikts prizmatiskajās dioptrijās (Δ), izmaiņu, ja akomodācija (A) tiek izmainīta par 1,00 D. KA/K attiecība raksturo konverģentās akomodācijas (KA) izmaiņu, ko ierosina 1 Δ konverģences (K) izmaiņa.

Pētījumos, kur tiek pētīta akomodācijas un verģences darbība, bieži vien nepieciešams radīt mākslīgus apstākļus, kas ļautu pētīt abu sistēmu sadarbību daļēji vai pilnībā izolētā formā. Ir nedefinēti divi eksperimentālie stāvokļi: atvērtas cilpas (*open-loop*) un aizvērtas cilpas (*closed-loop*) dizaini. Verģences gadījumā atvērtas cilpas dizains paredz, ka abu acu attēlu sapludināšana jeb fūzija tiek liegta, ko var panākt, izmantojot vienas acs oklūziju vai disociējošas prizmas. Ja atvērtas cilpas dizainā informācija par disparitāti nav un teorētiski var pieņemt, ka tā būs vienāda ar nulli, tad aizvērtas cilpas dizains paredz, ka fūzija tiek nodrošināta un informācija par disparitāti ir pieejama. Akomodācijas sistēmas gadījumā atvērtas cilpas dizainā tiek minimizēts galvenais akomodācijas ierosinātājs apmiglojums, ko var izdarīt izmantojot, piemēram, *pinhole* – maza izmēra apertūru. Aizvērtas cilpas dizains akomodācijas sistēmai raksturo dabiskus apstākļus, kad informācija par apmiglojumu ir pieejama (Fogt et al., 2016). Viscabiskākie apstākļi būtu duāli aizvērtas cilpas gadījumā, tomēr akomodācijas pētījumos bieži vien izmanto dizainu, kur akomodācijas sistēmai ir aizvērtās cilpas dizains, bet verģences sistēmai ir atvērtās cilpas dizains, proti, tie ir visi gadījumi, kad mērījumi tiek veikti monokulāri.

2.4 Tuvuma triāde

Akomodācijas un verģences atbilde, kur klāt nāk arī zīlītes atbilde, veido tā saukto tuvuma triādi. Binokulāros apstākļos šie trīs bloki ir savstarpēji saistīti un izmaiņas vienā no blokiem ietekmēs un stimulēs izmaiņas arī pārējās tuvuma triādes komponentēs (Davson, 1990). Akomodācijas un konverģences abpusējā sajūgtā darbība palīdz nodrošināt normālu,

binokulāru fiksāciju tuvumā. Apmiglojuma ierosinātā akomodācija nodrošina skaidru attēlu un sekundāri stimulē arī konverģenci, savukārt, disparitātes ierosinātā vergēnces sistēma nodrošina, lai attēli abās acīs projicētos uz abu acu fovejām vai tuvu tām un redzes sistēma spētu tos savietot, izveidojot vienu attēlu, un paralēli tiek stimulēta arī akomodācija (Fincham & Walton, 1957). Detalizētu akomodācijas un vergēnces sistēmas sadarbības modeli izveidoja Hung un kolēģi (1996), kuru vienkāršoja un mūsdienīgi vizualizēja Ciuffreda (2006) (skat. Att. 2.4.). Šis modelis attēlo krusteniskās dabas sadarbību starp akomodācijas un vergēnces atbildi, kur skatoties no kreisās puses uz labo redzams, ka gan akomodācijai, gan vergēncei pamata stimulācija tiek ierosināta no stimula attāluma (proksimālā akomodācija un vergēnce atsevišķi, jo tās raksturo uztveres nevis tīklenes līmeņa stimulāciju). Tālāk fokusa dziļums akomodācijai un Panuma zona vergēncei raksturo neirālās tolerances fenomenu, kur neliela apjoma apmiglojums vai disparitāte nerada subjektīvi uztveramu miglošanos vai dubultošanos (ļaujot redzes sistēmai nebūt perfekti precīzai). Tikai tad, ja apmiglojums vai disparitāte pārsniedz fokusa dziļuma vai Panuma zonas robežas, tiek tālāk ierosināta akomodācijas vai vergēnces atbildes izmaiņa. Pēc tam, kad rupjā apjoma izmaiņa notikusi, tā ierosina atbildes precizēšanu caur adaptācijas cilpu (lēnā akomodācijas un vergēnces adaptācija), kur noris atkārtota riņķveida ilgtermiņa motorās atbildes uzturēšana un koriģēšana. Summētās atbildes lielumu veido iepriekš precizētā atbilde, papildu toniskās atbildes komponente un papildu krustotās sadarbības komponente (akomodācijas gadījumā to raksturo AK/A attiecība un vergēnces gadījumā to raksturo KA/A attiecība). Summētā atbilde tālāk tiek nogādāta uz atbilstošajiem smadzeņu centriem, kur tiek formulēts pamata neirālais signāls, lai akomodācijas gadījumā inervētu ciliāro muskuli, kurš ietekmēs acs lēcu un nodrošinās lēcas optiskā stipruma izmaiņas atbilstoši stimula attālumam. Vergēnces gadījumā neirālais signāls ierosina atbilstošos acs ārējos kustību muskuļus, lai atbilstoši stimula attālumam veiktu abu acu savirzīšanu uz stimulu. Informācija par veiktajām izmaiņām ar negatīvās atpakaļsaites palīdzību tiek nogādāta atpakaļ uz pirmo summētās atbildes posmu, lai nepieciešamības gadījumā atsāktu ciklu no jauna līdz tiek iegūta precīza, laikā stabila, abu sistēmu saskaņota atbilde (Ciuffreda, 2006; Hung et al., 1996).

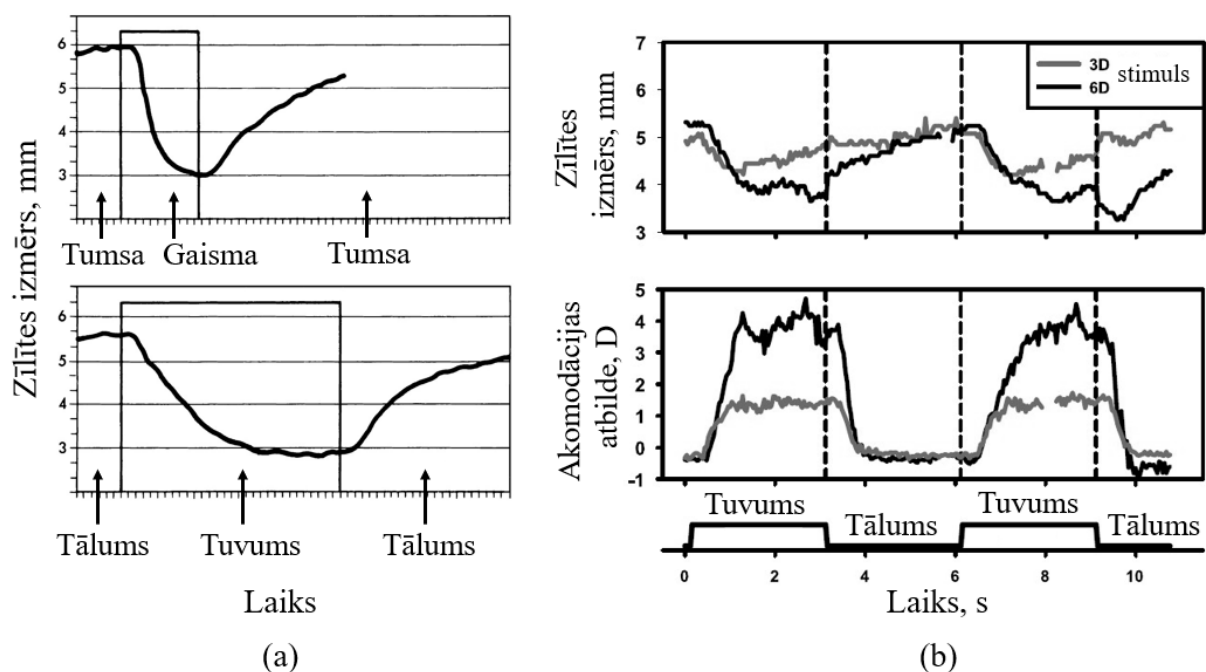


Att. 2.4. Akomodācijas un verģences krusteniskās sadarbības modelis. Attēls aizgūts un tulkots no *Ciuffreda* (2006), balstīts uz *Hung* un kolēģu (1996) publicētā apraksta.

Ja akomodācijas vai verģences sistēma darbojas novājinātā režīmā, tad otra sistēma, lai kompensētu un spētu turpināt nodrošināt kopējā modeļa darba rezultātu (viens un skaidrs attēls) var sākt darboties pastiprināti, kas var izraisīt binokulārās sistēmas traucējumus. Piemēram, konverģences nepietiekamības gadījumā var veidoties sekundārs akomodācijas ekscēss, jo redzes sistēma pastiprināti stimulē akomodāciju, lai ar akomodācijas stimulētās konverģences (akomodatīvās konverģences) palīdzību kompensētu konverģences vājo darbību. Tas var noritēt ar būtiskām astenopiskām sūdzībām un galvassāpēm (Cacho et al., 2002). Vēl viens tipisks klīniskais piemērs ir nekorģētas hipermetropijas izraisīta ezotropija (manifesta šķielēšana uz iekšu), kur hipermetropijas dēļ akomodācijas funkcijas darbojas pastiprinātā režīmā un attiecīgi sekundāri caur krustenisko sadarbību tiek pārslogota arī konverģence un veidojas ezotropija (Brodsky & Jung, 2015).

Trešā no tuvuma triādes komponentēm ir zīlītes atbilde, kas līdzdarbojas kā kopējās tuvuma triādes sistēmas komponente. Normas gadījumā, līdz ar konverģenci un akomodāciju tiek novērota gribai nepakļauta, reflektora zīlītes izmēra samazināšanās (skat. Att. 2.5.(b)), kas palielina fokusa dziļumu, un atbilstoši samazina reālo nepieciešamību akomodēt. Eksperimentāli iegūtais zīlītes izmēra samazināšanās apjoms uz vienu dioptriju akomodācijas

ir $0,58 \text{ mm D}^{-1}$, savukārt, $1,00 \text{ D}$ disakomodācijas (akomodācijas atslābšanas jeb samazināšanās) gadījumā tiek novērots septiņas reizes mazāks $0,08 \text{ mm D}^{-1}$ zīlītes paplašināšanās apjoms (Kasthurirangan & Glasser, 2005a). Primāri zīlītes saraušanos un izplešanos regulē gaismas daudzums un akomodācijas reflekss (Davson, 1990), kur atbilde uz gaismas stimulu tiek novērota straujāk nekā atbilde uz tuvumā esošu stimulu (skat. Att. 2.5.(a)) (Noorden & Campos, 2001). Sekundāri, zīlītes diametru ietekmē arī kognitīvie procesi, piemēram, informācijas apstrāde, uztvere, īslaicīgā atmiņa, iegaumēšana, nogurums un citi centrālās nervu sistēmas procesi (Andreassi, 1980).



Att. 2.5. Dinamiskā zīlītes atbilde atkarībā no (a) stimulācijas veida: ar gaismu (augšējā līkne) vai tuvuma attālumu (apakšējā līkne). Attēls aizgūts no *Noorden & Campos* (2001) un (b) tuvuma stimula lieluma $3,00 \text{ D}$ (gaiši pelēkā līkne) un $6,00 \text{ D}$ (melnā līkne) salīdzinājumā ar dinamisko akomodācijas atbildi. Attēls aizgūts un papildināts no *Kasthurirangan & Glasser* (2006).

2.5 Akomodācijas funkciju izmaiņas dzīves laikā

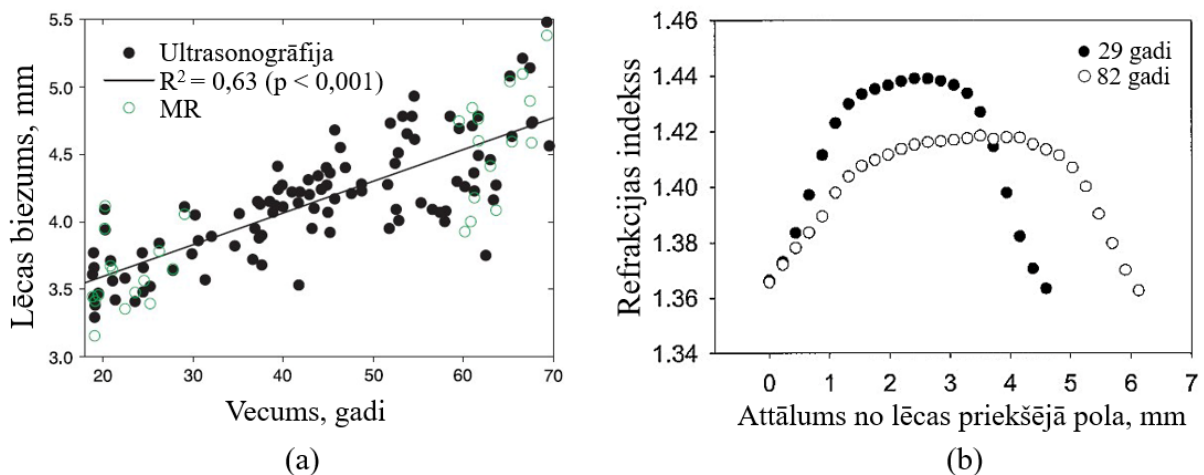
Jaundzimušam bērnam acs aksiālais garums ir ap 17 mm (Larsen, 1971), radzenes optiskais stiprums ir ap $48,00 \text{ D}$ (Inagaki, 1986) un acs lēcas stiprums sasniedz vidēji $45,00 \text{ D}$ (Wood et al., 1996). Līdz 2 gadu vecumam radzenes optiskais stiprums samazinās par $4,00 \text{ D}$ (Inagaki, 1986) un līdz 6 gadu vecumam lēcas optiskais stiprums samazinās par $20,00 \text{ D}$ (Wood et al., 1996), tomēr izmaiņas lēcas priekšējā un mugurējā liekuma rādiusā, kā arī gaismas laušanas koeficientā turpina mainīties arī pēc 6 gadu vecuma un kopējais lēcas stiprums stabilizējas ap 10 gadu vecumu (Mutti et al., 1998). Lai kompensētu šo kopējo acs optiskās

sistēmas stipruma mazināšanos, paralēli noris acs aksiālā garuma pieaugšana par 5-6 mm, kur 1 mm izmaiņa acs aksiālajā garumā rada ap 3,00 D izmaiņām acs optiskajā stiprumā (Glasser, 2011; Mutti et al., 1998). Šo anatomisko izmaiņu procesa rezultātu, kas vidēji noris līdz 6 gadu vecumam, sauc par acs emetropizāciju (kad paralēli gaismas stari fokusējas tieši uz acs tīklenes) (Hirsch & Ditmas, 1947). Skolas vecumā nelielā apjomā turpina mainīties acs anatomiskie parametri un papildus pieaug tuvumā veicamo uzdevumu apjoms un acs akomodācijas slodze, kas tiek uzskatīts kā viens no faktoriem, kas stimulē acs aksiālā garuma augšanu un tuvredzības veidošanos (kad paralēli gaismas stari fokusējas pirms tīklenes) (Huang et al., 2015; Huang et al., 2019; Ip et al., 2008; Larsen, 1971).

Mainoties acs anatomiskajiem parametriem, mainās arī acs akomodācijas maksimālā saspringšanas spēja un kopējais diapazons. Dzīves laikā tas turpina mainīties paredzamā veidā, kas tika aprakstīts jau vairāk kā pirms 100 gadiem (Duane, 1912), un paredz pakāpenisku akomodācijas amplitūdas samazināšanos līdz ar pieaugošo vecumu, jo acs lēca kļūst cietāka, izmainās tās blīvums, elastība un akomodācijas amplitūdas apjoms pakāpeniski zūd (Charman, 2008). Vidējais subjektīvās akomodācijas amplitūdas samazināšanās temps literatūrā tiek minēts ap 0,27 D/gadā (Charman, 1989). Sākot no 40 gadu vecuma, akomodācijas amplitūda pakāpeniski kļūst zemāka par akomodācijas pieprasījumu tuvos darba attālumos, kas izraisa tādas subjektīvas sūdzības kā lēnāka fokusēšanās mainot skatu no tāluma uz tuvumu, miglaina redze tuvumā, grūtības koncentrēties tuvuma darbiem un/vai galvassāpes, kā arī vēlme pēc papildus apgaismojuma un tendence novietot tuvuma darbus tālāk no acīm (Werner & Press, 2002). Šo stāvokli sauc par presbiopiju, kas definējama kā lēna, dabiska, ar vecumu saistīta un neatgriezeniska maksimālās akomodācijas amplitūdas samazināšanās (Benjamin, 2006; Duane, 1922; Mordi & Ciuffreda, 1998). Gadījumus, kad presbiopijas radīti simptomi un samazināta akomodācijas amplitūda tiek novērota pacientiem vecumā īsi pirms 40 gadiem klasificē kā pre-presbiopiju jeb priekšlaicīgu presbiopiju (Priyambada, 2019). *Fasih* un kolēģi (2014) pētīja kādi faktori vieno 246 priekšlaicīgās presbiopijas pacientus un kā trīs galvenie riska faktori tika noteikti košļājamās tabakas lietošana (35,7 %), gastrīts (21,1 %) un paaugstināts asinsspiediens (7,31 %), kas netieši saistāmi arī ar palielinātu stresa līmeni, tāpēc autori secina, ka priekšlaicīga presbiopija var tikt uzskatīta kā psihosomatisks traucējums, ko rada psiholoģiski saspringti sociālie un vides apstākļi. Vidēji 2-3% bērnu un jauniešu var tikt novērota akomodācijas amplitūda, kas ir zemāka par vecumam sagaidāmo normu, ko ne-presbiopijas

vecuma pacientiem klasificē kā akomodācijas nepietiekamību (Lara et al., 2001; Marran et al., 2006).

Presbiopijas veidošanās ir komplekss, multifaktoriāls process, kas ietver tādas izmaiņas kā lēcas elastības samazināšanās (Weeber et al., 2007), lēcas biezuma palielināšanās (Atchison et al., 2008; Dubbelman & Van Der Heijde, 2001; Glasser & Campbell, 1999; Moffat et al., 2002) (skat. Att. 2.6.(a)), lēcas priekšējā un mugurējā lieluma rādiusa samazināšanās (Brown, 1974; Dubbelman & Van Der Heijde, 2001), lineāri pieaugošs lēcas svars (Glasser & Campbell, 1999), priekšējās kameras dziļuma samazināšanās (Atchison et al., 2008), kopējā acs refrakcijas indeksa jeb laušanas koeficienta samazināšanās (Dubbelman & Van Der Heijde, 2001; Moffat et al., 2002) (skat. Att. 2.6.(b)) un lēcas bioķīmiskā sastāva (ūdens saturs, elektrolītu, proteīnu, kalcija un nātrija daudzums) izmaiņas (El-Sayyad, 2014).



Att. 2.6. Vecuma ietekme uz acs lēcas (a) centrālo biezumu (dati no ultrasonogrāfijas un magnētiskās rezonanses (MR)). Attēls aizgūts no *Atchison* un kolēģiem (2008). (b) refrakcijas indeksu 29 gadus vecai un 82 gadus vecai acs lēcai, atkarībā no attāluma līdz lēcas priekšējam polam. Attēls aizgūts no *Moffat* un kolēģiem (2002).

No klīniskās puses, lai kompensētu akomodācijas mazināšanos, tiek pielietots tā sauktais aditīvs, jeb pozitīvas lēcas, kas kompensē samazināto akomodācijas apjomu, nodrošinot skaidru redzi tuvumā. Nepieciešamā presbiopijas aditīva lielums nelielā apmērā būs saistīts arī ar pacienta kontrastredzi, kas ar vecumu samazinās (Tang & Zhou, 2009), gaismas izkliedi acī, kas pēc 40 gadu vecuma pieaug eksponenciāli (Smith et al., 1992; Van Den Berg et al., 2007) un labākā iespējamā redzes asuma līmeni. Pilnīgas akomodācijas darbības samazināšanās rezultātā aditīva lielums 40 cm attālumā sasniedz +2,50 D. Samazināts labākais iespējamais

redzes asums var radīt nepieciešamību korekciju piemeklēt attālumā tuvākā par 40 cm un attiecīgi maksimālais aditīvs var pārsniegt +2,50 D vērtību (Charman, 1989). Tas, cik ātri presbiopijas radītais akomodācijas funkciju samazinājums sāks ietekmēt dzīves kvalitāti, atkarīgs no tādiem faktoriem kā pamata refrakcijas veids, nodarbošanās un profesijai specifiskās prasības tuvuma redzei, darba attālums un apgaismojums (Antona et al., 2008). Arī dzimums tiek minēts kā viens no klīniski noteiktās presbiopijas ietekmējošiem faktoriem, kur sievietēm ir par 22 % augstāks agrīns presbiopijas iestāšanās risks (Duarte et al., 2003) un sagaidāms vidēji par 0,10 D stiprāks tuvuma aditīvs kā tāda paša vecuma vīriešiem (Pointer, 1995). Tomēr šī atšķirība nav skaidrojama ar atšķirīgu acs akomodācijas darbību, bet gan ar anatomisko roku garuma atšķirību, kas vidēji sievietēm ir īsāks. Līdz ar to tuvuma darba attālumam sievietēm nepieciešams augstāks aditīvs nekā vīriešiem (Hickenbotham et al., 2012; Pointer, 1995). Ir pierādīts, ka arī etniskā piederība un ģeogrāfiskie faktori ietekmē presbiopijas attīstības gaitu. Augstākā temperatūrā un intensīvākā ultravioletajā starojumā lēcas novecošanās process norit straujāk un attiecīgi presbiopija iestājas agrāk tiem, kas dzīvo reģionos tuvāk ekvatoram (Miranda, 1979).

2.6 Akomodācijas funkciju novērtēšana

Acs akomodācijas funkciju novērtēšana ir būtiska pilnvērtīgas redzes pārbaudes sastāvdaļa. Liela daļa binokulāro funkciju traucējumu tiek raksturoti pēc diagnostikas kritērijiem, kas balstās klīnisko akomodācijas funkciju novērtējumu atradnēs (Cacho-martínez et al., 2013; Cacho-Martínez et al., 2014; Cacho et al., 2002; Ming-Leung Ma et al., 2019; Wajuihian, 2019). Savukārt, objektīvais akomodācijas funkciju novērtējums biežāk tiek izmantots redzes zinātnes pētījumos, lai gūtu padziļinātu priekšstatu par acs funkciju izmaiņām dažādos vecumos (Anderson et al., 2014; Heron et al., 2001; Johns et al., 2006; Kasthurirangan & Glasser, 2006; Lockhart & Shi, 2010; Win-Hall & Glasser, 2008), dažādu faktoru ietekmi (Anderson et al., 2011; Mathur et al., 2014; Yang et al., 2019), mūsdienu tehnoloģiju ietekmi (Harb et al., 2006; Hoffman et al., 2015; Jeng et al., 2014; MacKenzie et al., 2010), kā arī par atsevišķu binokulāro funkciju traucējumu (Horwood & Riddell, 2012; Schnider et al., 1984; Toor et al., 2018), refrakcijas kļūdu patofizioloģiju (Cufflin & Mallen, 2008; Mhairi Day et al., 2006; Mhairi Day, Gray, et al., 2009; Hartwig, Charman, et al., 2011; Radhakrishnan et al., 2007; Sreenivasan et al., 2012) vai akomodācijas fizioloģiju (Bharadwaj et al., 2011; Bharadwaj & Schor, 2005; Chen et al., 2019; Del Águila-Carrasco et al., 2017; Win-Hall, 2010;

Esteve-Taboada et al., 2017; Heron et al., 2001; Johns et al., 2006; Suryakumar et al., 2007a; Thiagarajan & Ciuffreda, 2013).

2.6.1 *Subjektīvās un objektīvās akomodācijas novērtēšanas metodes*

Redzes process ir cieši saistīts ar redzētā uztveri un interpretāciju, tāpēc acs akomodācijas funkciju novērtēšanā ir būtiski izšķirt atšķirības starp subjektīvo un objektīvo metožu atradnēm. Subjektīvo metožu rezultāts ir atkarīgs no pacienta atbildes un vērtējuma par attēla samiglošanos (izmanto klīnisko akomodācijas amplitūdas, akomodācijas relatīvo rezervju un akomodācijas viegluma noteikšanā), savukārt, objektīvo metožu gadījumā (klīniskajā praksē izmanto objektīvās refrakcijas mērījumu veikšanai) pacienta vērtējums netiek ņemts vērā, kas ļauj veikt ātrākus mērījumus ar augstāku atkārtojamību. Piemēram, akomodācijas amplitūdas gadījumā, subjektīvās metodes sniedz informāciju par tuvāko attālumu, kurā pacients vēl var skaidri redzēt, savukārt, objektīvās metodes sniedz informāciju par objektīvo acs optiskā stipruma pieaugumu (Burns et al., 2014; León et al., 2016).

Lai arī ir cieša saistība starp subjektīvo un objektīvo metožu atradnēm, vairāki pētījumi ir demonstrējuši, ka objektīvi novērtētā akomodācijas saspringšanas spēja jeb amplitūda ir zemāka nekā subjektīvi novērtētā (Anderson et al., 2014; Mathebula et al., 2018; Ostrin & Glasser, 2004; Win-Hall et al., 2007; Win-Hall & Glasser, 2008). Atšķirības starp subjektīvi un objektīvi mērīto akomodācijas atbildi saistītas ar to, ka subjektīvās akomodācijas amplitūdas mērījums ietver ne tikai reālo acs akomodācijas saspringšanas spēju, bet arī fokusa dziļuma radīto pseidoakomodācijas efektu (Dhallu et al., 2019), kas šauru acu zīlīšu gadījumā ir labvēlīgs un sniedz šķietami augstākus subjektīvās akomodācijas amplitūdas mērījumus nekā objektīvi novērotos, kur fokusa dziļums neietekmē mērījuma rezultātu (Glasser, 2006). Otrs būtisks faktors, kas ietekmē subjektīvo atbildi, ir pacienta un optometrista reakcijas laiks (Burns et al., 2014). Pacienta reakcijas laiks ietver laiku līdz pacients ierauga attēla miglošanos un laiku, lai paziņotu par to skaļi, savukārt, optometrista reakcijas laiks ietver laiku līdz tiek uztverta pacienta atbilde un veiktas atbilstošās tālākās darbības.

Tā kā klīniskajā praksē objektīvu akomodācijas amplitūdas mērījumu nodrošināšana ir reti iespējama, var noderēt teorētiskais modelis, ko formulas veidā piedāvā *Anderson* un kolēģi (2014) balstoties uz savām atradnēm. Tas ļauj aprēķināt paredzamo objektīvo akomodācijas amplitūdu, ja ir zināma subjektīvā akomodācijas amplitūda un dalībnieka vecums pēc sekojošas formulas:

$$\begin{aligned} & \text{Paredzamā objektīvā proksimāli stimulētā amplitūda (D)} = \\ & 7,73 - 0,14 * (\text{vecums} - 3) + 0,13 * \text{Subjektīvā Push-Up amplitūda (D)} \end{aligned} \quad (2.2.)$$

Izmantojot paredzamās objektīvās proksimāli stimulētās amplitūdas formulu (skat. vienādojumu 2.2.), 80 % gadījumā teorētiski aprēķinātā akomodācijas amplitūda ir $\pm 1,50 D$ un 92 % gadījumā $\pm 2,00 D$ robežās no reāli nomērītās objektīvās akomodācijas amplitūdas.

Klīniskie akomodācijas mērījumi un nedefinētās normas ir balstītas uz statistiskiem mērījumiem, bet pēc būtības acs akomodācija ir dinamisks process, kur, nomērot vienu statistisku parametru konkrētajā momentā, tiek zaudēts daudz papildu informācijas par dinamiskajiem parametriem, kas ļauj izprast akomodācijas darbību laikā. Lielāko daļu dinamisko parametru var izvērtēt tikai ar objektīvām metodēm (Vargas et al., 2019). Akomodācijas dinamisko atbildi raksturo vairāki parametri:

- akomodācijas atbildes latence (laiks no stimula parādīšanās brīža līdz akomodācijas atbildes sākumam jeb reakcijas laiks; šajā laikā notiek akomodācijas atbildes plānošana, ms) (*latency*),
- akomodācijas atbildes laiks (laiks no akomodācijas atbildes sākuma līdz maksimālās amplitūdas sasniegšanai, ms) (*response time*)
- akomodācijas atbildes ātrums (vidējais akomodācijas atbildes ātrums noteiktā laika momentā, D/s) (*velocity*)
- akomodācijas atbildes maksimālais ātrums (maksimālais sasniedzamais ātrums akomodācijas atbildes laikā, D/s) (*peak velocity*)
- akomodācijas atbildes laika konstante (laiks līdz tiek sasniegts maksimālais akomodācijas atbildes ātrums, ms) (*time constant*)
- akomodācijas atbildes paātrinājums (akomodācijas atbildes ātruma izmaiņa laikā, D/s²) (*acceleration*),
- akomodācijas atbildes maksimālais paātrinājums (maksimālā akomodācijas atbildes ātruma izmaiņa laikā, D/s²) (*peak acceleration*),
- akomodācijas atbildes paātrinājuma laika konstante (laiks līdz tiek sasniegts maksimālais akomodācijas atbildes paātrinājums, ms) (*time to peak acceleration*)
- akomodācijas atbildes amplitūda (maksimāli sasniedzamais akomodācijas atbildes apjoms, D),

- maksimāli iespējamā akomodācijas amplitūda (akomodācijas atbildes maksimālais apjoms, ko redzes sistēma spēj nodrošināt),
- akomodācijas vieglums (akomodācijas spēja pārslēgties no sasprindzināta uz atslābinātu stāvokli, cikli/minūtē)
- akomodācijas atpalikšana (akomodācijas atbildes atšķirību no akomodācijas pieprasījuma, D)
- akomodācijas mikrofluktuācijas (akomodācijas svārstības fiksācijas laikā, D)

Dinamiskos akomodācijas atbildes mērījumus pasaulē veic atsevišķas pētnieku grupas un līdz šim nav izstrādāta vienota metodika, kas ļautu veikt kvalitatīvu dažādu pētnieku iegūto rezultātu salīdzināšanu, jo atšķiras gan izmantoto iekārtu mērījumu frekvences un datu apstrādes stratēģijas, gan pētījuma protokoli attiecībā uz stimulu pieprasījumu amplitūdām un apstākļiem (monokulāri vai binokulāri). Dinamiskās atbildes analizē, īpaši ātruma un paātrinājuma gadījumā, bieži tiek pielietota arī manuāla datu vizuālā apskate un analīze (Anderson et al., 2010; Bharadwaj & Schor, 2005; Mordi & Ciuffreda, 2004). Tabulā 2.1. apkopoti dažādu pētnieku grupu rezultāti, par dinamiskiem akomodācijas parametriem – akomodācijas atbildes latence, atbildes laiks, atbildes ātrums, atbildes maksimālais ātrums un vidējais atbildes ātrums.

Akomodācijas atbildes maksimālais ātrums ir atkarīgs no stimula pieprasījuma amplitūdas, sākuma punkta un virziena (akomodācijas saspringšanas vai atslābšanas fāze) (Kasthurirangan & Glasser, 2005b; Thiagarajan & Ciuffreda, 2013). *Kasthurirangan & Glasser* (2005b) novēroja, ka vidējais akomodācijas atbildes maksimālais ātrums pieaug lineāri ($y = -2,78x + 20,41$; $p < 0,05$) līdz ar stimula pieprasījuma amplitūdu, piemēram, 0,50 D atbildes amplitūdai maksimālais ātrums ir ap 2–4 D/s. Savukārt, 6,00 D atbildes amplitūdai maksimālais ātrums sasniedz 10,00 D/s, ja tāluma pozīcija fiksēta un maina tuvuma pozīcijas beigu punktu, vai pat 16–18 D/s, ja tuvuma pozīcija fiksēta un tiek mainīts tāluma pozīcijas sākuma punkts.

Arī laika konstantes vērtības atkarīgas no stimula pieprasījuma amplitūdas un sākuma punkta, piemēram, 0,50 D atbildes amplitūdai novērotā laika konstante ir no 250 līdz 300 ms, savukārt, 5,00 D atbildes amplitūdai laika konstante var sasniegt līdz pat 650 ms, ja fiksēta ir tāluma pozīcija (Kasthurirangan & Glasser, 2005b). Akomodācijas atbildes latence samazinās ar vecumu gan akomodācijas saspringšanas (Tāl → Tuv), gan akomodācijas atslābšanas (Tuv → Tāl) fāzēs ($r^2 = 0,025$, $p = 0,0007$ un $r^2 = 0,068$, $p < 0,0001$) (Anderson et al., 2010).

Lai veiktu akomodācijas atbildes maksimālā paātrinājuma un maksimālā paātrinājuma laika konstantes mērījumus nepieciešama iekārta ar īpaši augstu mērīšanas frekvenci (Labhishetty et al., 2019; Suryakumar et al., 2007a). *Suryakumar* (2007b) ar 70 Hz frekvenci ieguva $48 \pm 21 \text{ D/s}^2$ paātrinājumu un ap $200 \pm 80 \text{ ms}$ paātrinājuma laika konstanti, kas neatšķirās akomodācijas saspringšanas un atslābšanas fāzēs ($p = 0,34$ un $p = 0,14$). *Bharadwaj & Schor* (2005) 6 dalībnieku grupā (vidējais vecums 29 gadi) ar 200 Hz frekvenci ieguva akomodācijas atbildes paātrinājumu no $45 \pm 7 \text{ D/s}^2$ līdz $90 \pm 23 \text{ D/s}^2$ un paātrinājuma laika konstanti no 80 ms līdz 120 ms.

Tabula 2.1.

Akomodācijas dinamisko parametru vērtības dažādos pētījumos

Autori, metode	Vecums, dalībnieku skaits	Rezultāti	Pētījuma dizains
			Tāl → Tuv = saspringšanas fāze Tuv → Tāl = atslābšanas fāze
Akomodācijas atbildes latence, ms			
<i>Heron</i> un kolēģi (2001) (n = 12) Atvērta skata IS autorefraktometrs, Canon R1, 10 Hz	16-26 gadi, n = 6	490 ± 160	(Tāl (1,33 D) → Tuv (2,38 D))
		480 ± 150	(Tuv (2,38 D) → Tāl (1,33 D))
	36-48 gadi, n = 6	410 ± 170	(Tāl (1,33 D) → Tuv (2,38 D))
		420 ± 170	(Tuv (2,38 D) → Tāl (1,33 D))
<i>Tondel & Candy</i> (2008) (n = 36) PowerRefractor, fotorefraktometrijas princips, 25 Hz	1,5-6 mēneši, n = 36	692 ± 528	(Tuv (2,00 D) → Tuv (5,00 D))
	1,5-6 mēneši, n = 33	617 ± 533	(Tuv (5,00 D) → Tuv (2,00 D))
<i>Anderson</i> un kolēģi (2010) (n = 41) Pašu veidota iekārta, fotorefraktometrijas princips, 30 Hz	3-9 gadi, n = 16	330 ± 107	(Tāl (0,00 D) → Tuv (2,00-5,00 D))
		337 ± 154	(Tuv (2,00-5,00 D) → Tāl (0,00 D))
	11-19 gadi, n = 8	311 ± 130	(Tāl (0,00 D) → Tuv (2,00-5,00 D))
		362 ± 137	(Tuv (2,00-5,00 D) → Tāl (0,00 D))
	20-29 gadi, n = 7	311 ± 98	(Tāl (0,00 D) → Tuv (2,00-5,00 D))
		302 ± 118	(Tuv (2,00-5,00 D) → Tāl (0,00 D))
	32-38 gadi, n = 9	288 ± 98	(Tāl (0,00 D) → Tuv (2,00-5,00 D))
		251 ± 123	(Tuv (2,00-5,00 D) → Tāl (0,00 D))
<i>Suryakumar</i> un kolēģi (2007b) (n = 6) Fotorefraktometrs, 70 Hz	25 ± 1, n = 6	240 ± 81	(Tāl (1,00 D) → Tuv (2,50 D))
		248 ± 81	(Tuv (2,50 D) → Tāl (1,00 D))

Tabula 2.1. turpinājums

Akomodācijas atbildes laiks, ms			
<i>Lockhart & Shi</i> (2010) (n = 30) Atvērta skata IS autorefraktometrs, Shin-Nippon SRW-5000, 20 Hz	20-29 gadi, n = 10	238 ± 37	(Tāl (0,25 D)→Tuv(1,50 D))
	40-49 gadi, n = 10	381 ± 53	
	60-69 gadi, n = 10	472 ± 75	
<i>Heron un kolēģi</i> (2001) (n = 12) Atvērta skata IS autorefraktometrs, Canon R1, 10 Hz	16-26 gadi, n = 6	830 ± 470	(Tāl (1,33 D)→Tuv(2,38 D))
		570 ± 270	(Tuv (2,38 D)→Tāl(1,33 D))
	36-48 gadi, n = 6	840 ± 610	(Tāl (1,33 D)→Tuv(2,38 D))
		720 ± 390	(Tuv (2,38 D)→Tāl(1,33 D))
<i>Suryakumar un kolēģi</i> (2007b) Fotorefraktometrs, 70 Hz	25 ± 1 gadi, n = 6	843 ± 222	(Tāl (1,00 D)→Tuv (2,50 D))
		1017 ± 280	(Tuv (2,50 D)→Tāl (1,00 D))
Akomodācijas atbildes maksimālais ātrums, D/s			
<i>Lockhart & Shi</i> (2010) (n = 30) Atvērta skata IS autorefraktometrs, Shin-Nippon SRW-5000, 20 Hz	20-29 gadi, n = 10	1,88 ± 0,63	(Tāl (0,25 D)→Tuv(1,50 D))
	40-49 gadi, n = 10	1,13 ± 0,66	
	60-69 gadi, n = 10	0,55 ± 0,27	
<i>Heron un kolēģi</i> (2001) (n = 12) Atvērta skata IS autorefraktometrs, Canon R1, 10 Hz	16-26 gadi, n = 6	2,1 ± 1,1	(Tāl (0,25 D)→Tuv (2,00 D))
		3,5 ± 0,8	(Tuv (2,50 D)→Tāl (0,25 D))
	36-48 gadi, n = 6	2,9 ± 1,6	(Tāl (0,25 D)→Tuv (2,00 D))
		3,7 ± 0,9	(Tuv (2,50 D)→Tāl (0,25 D))
<i>Thiagarajan & Ciuffreda</i> (2013) (n = 10) Atvērta skata IS autorefraktometrs, WAM-5500, 5 Hz	26 ± 3 gadi, n = 10	5,7	(Tāl (2,50 D)→ Tuv (4,50 D))
		4,6	(Tuv (4,50 D)→ Tāl (2,50 D))
Vidējais akomodācijas ātrums, D/s			
<i>Heron un kolēģi</i> (2001) (n = 12) Atvērta skata IS autorefraktometrs, Canon R1, 10 Hz	16-26 gadi, n = 6	1,2 ± 0,7	(Tāl (0,25 D)→Tuv (2,00 D))
		1,9 ± 0,9	(Tuv (2,50 D)→Tāl (0,25 D))
	36-48 gadi, n = 6	1,0 ± 0,6	(Tāl (0,25 D)→Tuv (2,00 D))
		1,8 ± 0,9	(Tuv (2,50 D)→Tāl (0,25 D))

2.6.1.1 Akomodācijas atpalikšana

Akomodācijas atpalikšana ir viens no akomodācijas funkciju parametriem, kas raksturo akomodācijas atbildes precizitāti atbilstoši akomodācijas pieprasījumam. Klīniskā akomodācijas atpalikšanas norma tiek definēta lasīšanas attālumā, kas ir vidēji no 30 cm līdz 40 cm, kur sagaidāmais atpalikšanas lielums ir ap 0,25 D līdz 0,75 D (Rouse et al., 1984;

Tassinari, 2002). Arī jaunākie eksperimentālie pētījumi to apstiprina. León un kolēģi (2017) pētījuma dalībniekiem vecumā līdz 40 gadiem vidējā akomodācijas atpalikšana bija 0,52 D. Tomēr iegūtie rezultāti var atšķirties atkarībā no izvēlētās mērījumu metodes. Objektīvie mērījumi, kas veikti ar atvērta skata autorefraktometru vai fotorefrakcijas metodi lasīšanas attālumā uzrāda atpalikšanu līdz pat 2,50 D (Johns et al., 2006). Piemēram, *PowerRefractor* (*Power Ref 3* iepriekšējais modelis), salīdzinot ar dinamisko retinoskopiju, pārvērtē akomodācijas atpalikšanu vidēji par 1,00 D (Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the Pediatric Eye Disease Investigator Group, 2009; Penisten et al., 2004). Vispārpieņemta un vairākkārtīgi apstiprināta ir sakarība starp darba attālumu un akomodācijas atpalikšanu, kas tuvākos attālumos un atbilstoši augstāka akomodācijas stimula gadījumos būtiski pieaug (Harb et al., 2006; Yeo et al., 2006).

Akomodācijas atpalikšana un akomodācijas mikrofluktuācijas tiek saistītas ar tuvredzību, kas šobrīd pasaulē ir būtiska sabiedrības veselības problēma, kur Āzijas attīstītajās valstīs bērnu un jauniešu vecuma grupā miopijas izplatība sasniedz līdz pat 90 % (Theophanous et al., 2018) un tiek prognozēts, ka tuvā nākotnē šī problēma sasniegs globālas epidēmijas līmeni (Chen et al., 2018). Chen un kolēģu (2019) pētījumā piedalījās 120 dalībnieki un miopijas grupai tika novērota lielāka akomodācijas atpalikšana nekā ne-miopijas grupai. Akomodācijas atpalikšana mainās atkarībā no dalībnieka vecuma jeb precīzāk maksimālās akomodācijas amplitūdas atbilstošajam vecumam (Anderson et al., 2009). Chen un kolēģi (2019), salīdzinot 60 skolēnu un 60 jaunu pieaugušo akomodācijas funkcijas, secināja, ka skolēnu grupai akomodācijas atpalikšana ir lielāka ($0,49 \text{ D} \pm 0,18 \text{ D}$) nekā jaunu pieaugušo grupai ($0,26 \text{ D} \pm 0,21 \text{ D}$) ($p < 0,05$). Turklāt skolēniem ar miopiju akomodācijas atpalikšana ir lielāka ($0,66 \text{ D} \pm 0,20 \text{ D}$) nekā skolēniem bez miopijas ($0,20 \text{ D} \pm 0,14 \text{ D}$) ($p < 0,05$). Ja salīdzina gados jaunākus dalībniekus ar miopiju un gados vecākus dalībniekus ar miopiju, tad skolēniem ($0,66 \text{ D} \pm 0,20 \text{ D}$) akomodācijas atpalikšana tika novērota lielāka nekā jauniem pieaugušajiem ($0,32 \pm 0,17 \text{ D}$) ($p < 0,05$). Līdzīgi rezultāti, kur miopijas grupā novērota vājāka akomodācijas darbība, iegūti arī citos pētījumos (Seidel et al., 2003; Yeo et al., 2006). Palielinot dalībnieku vecuma diapazonu, piemēram, León un kolēģu (2017) pētījumā, kur piedalījās 1296 dalībnieki vecumā no 5 līdz 60 gadiem, akomodācijas atpalikšanas saistība ar refrakcijas veidu kļūst maznozīmīga.

Iepriekš veiktie pētījumi parāda, ka palielināta akomodācijas atpalikšana var tikt uzskatīta kā viens no potenciālajiem akomodācijas funkciju raksturojošiem parametriem, kas

novērojams redzes noguruma un diskomforta gadījumos, veicot tuvuma darbus (Momeni-Moghaddam et al., 2014; Tosha et al., 2009). *Tosha* un kolēģu (2009) pētījumā tika salīdzināta akomodācijas atpalikšana dalībniekiem ar augstu un zemu redzes diskomfortu un tika novērots, ka attālumos, kas mazāki par 25 cm, dalībniekiem ar augstu redzes diskomfortu novēro palielinātu akomodācijas atpalikšanu, kas pieaug ilgāka darba tuvumā gadījumā ($F(32, 928)=1,53, p = 0,03$). Zināms, ka binokulāros apstākļos akomodācijas atbilde tiek ietekmēta arī no vergēnces sistēmas stāvokļa, attiecīgi izolētu akomodācijas atbildi var novērot tikai monokulāros apstākļos. *Momeni-Moghaddam* un kolēģu (2014) pētījuma rezultāti parāda, ka dalībniekiem ar redzes diskomforta simptomātiku novērojama lielāka atšķirība starp akomodācijas atpalikšanu binokulāros un monokulāros apstākļos gan ezoforijas (slēptas jeb fūzijas mehānisma kompensētas šķielēšanas uz iekšu) ($p = 0,009$), gan eksoforijas (slēptas jeb fūzijas mehānisma kompensētas šķielēšanas uz āru) ($p < 0,001$) gadījumā. Kontekstā ar cietiem klīniskajiem redzes funkciju raksturojošiem parametriem, akomodācijas atpalikšana virs normas var liecināt par akomodācijas darbības traucējumiem (akomodācijas nepietiekamība, vājums vai paralīze), manifestu vai latentu hipermetropiju, pamata ezoforiju, konverģences ekscesu, kā arī miopijas pārkorekciju. Samazināta atpalikšana vai akomodācijas pārsvars var liecināt par tādiem akomodācijas darbības traucējumiem kā akomodācijas ekscess vai spazma, pamata eksoforiju, konverģences paralīzi vai nepietiekamību vai pārkoriģētu hipermetropiju.

2.6.1.2 Mikrofluktuācijas

Izpratne par to, ka acs akomodācijas atbilde vienmērīga attāluma fiksācijas gadījumā nav statistiska, ir balstīta uz *Alpern* (1958) aprakstu, kur parādījās tāds termins kā acs akomodācijas mikrofluktuācijas. Skatoties uz nekustīgu, konstanta akomodācijas pieprasījuma stimulu, acs akomodācijas atbilde nepārtraukti svārstās amplitūdā, kas nepārsniedz 1,00 D, visbiežāk mikrofluktuācijas ir 0,20 D līdz 0,50 D lielas un fluktuāciju norise nav lineāra laikā (*Charman & Heron*, 2015). Dominējošās mikrofluktuāciju svārstību frekvences iedala zemas frekvences svārstībās (līdz 1 Hz) un augstas frekvences svārstībās (≥ 1 Hz) (*Monticone & Menozzi*, 2011). Augstas frekvences svārstības tiek saistītas ar sirds un elpošanas ritmu, kā arī ar arteriālo pulsu (*Plainis et al.*, 2014), savukārt, zemas frekvences svārstības tiek saistītas ar neiroloģisku akomodāciju ierosināšana signāla atbildi (*Leahy et al.*, 2010). Jaunā perspektīvā uz mikrofluktuāciju izcelsmi paskatījušies *Lupon* un kolēģi (2019), kas uzskatāmi parādīja, ka apmēram piektā daļa no mikrofluktuācijām nemaz nav saistāma ar akomodācijas atbildi, jo

saglabājas pat cikloplēģiski atslābinātas acs akomodācijas gadījumā. Tādēļ pētījumos būtu iesakāms lietot relatīvās mikrofluktuāciju izmaiņas nevis absolūtās vērtības (Lupón et al., 2019). Pēc būtības acs akomodācijas mikrofluktuācijas var uzskatīt par mērķtiecīgi kļūdainas atbildes mehānismu, kas darbojas kā akomodācijas atbildes ierosinātājs, jo palīdz uztvert attāluma un attiecīgi akomodācijas pieprasījuma izmaiņas. Saņemot miglainu attēlu uz tīklenes, konstantās mikrofluktuācijas vienā virzienā šo miglaino attēlu uzlabo, bet otrā virzienā pasliktina, tādējādi tiek dots signāls akomodācijas kontroles mehānismam par nepieciešamo atbildes lielumu un virzienu (Charman & Heron, 2015).

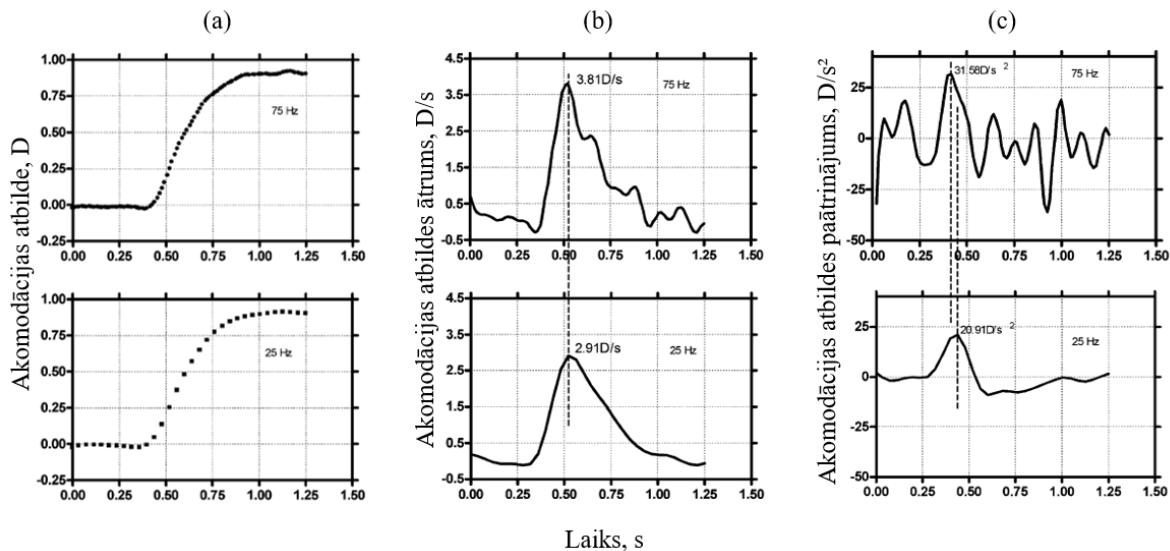
Līdzīgi kā samazināta akomodācijas atpalikšana, akomodācijas mikrofluktuācijas tiek saistītas ar tuvredzību kā tādu un tās progresēšanu (Mhairi Day et al., 2006; Diao et al., 2013; Harb et al., 2006). *Diao* un kolēģu (2013) pētījumā 25 cm attālumā bērniem ar miopiju mikrofluktuācijas bija vidēji $0,35 D \pm 0,16 D$, kas bija būtiski augstākas par tāda paša vecuma bērniem ar emetropiju ($0,27 D \pm 0,10 D$). Līdzīgi rezultāti tika iegūti skolēnu un jaunu pieaugušo grupās, kur dalībniekiem ar miopiju akomodācijas mikrofluktuācijas bija lielākas nekā dalībniekiem bez miopijas (Chen et al., 2019). Augsts mikrofluktuāciju lielums liecina par nestabilāku akomodācijas darbību. Vairāki pētījumi (Mhairi Day et al., 2006; Harb et al., 2006; Seidel et al., 2003) parāda, ka mikrofluktuācijas pieaug lielāka akomodācijas pieprasījuma jeb slodzes gadījumā. Skatoties tālumā un atslābinot akomodāciju, mikrofluktuācijas būs mazākas nekā skatoties tuvumā (Mira-Agudelo et al., 2009; Tosha et al., 2009). Turklāt vismazākās akomodācijas mikrofluktuācijas sagaidāmas skaidras redzes tāluma un tuvuma punktā, bet akomodācijas amplitūdas viduspunktā mikrofluktuācijas ir vislielākās (Usui & Stark, 1978). Mikrofluktuācijas laikā ir salīdzinoši stabilas (Tosha et al., 2009). Tāpat arī jāņem vērā tuvuma triādes loma, kur vergēnces sistēma stabilizē akomodācijas atbildi un tāpēc sagaidāms, ka tuvumā novērotās mikrofluktuācijas būs mazākas binokulāros un lielākas monokulāros apstākļos (Mira-Agudelo et al., 2009; Panke et al., 2017).

Fizioloģiski sagaidāmais mikrofluktuāciju lielums ir atkarīgs no vecuma, proti, bērniem zem 10 gadu vecuma tiek novērotas augstākas mikrofluktuācijas (Anderson et al., 2010), bet, tuvojoties presbiopijas vecumam, pēc 40 gadiem tās samazinās (Charman & Heron, 2015; Mordi & Ciuffreda, 2004). Mikrofluktuāciju lielums pieaug arī, ja zīlītes diametrs ir <3 mm (Gray et al., 1993b) un apgaismojums zemāks par $0,1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ (Chen et al., 2019; Day, Gray, et al., 2009; Gray et al., 1993a). Stimula spektrālā komponente mikrofluktuācijas ietekmē

sekojoši – jo plašāka viļņu garuma spektrs, jo precīzāk darbojas akomodācija un attiecīgi mazākas nomērītās mikrofluktuācijas (Aggarwala et al., 1995).

2.7 Akomodācijas dinamisko parametru novērtēšana

Ātrums, ar kādu iekārta spēj nomērīt izmaiņas akomodācijas atbildē, ir kritiskais faktors, lai veiktu precīzus dinamiskos akomodācijas mērījumus, pamatojot ar *Nikvista* teorēmu (Nyquist, 1928), kas korekti attēlotai dinamiskai atbildei pieprasa datu ieguves frekvenci, kas ir vismaz 2x lielāka par augstāko frekvenci, ko satur atbilde. To apstiprina arī *Labhishetty* un kolēģu (2019) pētījums, kurā nepieciešamā mērījumu frekvence tika noteikta katram dinamiskās atbildes parametram atsevišķi. Tika secināts, ka akomodācijas atbildes mērījuma iegūšanai pietiek ar 5 Hz frekvenci, akomodācijas ātruma iegūšanai nepieciešama vismaz 10 Hz frekvence un akomodācijas paātrinājuma iegūšanai vajadzīga vismaz 70 Hz frekvence (Labhishetty et al., 2019). *Suryakumar* un kolēģi (2007a) uzskatāmi parāda, ka rezultātu interpretācija var tikt būtiski sagrozīta, ja iekārta, ar ko tiek veikti dinamiskie mērījumi nespēj nodrošināt ap 50 līdz 75 Hz frekvenci. Attēlā 2.7. augšējie grafiki parāda akomodācijas atbildes parametrus mērītus ar 75 Hz frekvenci un apakšējie grafiki demonstrē to pašu atbildi, ja mērījumi tiek veikti ar 25 Hz frekvenci (Suryakumar et al., 2007a). Kā redzams, tad akomodācijas atbildes dinamisko ainu un maksimālo vērtību (skat. Att. 2.7. (a)) mērījumu frekvence ietekmē salīdzinoši maz, bet akomodācijas atbildes ātrums (skat. Att. 2.7.(b)) ar zemāko frekvenci tiek iegūts par 0,9 D/s zemāks, kas ir 76 % no akomodācijas atbildes ātruma, kas tiek nomērīts ar 75 Hz frekvenci. Turklāt tiek pazaudēta arī daļa informācijas par mikrofluktuācijām. Līdzīgi notiek arī ar akomodācijas atbildes paātrinājumu (skat. Att. 2.7.(c)), kur ar 25 Hz frekvenci maksimālais paātrinājums tiek iegūts par 10,8 D/s² zemāks, kas ir 66 % no atbildes, kas tika iegūta ar 75 Hz frekvenci. Akomodācijas atbildes ātruma un paātrinājuma līknes slīpuma koeficients, ja akomodācijas pieprasījums ir robežās no 1,00 D līdz 3,00 D, tika iegūts vienāds, mērot ar zemāku (25 Hz) un augstāku (70 Hz) frekvenci (Labhishetty et al., 2019).



Att. 2.7. Akomodācijas atbildes parametri, mērot ar 75 Hz frekvenci (augšējie grafiki) un ar 25 Hz frekvenci (apakšējie grafiki): (a) akomodācijas atbildes izmaiņa laikā, (b) akomodācijas atbildes ātrums, (c) akomodācijas atbildes paātrinājums. Attēls aizgūts no Suryakumar un kolēģiem (2007a).

Iepriekšminētais parāda, ka jaunākās paaudzes ekscentriskais fotorefraktometrs *PowerRef 3*, kas mēra ar 50 Hz frekvenci, var tikt sekmīgi pielietots akomodācijas atbildes, akomodācijas atpalikšanas, akomodācijas mikrofluktuāciju mērījumiem, to varētu pielietot akomodācijas atbildes ātruma relatīvo izmaiņu mērījumiem, bet jārēķinās, ka faktiski nomērītais maksimālais ātrums būs konstanti zemāks kā reālais. Tomēr akomodācijas paātrinājuma mērījumiem *PowerRef 3* iekārtas nodrošinātā mērījumu frekvence ir par zemu. Ja nepieciešams salīdzināt akomodācijas atbildes ātruma izmaiņas dažādu stimula pieprasījuma, stimula veidu vai citu mainīgo parametru iespaidā, konstanta maksimālā ātruma neprecīza novērtēšana neietekmēs relatīvās izmaiņas.

2.7.1 Dinamisko akomodācijas mērījumu datu apstrāde

Dinamiski iegūto akomodācijas atbildes datu apstrādei literatūrā aprakstītas dažādas stratēģijas, piemēram, klasiskā pieeja vidējās akomodācijas atbildes lieluma noteikšanai būtu aprēķināt vidējo vērtību no visām laikā iegūtajām vērtībām. Tomēr, atkarībā no pētījuma protokola, šī atbilde var saturēt arī datus par brīdi, kurā akomodācija mainās no neakomodēta stāvokļa uz akomodētu, kas var ietekmēt vidējo vērtību. Pēc stimula parādīšanās ir 250 līdz 450 ms ilga atbildes latence, pēc kuras seko vidēji 300 ms ilga akomodācijas atbilde (Heron et al., 2001), kuras laikā ar 50 Hz mērīšanas frekvenci tiktu iegūti ap 15 datu punktiem, kas uz dinamiskās atbildes mērīšanas laiku 10 sekundes, (iegūst ap 500 datu punktus) būtu tikai 3 %

no kopējās datu kopas. Līdz ar to katram pētījuma dizainam būtu atsevišķi jāizvērtē vai vidējās atbildes analīze ir atbilstoša. Gadījumā, ja dinamiskā mērījuma laiks ir īss, piemēram 2 s, tad kļūdaino datu apjoms būtu ap 7,5 s, kas jau varētu būt nozīmīgi. *Win-Hall* (2010) piedāvā alternatīvu klasiskajai vidējās atbildes analīzei, kur vērā tiktu ņemti trīs augstākie akomodācijas mērījumi, kas tālāk tiek vidējoti. Autori to piedāvā realizēt izmantojot *Excel LARGE* funkciju, kas ļauj nodēfinēt datu kopas k-to lielāko vērtību konkrētajā datu masīvā. Formulas ievades piemērs *Excel* programmā (*Win-Hall*, 2010):

$$= \text{Average} [\text{Large} (D2:D31,3), \text{Large} (D2:D31,2), \text{Large} (D2:D31,1)], \quad (2.3.)$$

kur, piemēram, *Large (D2:D31,3)* ir trešā lielākā vērtība no datu masīva šūnas D2 līdz D31.

Tomēr tā kā saspringšanas fāzē akomodācijas atbilde ir ar negatīvu zīmi, autores skatījumā nodērigāka varētu būt pretējā funkcija: *Excel SMALL*, kur tiktu atlasīta mazākā vērtība, kas raksturotu augstāko akomodācijas saspringšanas momentu. Lai izvairītos no tā, ka šīs 3 atlasītās vērtības būtu datu kopas ekstremālās vērtības, *Win-Hall* (2010) iesaka sākotnējos datus pirms tam izlīdzināt, izmantojot piecu tekošo punktu vidējošanas metodi.

Dinamiski iegūto akomodācijas mērījumu analīzē būtisks aspekts ir mirkšķināšanas brīžu detektēšana un korekta šo datu dzēšana, lai netiktu ietekmēta vidējā akomodācijas atbildes vērtība. Sagaidāmais dabiskais intervāls starp mirkšķināšanas reizēm ir vidēji 5-6 sekundes (*Uchino et. al.*, 2018), savukārt, maksimālais intervāls ir $14,4 \pm 8,9$ sekundes (*Inomata et al.*, 2018), kas nozīmē, ka standarta dinamiskos mērījumus, kas ilgst ap 10 sekundēm, ir iespējams veikt bez nevienas mirkšķināšanas, ja pētījuma dalībniekam tiek lūgts mērījuma laikā nemirkšķināt. Gadījumā, ja pētījuma protokols paredz izvērtēt dinamisko akomodācijas atbildi ilgākā laikā vai analizēt izmaiņas laikā, tad mirkšķināšanas process būs neizbēgams un mirkšķināšanas laikā mērījumu dati netiks iegūti. Atsevišķi analizējot, acu plakstiņu aizvēršanās aizņem līdz 150 ms un atvēršanās līdz 250 ms (*Espinosa et. al.*, 2018), kopējais mirkšķināšanas ilgums ir vidēji ap 100-200 ms (*Wang et al.*, 2011). Mirkšķināšanas datu apstrāde var tikt veikta manuāli vai izmantojot *Microsoft Excel macro* programmēšanas iespējas. Salīdzinoši vienkāršu mirkšķināšanas datu izslēgšanu ir izmantojuši *Tosha* un kolēģi (2009), kur visi dati, kas pārsniedza ± 3 SD no vidējās vērtības tika atzīmēti kā mērījuma kļūdas un dzēsti. Rekomendējamo mirkšķināšanas datu apstrādes procesu ir aprakstījuši *Horwood & Riddell* (2008), kur vērā tiek ņemti arī dati 0,2 sekundes pirms un pēc mirkšķināšanas. Alternatīvu un nedaudz sarežģītāku algoritmu piedāvā *Day* un kolēģi (2006), kur pirms

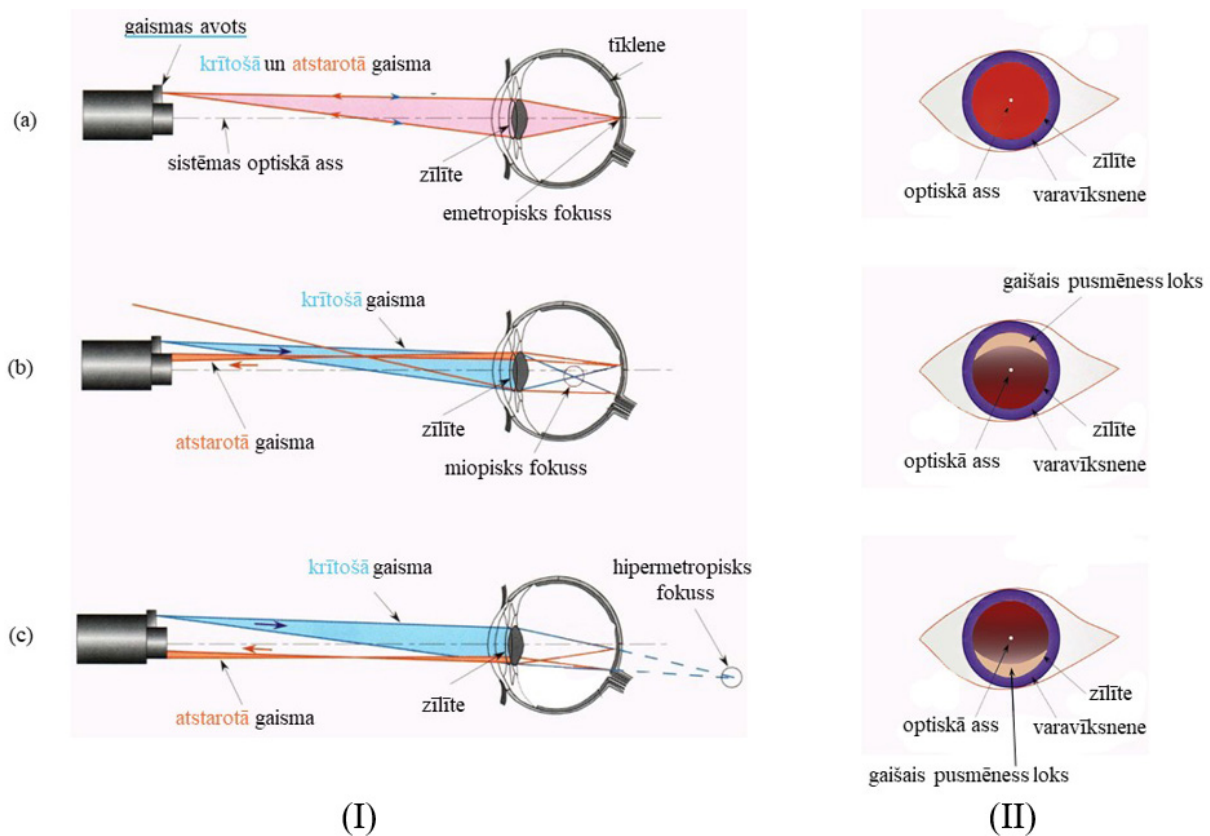
mirkšķināšanās sākuma tiek dzēsti dati 0,06 sekunžu apjomā, savukārt, pēc mirkšķināšanas 0,3 sekundes. Pēc korektas mirkšķināšanas datu apstrādes var veikt datu vidējošanu, lai iegūtu vienu raksturojošo vērtību, vai datu atspoguļošanu laikā, lai iegūtu izpratni par akomodācijas atbildi katrā laika punktā vai veiktu datu atspoguļošanu pa konkrētiem laika intervāliem. Piemēram, *Tosha* un kolēģi (2009) un *Day* un kolēģi (2008) datu analīzei izmantoja vairākus 10 sekunžu mērījuma intervālus, kuros tika vidējoti dati no katrām tekošajām 10 sekundēm, atļaujot analizēt akomodācijas atbildes vai mikrofluktuāciju izmaiņas atkarībā no uzdevuma ilguma.

2.7.2 Fotorefraktometrijas pielietojums akomodācijas dinamisko parametru novērtēšanai

Acs akomodācijas dinamisko parametru novērtēšanai visplašāk pielietotā metode ir fotorefraktometrija (Vargas et al., 2019), retāk pielieto aberometrus, piemēram, *Chirre* un kolēģi (2015) un *Del Águila-Carrasco* un kolēģi (2017) demonstrējuši dinamisko akomodācijas atbilžu iegūvi izmantojot Šaka-Hartmana viļņu frontes sensoru, savukārt, *Win-Hall & Glasser* (2008) izmantojuši *iTrace* aberometru un *Moulakaki* un kolēģi (2007) izmantojuši *CRXI* adaptīvās optikas iekārtu. Fotorefraktometrija ir objektīva metode, kuras pamata princips balstās uz ātriem fotogrāfiskiem acs refleksa attēla uzņēmumiem, no kuriem ar attēla analīzes palīdzību tiek iegūts acs refrakcijas un acs akomodācijas stāvoklis. Izšķir trīs veidu fotorefraktometrijas metodes dizainus: izotropiskais (Bobier et al., 1992; Howland et al., 1983), ortogonālais (Bobier et al., 1992; Howland et al., 1983) un ekscentriskais (Chen et al., 2003; Dušek & Dostálek, 2004; Kaakinen & Tommila, 1979; Roorda et al., 1998). Minētajās metodēs tiek izmantota kamera ar nelielu gaismas avotu netālu no kameras, kas uztver no acs atstaroto gaismu refleksa veidā, kas tiek fotografēts ar frekvenci no 15 līdz 70 Hz (Suryakumar et al., 2009). Atstarotās gaismas viļņu fotogrāfiskais izskats un gaišuma gradients mainās atkarībā no refrakcijas kļūdas lieluma un acs zīlītes izmēra. Šobrīd lietotajās fotorefraktometrijas metodēs tiek pielietotas infrasarkanās gaismas izstarojošās diodes no tuvā infrasarkanās gaismas spektra (diapazons no 780 līdz 1400 nm), kas mērījuma laikā neietekmē zīlītes izmēru un, ņemot vērā veiktos pētījumus uz šimpanzēm, kur, lai 700-1400 nm spektra starojums radītu 159 μm izmēra tīklenes bojājumu, bija nepieciešams nepārtraukts 70000 J/cm² starojums vairāk kā 16 minūšu ekspozīcijā, nav sagaidāms, ka īslaicīgi fotorefraktometrijas iekārtas mērījumi varētu radīt kaitējumu acs tīklei (Ham et al., 1979; Voke, 1999). Visbiežāk fotorefraktometri strādā 800 līdz 950 nm spektrā, piemēram, *Shin Nippon SRW-500* starojums ir 850 nm (Day et al., 2009), *Canon RI 930* nm (Seidel et al., 2005), *CRXI* adaptīvās optikas

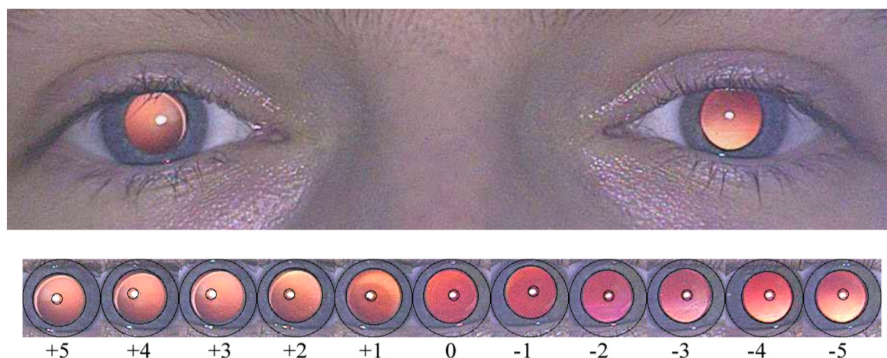
simulatoram 850 nm (Moulakaki et al., 2017), *Shack Hartman* aberometram 1050 nm (Chirre et al., 2015), un *Anderson* un kolēģi (2010) individuāli būvētā fotorefraktometra iekārtā izmantoja 890 nm spektru.

Izotropiskais un ortogonālais fotorefraktometra dizains tiek dēvēts arī par koaksiālo fotorefraktometriju, jo gaismas avots novietots centrāli pa kameras optisko asi. Visvienkāršākā no fotorefraktometrijas metodēm ir izotropiskā refraktometrija, kuras uzbūvē netiek izmantotas cilindriskās lēcas. Sfēriskā refrakcijas kļūda tiek attēlota kā aplis, kura izmērs raksturo sfēriskā defokusa lielumu, savukārt, astigmātisms tiek attēlots kā elipse (Rosenfield et. al., 2009). Refrakcijas kļūdas mērījums tiek iegūts, defokusējot kameru attiecībā pret aci. Ortogonālās fotorefraktometrijas gadījumā refrakcijas kļūdas tiek noteiktas atkarībā no acs zīlītes izgaismojuma, kas tiek mērīts vienlaicīgi perpendikulārajos meridiānos – taisnajās asīs 90° un 180° , un slīpajās asīs 45° un 135° . Savukārt, ekscentriskās fotorefraktometrijas gadījumā gaismas avots novietots ekscentriski no kameras (aizsedzot daļu no apaļās kameras apertūras ar masku) un refrakcijas kļūdas mērījums tiek iegūts analizējot zīlītes robežās esošā pusmēness loka gaismas refleksa lielumu un orientāciju gadījumos, kad izmantots viens gaismas avots (Campbell et. al., 1995) vai gaišuma gradienta līknes slīpuma koeficientu gadījumos, kad izmantoti vairākās rindās izkārtoti gaismas avoti (Roorda et al., 1997). Ja izmanto gaismas avotus kārtotus rindās, kur pēc tam no tīklenes atstarotie diverģējošie gaismas stari tiek uztverti kamerā un pēc atstarotās gaismas refleksa gaišuma gradienta analīzes tiek noteikts refrakcijas kļūdas lielums, vairumā gadījumu gaišuma gradients tiek novērtēts vertikālajā meridiānā, kur pikseļu gaišuma samazināšanās virzienā no lejas uz augšu norāda uz pozitīvu slīpuma koeficientu (novēro hipermetropijas gadījumā), savukārt, ja gaišuma gradients samazinās virzienā no augšas uz leju, tad tas raksturo negatīvu slīpuma koeficientu (novēro miopijas gadījumā) (skat. Att. 2.8.). Līdz ar refrakcijas kļūdas palielināšanos kādā no virzieniem, gaišuma gradienta slīpuma koeficients arī pieaug. Emetropas acs gadījumā, no tīklenes atstarotā infrasarkanā gaisma kamerā fokusēsies tieši kameras plaknē un tiks uzņemta kā vienmērīgi spožs reflekss visā zīlītes plaknē. Ja acs defokuss būs miopisks attiecībā pret kameru, tad gaisma, kas tiks atstarota no tīklenes fokusēsies plaknē, kas būs starp aci un kameru, veidojot atstarotās gaismas konusu, kura leņķis būs atkarīgs no defokusa lieluma. Tā kā daļu kameras aizsedz maska, tad miopiska refleksa gadījumā kamerā nonāks tikai tā gaismas daļa, kas tiek izstarota no tās pašas puses zīlītes attēla, savukārt, hipermetropiska refleksa gadījumā izgaismoti tiks gaismas stari no pretējās zīlītes puses (Cole, 1991; Hunt et al., 2003).



Att. 2.8. (I) Shematiska ilustrācija ekscentriskās fotorefraktometrijas mērījuma optiskajam principam (a) emetropijas gadījumā, (b) miopijas gadījumā un (c) hipermetropijas gadījumā. Ekscentriski no kameras novietotais gaismas avots parēdz, ka refrakcijas kļūdas gadījumā, no tīklenes atstarotā gaisma diverģējot nokļūš kamerā un veidos gaišu pusbmēness loku. Jo lielāks pusbmēness loks, jo lielāka refrakcijas kļūda attiecībā pret kameras pozīciju. (a) Emmetropijas gadījumā atstarotā gaisma nonāk atpakaļ gaismas avotā un kameras plaknē tiek dokumentēts vienmērīgs sārts tīklenes reflekss. (b) Miopijas gadījumā daļa no atstarotās gaismas sasniedz kameru un veido gaišu pusbmēness loku tajā pašā pusē, kurā atrodas gaismas avots, jo miopijas gadījumā gaisma fokusējas pirms tīklenes. (c) Hipermetropijas gadījumā gaišais pusbmēness loks zīlītes plaknē tiks novērots gaismas avotam pretējā pusē, jo gaisma fokusējas aiz tīklenes. (II) Reflekss izskats acs zīlītes plaknē (a) emetropijas gadījumā, (b) miopijas gadījumā un (c) hipermetropijas gadījumā. Attēls aizgūts un pārveidots no Cole (1991).

Ekscentriskās fotorefraktometrijas gadījumā tiek iegūts ne tikai tīklenes reflekss, bet arī pirmais Purkinjē attēls, kas ļauj paralēli veikt arī acu novietojuma mērījumus (Howland, 2009). Att. 2.9. parādīts, kā mainās tīklenes refleksa gaišuma gradients atkarībā no pieliktajām lēcām diapazonā no +5,00 D līdz -5,00 D (Chen et al., 2003).



Att. 2.9. Eksperimentāli iegūtie dati lēcu diapazonā no +5,00 D līdz -5,00 D. Ar pozitīvajām lēcām tiek simulēta miopijas aina, ar negatīvajām lēcām – hipermetropijas aina. Attēlos izdalīts varavīksneses, zīlītes un pirmā Purkinjē attēla novietojums (Chen et al., 2003).

Visām fotorefrakcijas metodēm ir individuāli nodefinēts darbības diapazons attiecībā uz iespējam nomērīt refrakcijas kļūdu. Eksperimentāli ir novērots, ka mērot iekārtas pieļaujamā diapazona maksimālā un minimālā apgabālā, iegūtie mērījumi mēdz būt neprecīzi un atšķirties no reālajiem līdz pat 1,00 D apjomā (Roorda et al., 1997). Apgabals, kurā fotorefrakcijas atbilde mainās atkarībā no refrakcijas kļūdas lieluma, ir ierobežots, pēc kura seko tā saucamais “neķeres” diapazons (*dead zone*), kurā fotorefrakcijas reflekss vairs nevar tikt uzņemts vai arī tā izmērs un gradients vairs nemainās un attiecīgi nevar tikt interpretēts pareizi (Campbell et al., 1995). Darbības diapazona palielināšanai tiek piedāvāts izmantot vairākus gaismas avotus viena vietā, kā arī izmantot vairākas ekscentricitātes (Schaeffel et. al., 1993). Refrakcijas kļūdas mērījumu diapazons ir cieši saistīts ar zīlītes izmēru, kas arī katrai iekārtai tiek nodefinēts. Piemēram, *PlusOptix* ražotajai *PowerRef 3* iekārtai kvalitatīvai datu analīzei nepieciešams zīlītes izmērs robežās no 4 mm līdz 8 mm. Šauras acs zīlītes gadījumā, atpakaļ atstarotās IS gaismas apjoms ir mazāks un attiecīgi tas negatīvi ietekmē kvalitatīva gaišuma gradienta veidošanos, kā arī samazinātā kontrasta dēļ var rasties problēmas atpazīt pašu zīlītes reģionu (Suryakumar et al., 2009). Tā pat arī jāņem vērā, ka gaišuma gradients var netikt analizēts pilnīgi visā ar fotorefraktometriju uztvertajā zīlītes reģionā, piemēram, (Bharadwaj et al., 2013) izmantoja centrālos 80 % no vertikālā zīlītes diametra, lai aprēķinātu gaišuma gradientu.

2.7.2.1 Fotorefraktometra kalibrēšana

Tiek izšķirtas divu veidu iespējamās ekscentriskās fotorefraktometrijas kļūdas – absolūtās vai relatīvās kļūdas un attiecīgi arī divu veidu kalibrēšanas metodes. Absolūtā kalibrēšana tiek veikta, salīdzinot fotorefraktometra iegūtās refrakcijas kļūdas

mērījumus ar zelta standarta metodi, piemēram, retinoskopiju. Absolūtās kalibrēšanas rezultāti iepriekš parādījuši neviennozīmīgus rezultātus. *Blade & Candy* (2006) ar pirmās paaudzes ekscentrisko fotorefraktometru *PowerRefractor* ieguva vidēji par $-0,28 D \pm 0,22 D$ miopiskāku refrakciju nekā ar retinoskopiju. Salīdzinot refrakcijas mērījumus, kas iegūti ar atvērta skata autorefraktometru *Canon RI* un ekscentrisko fotorefraktometru *PowerRef II*, fotorefraktometrijas metode mēra ar nelielu hipermetropisku nobīdi (vidējā vērtība $\pm SD$; $0,59 D \pm 0,42 D$) (Jainta et al., 2004).

Relatīvā kalibrēšana tiek veikta ar papildu lēcām, kur tiek novērtēta nomērītā refrakcijas kļūdas izmaiņa uz katru pievienoto dioptriju. Tiek iegūta kalibrēšanas līkne, kurai, aprēķinot tās slīpuma koeficientu, iespējams izveidot iegūto datu pārrēķina koeficientu katram individuālajam pētījuma dalībniekam. Relatīvā kalibrēšana tiek ieteikta katram dalībniekam, jo ekscentriskās fotorefraktometrijas gaišuma gradientu ietekmē tādi individuālie parametri kā tīklenes pigmenta daudzums, kas atšķiras dalībniekiem ar atšķirīgu etnisko piederību (Sravani et al., 2015). Relatīvai kalibrēšanai izšķir vairāku veidu protokolus (Bharadwaj et al., 2013):

- klasiskais protokols – mērījumus veic visā pozitīvo un negatīvo lēcu diapazonā ar 1,00 D lēcu soli;
- alternatīvais protokols – mērījumus veic visā pozitīvo un negatīvo lēcu diapazonā ar 2,00 D lēcu soli;
- pozitīvais protokols – mērījumus veic tikai pozitīvo lēcu diapazonā ar 1,00 D lēcu soli;
- negatīvais protokols – mērījumus veic tikai negatīvo lēcu diapazonā (inducē hipermetropiju) ar 1,00 D lēcu soli;
- piecu lēcu protokols – mērījumus veic ar 1,00 D soli no 0,00 D līdz +4,00 D un ar -2,00 D lēcu;
- divu lēcu protokols – inducē tikai miopiju, mērījumus veic ar +2,00 D un +4,00 D lēcām.

Par zelta standartu tiek uzskatīta *Bharadwaj* un kolēģu (2013) veiktā kalibrēšana, kuru veic pilnā fotorefraktometra diapazonā (no +8,00 D līdz -6,00 D) ar 1,00 D soli. Gandrīz pilna diapazona kalibrēšanu no +5,00 D līdz -5,00 D veica *Schaeffel* un kolēģi (1993), savukārt, ātrāku metodi ar 2,00 D soli un diapazonā no +6,00 D līdz -6,00 D piedāvāja *Choi* un kolēģi (2000). Pozitīvo protokolu no +1,00 D līdz +4,00 D veica *Blade & Candy* (2006), divu lēcu protokolu izmantoja *Gabriel & Mutti* (2009). Lielākā daļa no iepriekšminētajiem pētījumiem kalibrēšanu veikuši vienā attālumā. Savukārt, *Ghahghaei* un kolēģi (2019) vēlējas noskaidrot,

vai kalibrēšanas līkne varētu atšķirties dažādos attālumos, vecumos un atkarībā no refrakcijas kļūdas veida. Kalibrēšana tika veikta ar 1,00 D soli no +4,00 D līdz -2,00 D un iegūtie dati parādīja, ka individuālā kalibrēšanas līkne netiek ietekmēta no mērījumu attāluma (kalibrēšanu veica 6 m, 1 m un 40 cm attālumā), kā arī nav atkarīga no dalībnieku vecuma un refrakcijas kļūdas veida (Ghahghaei et al., 2019). Līdz ar to galvenais faktors, kas ietekmē kalibrēšanas līkni, saistīts ar etnisko piederību. Dažādu etnisko grupu pārstāvjiem var atšķirties tīklenes pigmenta daudzums un absorbcijas spējas (tumsnējākiem cilvēkiem tīklenes atstarošanās spējas būs zemākas nekā gaišas ādas un matu īpašniekiem), kas attiecīgi izmaina kamerā uztvertā gaismas refleksa gaišuma gradienta līknes slīpuma koeficientu, no kura tālāk var tikt kļūdaini aprēķināts refrakcijas kļūdas lielums dioptrijās (Bharadwaj et al., 2013; Sravani et al., 2015).

Pamatā šobrīd pieejamās ekscentriskās fotorefraktometrijas iekārtas izmanto universālo defokusa kalibrēšanas faktoru, kas ir balstīts uz eiropiešu rases tīklenes parametriem. Tas nozīmē, ka Latvijā šīs metodes izmantošana ir labi pielāgotā un aprobējama. Tomēr jāņem vērā, ka, ja tiks piesaistīti eksperimenta dalībnieki no citām etniskajām grupām, mērījumu rezultātos var parādīties sistēmiskas kļūdas. Sagaidāms, ka augstāka kalibrēšanas līknes slīpuma koeficienta gadījumā tiks iegūti nepatiesi augstāki refrakcijas kļūdas mērījumi, savukārt, zemāka koeficienta gadījumā sagaidāms, ka refrakcijas kļūda tiks nomērīta mazāka par patieso (Sravani et al., 2015). Piemēram, vidējā kalibrēšanas līkne indiešu ($0,65 \pm 0,25$ Ls/D (*luminance slope per diopter*)) dalībnieku grupā bija nozīmīgi augstāka, salīdzinot ar ziemeļamerikāņiem ($0,40 \pm 0,09$ Ls/D) (Bharadwaj et al., 2013). Individuālā kalibrēšanas faktora (relatīvās kalibrēšanas līknes slīpuma koeficienta) atšķirības no universālā defokusa kalibrēšanas faktora var sasniegt pat 50 % apjomu (Bharadwaj et al., 2013; Blade & Candy, 2006; Ghahghaei et al., 2019).

Tehniski kalibrēšana tiek veikta tāpat kā to darītu atvērta skata autorefraktometram monokulāros apstākļos, kur viena acs tiek aizklāta ar infrasarkano filtru (piemēram, Ghahghaei un kolēģi (2019) izmantoja *Acrylite GP IS* filtru (750 - 1600 nm), Choi un kolēģi (2000) izmantoja *Kodak 87 C* filtru, Anderson un kolēģi (2010), Win-Hall (2010) un Kasthurirang (2003) izmantoja *Kodak Wratten 89 B* filtru), kas redzamo gaismu cauri nelaiž un dalībniekam darbojas kā oklūderis, bet fotorefraktometra kameras signāls, kas darbojas IS spektrā netiek kavēts, tāpēc mērījumi tiek iegūti no abām acīm. Kalibrēšanā izmantotās provas lēcas tiek liktas priekšā okludētajai acij, lai provas lēca neradītu mērījuma artefaktus. Pamatojoties uz principa, ka abu acu akomodācija darbojas vienādi (Campbell, 1960), var analizēt neaizklātās acs

refrakcijas atbildi uz katru pielikto provē lēcas dioptriju. Ar negatīvu lēcu palīdzību tiek izveidota hipermetropiska refrakcija un ar pozitīvām lēcām tiek izveidota miopiska refrakcija. *Win-Hall* (2010) ir sīkāk aprakstījusi nomērītās refrakcijas kļūdas aprēķinu, kalibrējot atvērta skata autorefraktometru *Grand Seiko WAM-5500*, kur tiek ņemts vērā gan pieliktās provē lēcas stiprums, gan pamata refrakcija, skatoties tālumā, un piedāvā sekojošu formulu:

$$\text{Kalibrēšanā iegūtā refrakcijas kļūda (D)} = \text{Nomērītā refrakcijas kļūda (provē lēcas stiprums + iegūtie dati ar autorefraktometru) (D)} - \text{tāluma refrakcija (D)} \quad (2.4.)$$

Tālāk kalibrēšanā iegūtā refrakcijas kļūda tiek koriģēta atbilstošajam izmantotās provē lēcas efektīvajam stiprumam, konkrētā dalībnieka *vertex* attālumā, kas tika mērīts no radzenes priekšējās virsmas līdz provē lēcai, pēc sekojošas formulas (*Win-Hall*, 2010):

$$= -1 \times \left[F + \frac{1}{\left[\frac{1}{\left[\frac{1}{\left(\frac{1}{PR} \right) + vertex \right] + F} \right] - vertex \right]} - RE \right] \quad (2.5.)$$

kur F ir provē lēcas stiprums (D), PR ir *PowerRef 3* vai autorefraktometra mērījums (D), RE ir kalibrēšanā iegūtā refrakcijas kļūda (D) un *vertex* ir attālums no radzenes priekšējās virsmas līdz provē lēcai (m).

Vienkāršāka alternatīva, ko varētu izmantot kalibrēšanā iegūto datu koriģēšanas vietā, būtu provē lēcu efektīvā stipruma aprēķināšana, ko var iegūt sekojoši:

$$F_e = \frac{F}{1 - vertex * F} \quad (2.6.)$$

kur F_e ir efektīvais lēcas stiprums (D), F ir esošais provē lēcas stiprums (D), *vertex* ir attālums no radzenes priekšējās virsmas līdz provē lēcai (m).

3 PĒTĪJUMS

3.1 Presbiopijas korekcijas klīniskie un praktiskie aspekti

3.1.1 Aditīva normu pielietojums klīniskajā optometrijā

3.1.1.1 Aktualitāte

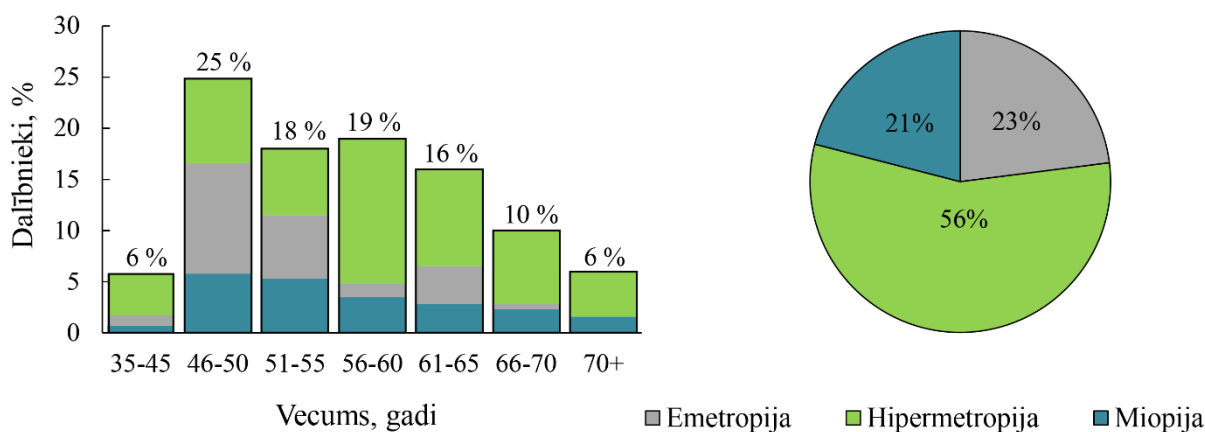
Presbiopijas apmēru klīniski novērtē un apraksta ar binokulāri piemeklēta aditīva vērtību 40 cm attālumā, kas raksturo nepieciešamo plus lēcu stiprumu, ar kuru palīdzību var atgūt indivīdam labāko iespējamo redzes asumu tuvumā. No fizioloģiskā presbiopijas attīstības aspekta skatoties, līdz ar presbiopijas veidošanos notiek desmitiem citu izmaiņu acs priekšējās struktūrās, kas sīkāk aprakstītas 2.5. nodaļā. Tieši šī iemesla dēļ, lai arī presbiopija ir paredzams fizioloģisks process, tā ir multifaktoriāls process un katram indivīdam var attīstīties nedaudz citā tempā un apjomā. No klīniskā skatupunkta skatoties, nomērītā presbiopijas aprakstošā elementa jeb tuvuma aditīva lielums ir atkarīgs arī no konkrētā redzes speciālista prasmēm, turklāt iepriekšējie pētījumi ir aktualizējuši arī to, ka piemeklētā aditīva lielums var atšķirties atkarībā no izvēlētās mērījumu metodes, kas ietver gan konkrētā instrumenta kļūdas, fokusa dziļuma iesaisti metodikā, stimula parametrus un beigu kritēriju (minimālais vai maksimālais aditīvs, kas sniedz labāko iespējamo redzes asumu) (Goss, 2016). Šajā pētījuma daļā tiek analizēta klīniski piemeklētā tuvuma darbiem nepieciešamā aditīva sakritība ar vecumam atbilstošu aditīva normu, kā arī izlases grupai veikts salīdzinājums ar citām aditīva noteikšanas metodēm ar **mērķi** izvērtēt vecumam atbilstošā aditīva normu pielietošanas efektivitāti individuāliem gadījumiem un metodes sakritību ar citām aditīva novērtēšanas metodēm.

3.1.1.2 Uzdevumi

1. Apkopot un izvērtēt datus par dažāda vecuma presbiopijas pacientiem un tiem nozīmētās tuvuma aditīva korekcijas saistību ar viņu vecumu.
2. Izvērtēt, vecumam atbilstošā aditīva normu pielietošanas efektivitāti individuāliem gadījumiem.
3. Izvērtēt vai redzes asums tuvumā bez aditīva var būt efektīvs indikators, lai noteiktu iespējamo aditīvu, kas sniegs labāko redzes asumu tuvumā.
4. Salīdzināt vecumam atbilstošā aditīva piemeklēšanas metodes rezultātu sakritību ar citu aditīva novērtēšanas metožu rezultātiem.

3.1.1.3 Dalībnieki

Pētījumā piedalījās 216 eiropēidu rases dalībnieki vecumā no 35 līdz 80 gadiem, kam bija nepieciešama presbiopijas korekcija tuvuma darbiem. Dalībnieku koriģētais redzes asums, kas iegūts ar *plus build-up* metodi 40 cm attālumā bija vismaz 1,0 (decimālās vienības) un fizioloģiskais astigmatisms nepārsniedza 0,75 D. Pētījumā piedalījās dalībnieki bez diagnosticētām acu patoloģijām vai binokulārās redzes traucējumiem. Pētījuma I daļā tika iekļauti arī 6 dalībnieki ar artefakiju, t.i. mākslīgo intraokulāro acs lēcu, ar nosacījumu, ka mākslīgās lēcas ir abās acīs un tās nav akomodatīva vai multifokāla dizaina. Pētījuma II daļai tika atlasīta 30 dalībnieku izlases grupa ar vidējo vecumu 55 ± 4 gadi (no 48 līdz 60) no dažādām refrakcijas veida grupām. Pēc vecuma visi 216 dalībnieki tika sadalīti 7 grupās un pēc subjektīvi piemeklētās korekcijas atbilstošā pamata refrakcijas veida 3 grupās – emetropija ($SE \pm 0,25$ D), hipermetropija ($SE \geq +0,50$ D) un miopija ($SE \leq -0,50$ D) (Att. 3.1.).



Att. 3.1. Stabiņu diagrammā (pa kreisi) redzams pētījuma dalībnieku (n = 216) procentuālais sadalījums pa vecuma grupām. Apļa diagrammā (pa labi) redzams pētījuma dalībnieku sadalījums pēc pamata refrakcijas veida (hipermetropija – zaļā krāsa, emetropija – pelēkā krāsa, miopija – zilā krāsa)

Pētījuma abas daļas veiktas saskaņā ar Helsinku deklarāciju un saskaņotas ar LU EKMI (Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta) Zinātniskās izpētes ētikas komisiju. Pētījuma pirmās daļas dalībnieki savu piekrišanu dalībai pētījumā sniedza mutiski, otrās daļas pētījuma dalībnieki parakstīja informētās piekrišanas veidlapu.

3.1.1.4 Metode

I daļa:

Dati par 216 pētījuma dalībniekiem tika iegūti sadarbībā ar astoņiem Latvijas optometristiem, kuru darba stāžs profesijā ir vismaz 3 gadi. Datu analīzei tika novērtēti 4 parametri:

- vecums (pilni gadi redzes pārbaudes dienā);
- pamata refrakcijas diagnoze (emetropija ($SE \pm 0,25 D$), hipermetropija ($SE \geq +0,50 D$) vai miopija ($SE \leq -0,50 D$));
- redzes asums (RA) bez aditīva, kas raksturo redzes asumu tuvumā ar tāluma korekciju* (izmantota subjektīvi piemeklētā tāluma korekcija);
- minimālais aditīva lielums (binokulāri, 40 cm attālumā ar *plus build-up* metodi), kas sniedz redzes asumu vismaz 1,0 (decimālās vienībās).

*parametrs iegūts 82 % dalībnieku ($n = 178$)

II daļa:

Dalībnieku izlasei ($n = 30$) ar vidējas vai augstas pakāpes presbiopiju (aditīvs no 1,00 D līdz 2,50 D) un vidējo vecumu 55 ± 4 gadi, tika veikta aditīva piemeklēšana ar piecām dažādām metodēm, no kurām trīs definējamas kā klīniskās metodes un divas balstītas uz aprēķiniem un/vai iepriekš definētām normu vērtībām. Visas piecas metodes tika veiktas vienā izmeklēšanas reizē, konstantos apstākļos uzreiz pēc regulārās redzes pārbaudes beigām. Tuvuma aditīvs tika piemeklēts virs pilnas subjektīvi atrastās tāluma korekcijas, sekojošā secībā: akomodācijas amplitūdas mērījums, *plus build-up* metode, krustotā cilindra metode, dinamiskā retinoskopija un vecumam atbilstošā aditīva piemeklēšana.

Klīniskās aditīva piemeklēšanas metodes:

Akomodācijas amplitūdas metode: aprēķina metode, kur aditīvs tiek iegūts atņemot 2/3 subjektīvi iegūtās akomodācijas amplitūdas no akomodācijas pieprasījuma darba attālumā (Antona et al., 2008), kas šajā pētījumā tika izvēlēts 40 cm un atbilstoši rada 2,50 D pieprasījumu. Aprēķina metodes formula:

$$Aditīvs = 2,50 - \frac{2}{3}AA \quad (3.1.)$$

Akomodācijas amplitūda tika mērīta ar *push-up* metodi, kas tiek izpildīta virs labākās subjektīvās tāluma korekcijas. Dalībnieks tiek instruēts monokulāri skatīties uz redzes asumam 0,8 (decimālās vienības) atbilstošiem optotipiem no tuvuma redzes tabulas un tuvina tos tik tuvu, līdz attēls samiglojas (Burns et al., 2014). Ar mērlentes palīdzību tiek nomērīts attālums no probes ietvara plaknes līdz tuvuma redzes tabulai un iegūtais rezultāts no centimetriem tiek pārvērsts uz dioptrijām:

$$AA (D) = \frac{100}{AA (cm)} \quad (3.2.)$$

Plus build-up metode: subjektīva, klīniskā metode, kas tiek izpildīta virs labākās subjektīvās tāluma korekcijas 40 cm attālumā. Dalībnieks tiek instruēts skatīties uz tuvuma redzes asuma tabulu, binokulāri tiek pievienotas pozitīva stipruma lēcas ar soli 0,25 D, līdz tiek iegūts redzes asums 1,0 (decimālās vienības).

Krustotā cilindra metode: subjektīva, klīniskā metode, kas tiek izpildīta virs labākās subjektīvās tāluma korekcijas 40 cm attālumā. Tiek izmantots $\pm 0,25$ D krustotais cilindrs un stimulē ar trīs vertikālām un trīs horizontālām 90° krustotām līnijām. Pieliekot krustotā cilindra negatīvo $-0,25$ D stiprumu 90° virzienā, pacientam jānovērtē, kuras no līnijām (horizontālās vai vertikālās) ir skaidrākas. Presbiopijas gadījumā skaidrākas būs horizontālās līnijas un nepieciešams binokulāri ar 0,25 D soli pievienot tuvuma aditīvu līdz brīdim, kad horizontālās un vertikālās līnijas paliek vienlīdz skaidras. Ja šāda pozīcija nav iegūstama un pēdējā pieliktā $+0,25$ D soļa rezultātā skaidrākas kļūst vertikālās līnijas, tad gala aditīvs ir pēdējā lēca jeb minimālais aditīvs ar ko skaidrākas bija horizontālās līnijas (Antona et al., 2008; Burns et al., 2014).

Dinamiskā retinoskopija: daļēji objektīva, klīniskā metode, kur dalībnieks tiek instruēts binokulāri skatīties 40 cm attālumā uz tuvuma redzes asuma tabulas optotipiem, kas atbilst redzes asumam 0,8 (decimālās vienībās). Tiek veikts dinamiskās retinoskopijas process pēc standarta procedūras, pievienojot plus lēcas labai acij tik ilgi kamēr tiek iegūts neitralizācijas reflekss (Antona et al., 2008). Lai iegūtu gala aditīvu, no dinamiskās retinoskopijas iegūtā rezultāta tiek atņemts normā sagaidāmais akomodācijas atpalikšanas apjoms 0,50 D apjomā (Yazdani et al., 2016).

Vecumam atbilstošais aditīvs: metode, kas balstīta uz vidējotiem statistikas datiem par katrā vecumā sagaidāmo aditīva lielumu. Kā redzams Tabulā 3.1. dažādu autoru iegūtās vecumam

atbilstošās aditīva vērtības atšķiras (Antona et al., 2008; Borish, 1970; Du Toit, 2006; Hofstetter, 1947; Pointer, 1995; Wee et al., 2010; Yekta et al., 2013).

Tabula 3.1.

Dažādu autoru piedāvātie aditīva lielumi (D) atbilstoši indivīda vecumam.

	Hofstetter (1947)	Borish (1970)	Pointer (1995)	Renee de Toit (2006)	Antona (2008)/Wee (2010)	Yekta (2013)		
35-39	-	-	-	1,00	-	0,25		
40		0,25						
41	1,25	-	0,75		1,00	0,75	1,00	
42								
43					1,00			
44								
45	0,75	1,50	1,25	1,50	1,25	1,50		
46								
47	1,50			-	1,25		1,50	1,50
48								
49							1,25	
50								
51	2,00	-	1,75	2,00	1,75	2,00		
52								
53				2,00				
54				2,00				
55				1,75				
56				2,25	-		2,0	≥2,50
57								
58	2,50							
59	2,50							
60	2,00							
61-64	2,25	-	2,25			≥2,50		-
65				2,25				
66-70				2,50				

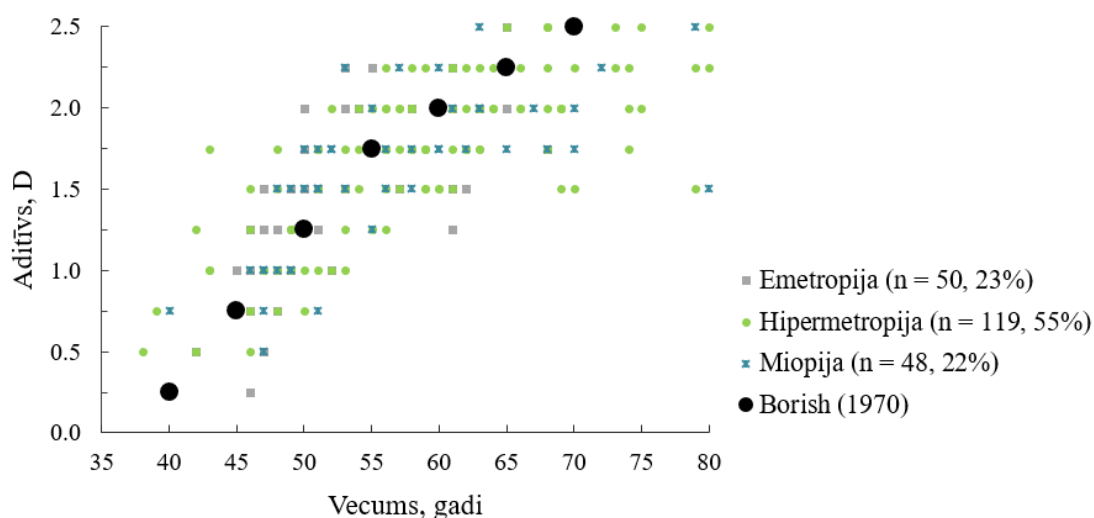
Atšķirību iemesls saistīts gan ar pētījuma dalībnieku izlases specifiku (dalībnieku skaits un etniskā piederība), gan izmantoto tuvuma aditīva noteikšanas metodiku. Aplūkojot jaunākos pētījumus, Yekta un kolēģi (2013) datus ievāca lielākai dalībnieku izlasei (n = 422) nekā Antona un kolēģi (2008), kuru pētījumā piedalījās 69 dalībnieki vai Wee un kolēģi (2010), kuru pētījumā piedalījās 41 dalībnieks. Pointer (1995) pētījums autores skatījumā ir visatbilstošākais, lai veiktu salīdzinājumus ar šī pētījuma rezultātiem, jo tas ietver datus par vairāk kā 3500 dalībniekiem, kas pamatā ir eiropēdu izcelsmes (salīdzinājumam, Yekta un kolēģu (2013) tuvuma aditīva mērījumi iegūti irānas populācijā, Antona un kolēģu (2008) spāņu populācijā, Wee un kolēģu (2010) korejiešu populācijā), turklāt Pointer (1995) ir apkopojis tuvuma aditīva rezultātus, kas iegūti ar *plus build-up* metodi (salīdzinājumam, Hofstetter (1947) un Borish (1970) arī izmantoja *plus build-up* metodi lielai dalībnieku grupai, bet pētījumi ir

vecāki, savukārt, *Yekta* un kolēģi (2013) izmantoja aditīva aprēķinu no AA, *Wee* un kolēģi (2010) izmantoja klasisko un modificēto krustotā cilindra metodi un *Du Toit* (2006) metodi nav precizējies).

3.1.1.5 Rezultāti

I dala:

Iegūtie rezultāti parāda vidēji ciešu, pozitīvu sakarību ($r_s = 0,76$, $p < 0,001$) starp dalībnieku vecumu un ar *plus build-up* metodi atrasto un izrakstīto tuvuma aditīvu (skat. Att. 3.2.). Paredzamā aditīva pieaugšana līdz ar vecumu tika novērota visās refrakcijas veida grupās, turklāt, vidējais hipermetropijas grupai piemeklētais aditīvs ($1,72 \pm 0,50$ D) bija vidēji 0,30 D augstāks par emetropijas grupai piemeklēto aditīvu ($1,42 \pm 0,52$ D) (*Kruskala-Valisa* tests: $\chi^2(2)=12,69$, $p = 0,002$, vairāku izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Pairwise Comparisons*: starp hipermetropijas un emetropijas grupām, $p = 0,001$). Aditīva lielums starp emetropijas un miopijas ($p = 0,197$), kā arī hipermetropijas un miopijas grupām būtiski neatšķīrās ($p = 0,633$).



Att. 3.2. Aditīva lielums emetropijas, hipermetropijas un miopijas grupām atkarībā no vecuma.

Sakarība starp izrakstīto tuvuma aditīvu un vecumu vizuāli attēlota Att. 3.2., kur salīdzinājumam ir ievietotas sagaidāmās, vecuma piecgadei atbilstošās, *Borish* (1970) nodefinētās normas (*Borish*, 1970). Rezultāti parāda, ka šajā pētījumā iegūtās vidējās aditīva vērtības konkrētajos vecumos ir salīdzināmas ar *Borish* (1970) nodefinētajām normām, tomēr individuālās aditīva vērtības veido lielu izkliedi. Turpmākai analīzei tika izvēlētas

Pointer (1995) definētās normas (*Pointer*, 1995), jo tās ir salīdzinoši jaunākas, definētas ap 3500 eiropeīdu dalībnieku grupā un ietver vecuma diapazonu pa 5 gadiem, kas ir atbilstošākais, lai salīdzinātu ar šī pētījuma dalībniekiem (skat. Tabula 3.1.).

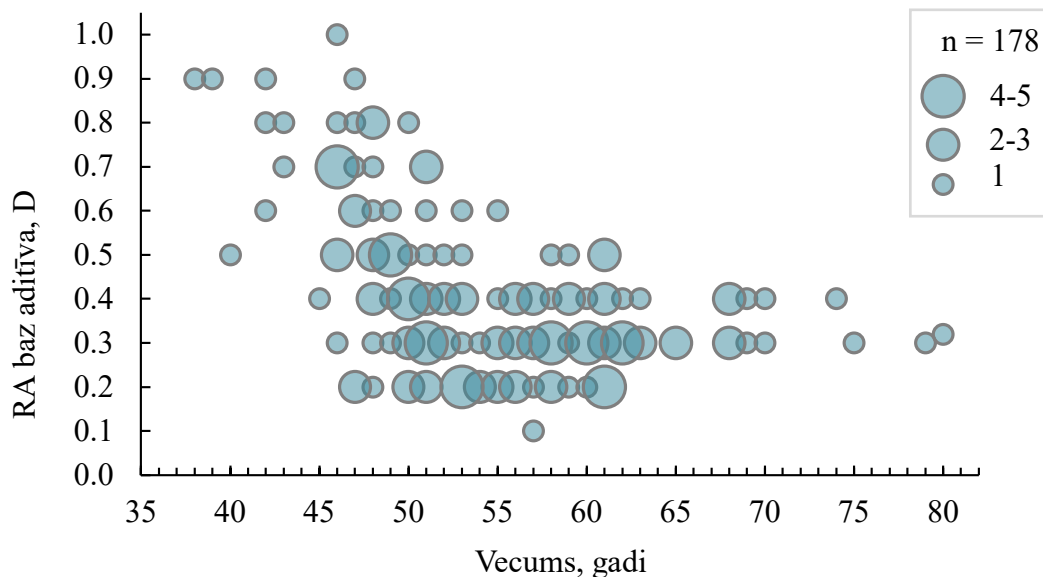
Kā viens no šī pētījuma uzdevumiem tika izvirzīts noteikt, cik efektīvi vecuma definētās aditīva normas var pielietot individuālos gadījumos. Apkopojot aditīva lieluma procentuālo sadalījumu pa vecuma grupām (skat. Tabula 3.2.), var iegūt papildus informāciju par iepriekš aprakstīto attēlu 3.2. Vecuma grupai sagaidāmo (*Pointer*, 1995) aditīva vērtību šūnas Tabulā 3.2. ir iekrāsotas ar pelēku krāsu un ir redzams, ka, vadoties pēc *Pointer* (1995) normām, vecumam atbilstošais aditīvs tiek izrakstīts vidēji tikai 25 % gadījumu (no 14 % līdz 37 %), kas ļauj secināt, ka vecums kā vienīgais aditīva lieluma indikators nav pietiekams, lai precīzi prognozētu nepieciešamo aditīvu.

Tabula 3.2.

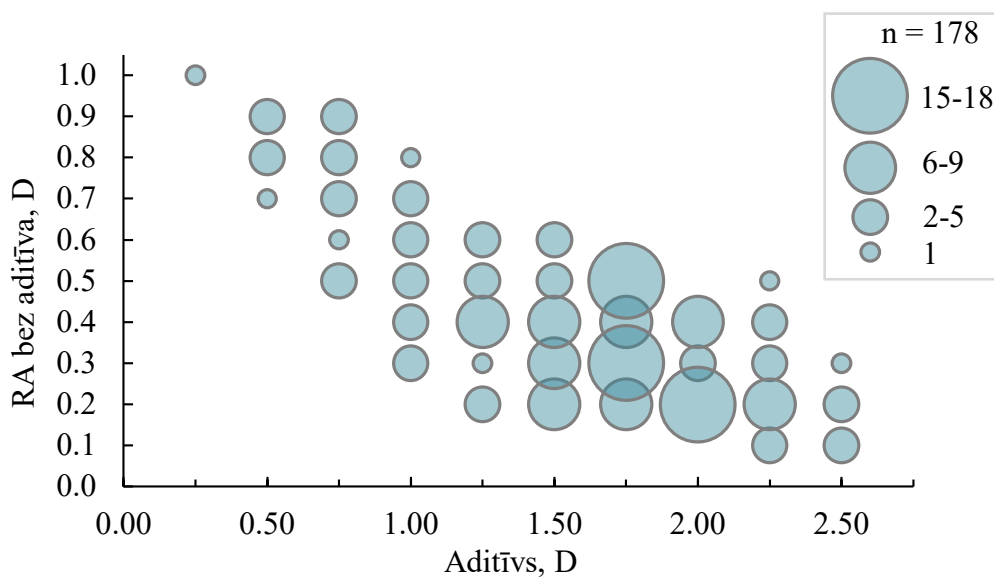
Piemeklētā aditīva procentuālais sadalījums pa vecuma grupām. Šūnas, kas raksturo vecumam definēto aditīva lielumu pēc *Pointer* (1995) iekrāsotas pelēkas.

Aditīvs, D	Vecums, gadi						
	35 - 45	46 - 50	51 - 55	56 - 60	61 - 65	66 - 70	70 +
0,25	-	2 %	-	-	-	-	-
0,50	33 %	6 %	-	-	-	-	-
0,75	25 %	17 %	3 %	-	-	-	-
1,00	25 %	31 %	11 %	-	-	-	-
1,25	9 %	19 %	13 %	2 %	3 %	-	-
1,50	-	17 %	29 %	21 %	8 %	9 %	14 %
1,75	8 %	6 %	24 %	36 %	20 %	23 %	7 %
2,00	-	2 %	13 %	29 %	37 %	36 %	14 %
2,25	-	-	7 %	12 %	23 %	14 %	36 %
2,50	-	-	-	-	9 %	18 %	29 %

Kā nākamais potenciālais tuvuma aditīva lieluma indikators tika izvēlēts parametrs RA (redzes asums) bez aditīva. Izvirzītā hipotēze, ka, jo zemāks RA bez aditīva un/vai lielāks vecums, jo augstāks būs nepieciešamais aditīvs, lai iegūtu RA 1,0 (decimālās vienības), tika apstiprināta. Apkopojot rezultātus, iegūta mēreni cieša, negatīva sakarība starp vecumu un RA bez aditīva (skat. Att. 3.3.) ($r_s = -0,50$, $p < 0,001$), kā arī cieša, negatīva sakarība ($r_s = -0,70$, $p < 0,001$) starp RA bez aditīva un piemeklēto aditīvu. RA bez aditīva nebija statistiski nozīmīgi atšķirīgs emetropijas, hipermetropijas un miopijas grupās (*Kruskala-Valisa* tests: $\chi^2(2)=3,934$, $p = 0,14$).



Att. 3.3. Attēlota sakarība starp vecumu un redzes asumu (RA) bez aditīva 178 dalībniekiem. Punktu izmērs vizuāli parāda, cik dalībnieki ar konkrēto punktu raksturojami.



Att. 3.4. Attēlota sakarība starp aditīvu un redzes asumu (RA) bez aditīva 178 dalībniekiem. Punktu izmērs vizuāli parāda, cik dalībnieki ar šo punktu raksturojami.

Tā kā šī pētījuma ietvaros interesējamies par vienu rezultatīvo pazīmi (tuvuma aditīva stiprums), kuru ietekmē vairākas faktoriālās pazīmes tika pielietota daudzfaktoru regresijas analīze, lai noskaidrotu, kuri no pētījumā izmantotajiem mainīgajiem parametriem (vecums, refrakcijas veids un RA bez aditīva) vislabāk raksturo un paredz nozīmētā aditīva lielumu. Presbiopijas fizioloģiskā attīstība paredz, ka vidēji sākot no 40 gadiem akomodācijas amplitūda

pakāpeniski samazinās līdz tiek sasniegts 60 gadu vecums, kad atlikusī akomodācijas amplitūda ir vidēji ap 0,50 D līdz 1,00 D liela un iestājas plato fāze, kur tālāka akomodācijas amplitūdas pazemināšanās nenotiek (Lafuma & Berdeaux, 2009) un attiecīgi arī tuvuma aditīva lielums neturpina pieaugt. Lai aprakstītu presbiopijas attīstības fizioloģisko procesu tika izmantots daudzfaktoru regresijas modelis ar maiņas punktu (*threshold regression: hinge*) (Fong et al., 2017), kur par statistiski nozīmīgiem faktoriem modeļa izveidē tika atzīti RA bez aditīva (faktora ietekmes koeficients = -1,361, $p < 0,001$) un vecums (faktora ietekmes koeficients = 0,033, $p = 0,014$), savukārt, dalībnieka piederībai konkrētai refrakcijas grupai nebija būtiski nozīmīga ($p = 0,108$). Tika iegūti sekojoši daudzfaktoru regresijas vienādojumi, kur par maiņas punktu tika noteikts 65 gadu vecums pēc kura vecumam kā faktoram vairs nav būtiskas ietekmes ($R^2 = 0,76$):

Ja vecums <65 gadi, tad

$$Add = 2,431 + (-1,361 * RA \text{ bez add}) + 0,033(\text{vecums} - 65) \quad (3.3.)$$

Ja vecums \geq 65 gadi, tad

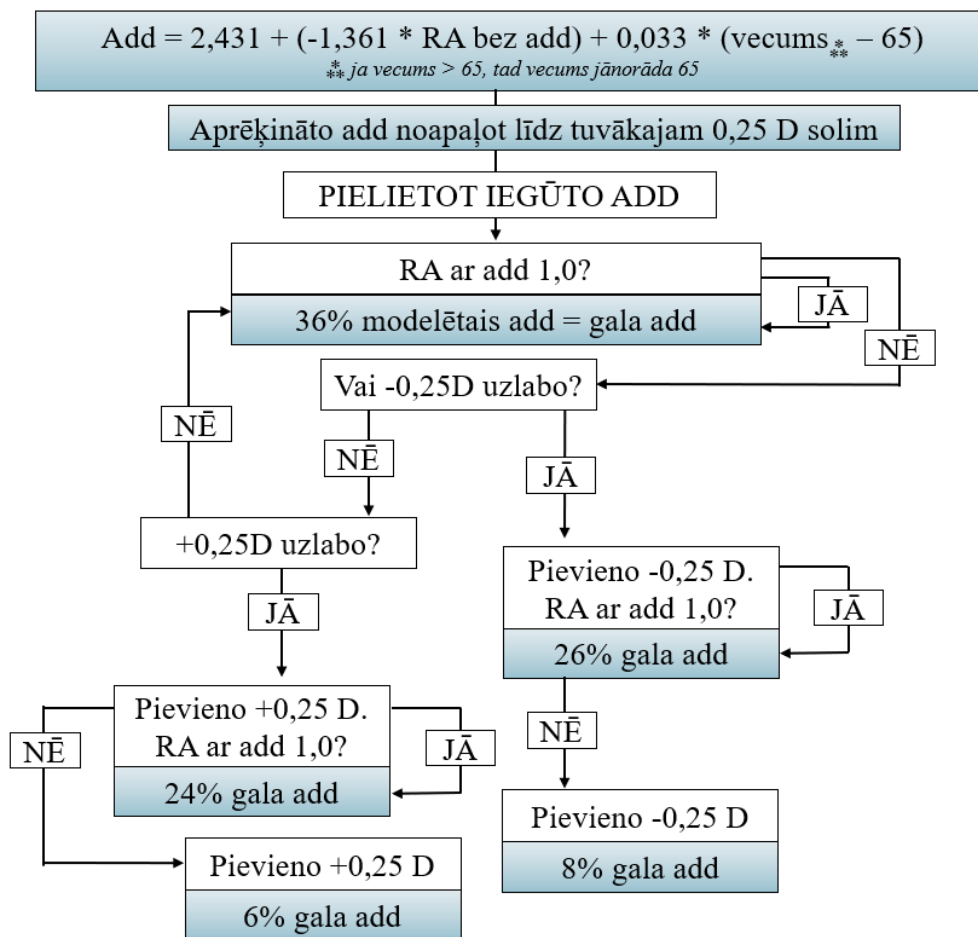
$$Add = 2,431 + (-1,361 * RA \text{ bez add})$$

Mūsu piedāvātais modelis, kurā tiek ņemts vērā RA bez aditīva un vecums, skaidro aditīva variācijas apjomu ar 76 % efektivitāti, ko nosaka atrastais determinācijas koeficients $R^2 = 0,76$. Šis ir pirmais pētījums, kas aditīva prognozēšanā ņem vērā papildus faktoru RA bez aditīva un pielieto regresijas metodi, kurā tiek ņemts vērā vecuma ietekmes maiņas punkts, parādot, ka vidēji pēc 65 gadu vecuma presbiopijas attīstība stabilizējas un piemeklētā aditīva lielumam iestājas relatīva plato fāze, kas turpmāk atkarīga tikai no faktora RA bez aditīva.

Tā kā konkrētā modeļa pielietošana būtu aktuāla klīniskā vidē, tad jāņem vērā, ka darba lēcas solis ar kādu tiek mainīts aditīvs ir 0,25 D, bet iegūtais modelis paredz vērtības ar neierobežotu soli, kas liek uzstādīt papildus nosacījumu, ka iegūtā aditīva vērtība pēc piedāvātā modeļa tiks noapaļota līdz tuvākajai ceturtdaļai. To var darīt manuāli, ja nepieciešams analizēt konkrētu gadījumu ikdienas tekošajā pacientu pieņemšanā vai, ja nepieciešams, modeli pielietot vairākiem gadījumiem, tad var izmantot *Excel* funkciju *CEILING*, kur nepieciešamie nosacījumi jāievada sekojoši: $=CEILING(Add;0,25)$

Ja modeļa iegūtā vērtība tiek noapaļota līdz tuvākajai ceturtdaļai, tad šī modeļa pielietošanas efektivitāte ir pietiekama, lai to izmantotu kā labāku alternatīvu vecumam atbilstošās metodes vietā (skat. Att. 3.5.), jo 36 % gadījumu, pielietojot piedāvāto modeli, uzreiz tiks iegūts izrakstāmā aditīva lielums (kas ir par 10 % augstāks rādītājs kā *Pointer* (1995)

vadlīniju rezultāti, kas tūlītēju sakritību sasniedz 26 % gadījumu), un 86 % gadījumu gala aditīvs tiks iegūts izmantojot $\pm 0,25$ D precizēšanas tehniku (26 % gadījumu modeļa piedāvātais aditīvs sagaidāms par 0,25 D lielāks kā nepieciešams, 24 % gadījumu mazāks kā nepieciešams). Tikai 14 % gadījumu modeļa piedāvātais aditīvs varētu atšķirties par $\pm 0,50$ D (8 % gadījumu par 0,50 D lielāks kā nepieciešams, 6 % gadījumu mazāks kā nepieciešams). Pamatojoties uz iepriekš minētajām vērtībām tika izstrādāts algoritms (skat. Att. 3.5.), kas palīdzēs šo modeli pielietot:



Att. 3.5. Algoritms aditīva noteikšanai, kas veidots, balstoties uz daudzfaktoru regresijas analīzes rezultātā izveidoto modeli.

Ja iegūtais redzes asums (RA) pēc aditīva vērtības pielietošanas (skat. 3.3. vienādojumu un Att. 3.5.) ir zemāks par 1,0, tad mūsu modelis paredz kā pirmo soli izvērtēt, vai -0,25 D lēcas uzlabo RA. Ja jā, tad jā samazina aditīvs par 0,25 D, kas vēl 26 % gadījumā ļauj sasniegt gala rezultātu. Ja joprojām iegūtais RA < 1,0, tad vēlreiz samazina aditīvu par 0,25 D, kas ļauj sasniegt gala rezultātu vēl 8 % gadījumos. Ja pirmā soļa piedāvātās -0,25 D lēcas neuzlabo RA, tad tiek piedāvātas +0,25 D lēcas, kas 24 % gadījumos ļauj sasniegt gala rezultātu un, ja

joprojām $RA < 1,0$, tad vēlreiz palielina aditīvu par $+0,25$ D, kas ļaus sasniegt pēdējos 6 % gadījumus.

Tabula 3.3.

Procentuālais dalībnieku sadalījums, kas atspoguļo mūsu piedāvātā modeļa *Panke* (2020) un *Pointer* (1995) modeļa efektivitāti aditīva piemeklēšanā, kur modeļa iegūtā aditīva vērtība tiek salīdzināta ar *plus build-up* klīniskā aditīva piemeklēšanas metodē iegūto aditīva vērtību.

n = 178	<i>Panke</i> (2020)	<i>Pointer</i> (1995)
Sakrīt ar <i>plus build-up</i>	36 %	26 %
par 0,25 D augstāks	26 %	18 %
par 0,25 D zemāks	24 %	26 %
Iekļaujas $\pm 0,25$ D robežās	50 %	44 %
par $\geq 0,50$ D augstāks	8 %	7 %
par $\geq 0,50$ D zemāks	6 %	23 %
Iekļaujas $\geq 0,50$ D robežās	14 %	30 %

Lai salīdzinātu aditīva piemeklēšanas efektivitāti ar šī pētījuma ietvaros radīto modeli un metodi pēc *Pointer* (1995) vecumam atbilstošajām normām, Tabula 3.2. tika apkopota un pārveidota tā, lai atspoguļotu informāciju par visām vecuma grupām kopā. Tika analizēts, cik no visiem dalībniekiem ($n = 178$) konkrētā metode sniedz tādu pašu rezultātu kā klīniskā *plus build-up* metode, cik dalībniekiem klīniskās metodes rezultāts ir sasniedzams, ja pielieto $\pm 0,25$ D precizēšanas metodi un cik dalībniekiem metodes piedāvātais rezultāts atšķiras $\geq \pm 0,50$ D (skat. Tabula 3.3.).

II daļa:

Ja salīdzinām klīniskās aditīva noteikšanas metodes (*plus build-up*, krustotais cilindrs un dinamiskā retinoskopija), tad atšķirības starp iegūtajiem aditīviem nav statistiski nozīmīgas ($p > 0,1$). Detalizētāka analīze parāda, ka tikai 7 % gadījumu atšķirības starp klīnisko metožu iegūto aditīva stiprumu būtu sagaidāmas $\geq 0,75$ D, kas varētu tikt uzskatīts kā klīniski nozīmīga atšķirība. Lielākajai daļai dalībnieku jeb 63 % atšķirības starp klīnisko metožu rezultātiem bija $\leq 0,25$ D, savukārt, 93 % gadījumu rezultāti atšķīrās par $\leq 0,50$ D. Grupas apkopotie vidējie aditīva rādītāji ar katru no piecām metodēm parādīti Tabulā 3.4.

Tabula 3.4.

Vidējie iegūtie aditīva lielumi ar piecām dažādām metodēm.

n = 30	Aprēķins no AA	<i>Plus build- up</i>	Krustotais cilindrs	Dinamiskā retinoskopija	<i>Pointer</i> (1995) vecuma normas
Add, D	1,17	1,82	1,82	1,90	2,11
± SD	0,74	0,33	0,30	0,33	0,35

Ja salīdzinām klīnisko metožu standarta *plus build-up* metodes iegūtās aditīva vērtības ar metodēm, kas balstītas uz aprēķiniem vai iepriekš definētām normu vērtībām, tad ar AA aprēķina metodi iegūtais aditīvs bija par 0,65 D zemāks ($p = 0,029$), savukārt, piemeklējot aditīvu pēc vecumam atbilstošajām *Pointer (1995)* normām, iegūtais aditīvs bija par 0,29 D augstāks ($p = 0,009$) nekā ar *plus build-up* metodi atrastais (skat. Tabula 3.5.).

Tabula 3.5.

Vidējās atšķirības starp aditīva lielumu, kas iegūtas ar *plus build-up* metodi un aditīvu, kas noteikts ar pārējām četrām metodēm. Pozitīvās vērtības raksturo metodes ar kurām piemeklētais aditīvs ir augstāks par *plus build-up* metodē iegūto (vecumam atbilstošais add), negatīvās vērtības raksturo metodes ar kurām piemeklētais aditīvs ir zemāks par *plus build-up* metodē iegūto (aprēķins no AA).

n = 30	Add atšķirība no <i>plus build-up</i> , D	± SD, D	↓ 95 % CI	↑ 95 % CI	<i>p</i> vērtība
Aprēķins no AA	-0,65	0,69	-0,91	-0,39	< 0,01
Krustotais cilindrs	0,00	0,21	-0,08	0,08	1,00
Dinamiskā retinoskopija	0,08	0,32	-0,04	0,20	1,00
<i>Pointer</i> vecuma normas	0,29	0,37	-0,15	0,43	< 0,01

II daļā analizēto aditīva datu normalitāte visām metodēm, izņemot *plus build-up*, tika noliegta pēc *Šapiro-Vilka (Shapiro-Wilk)* testa, tāpēc datu analīzei tika izmantots *Frīdmana* divvirzienu rangu dispersijas tests ar *Bonferroni* korekciju (skat. Tabula 3.6).

Tabula 3.6.

Frīdmana testa rezultāti ar iegūtajām *p* vērtībām pēc *Bonferroni* korekcijas pielietošanas.

	<i>Pointer</i> vecuma normas	Dinamiskā retinoskopija	Krustotais cilindrs	Aprēķins no AA	<i>Plus build- up</i>
<i>Plus build-up</i>	$p = 0,009$	$p = 1,0$	$p = 1,0$	$p = 0,029$	-
Aprēķins no AA	$p = 0,001$	$p = 0,001$	$p = 0,015$	-	
Krustotais cilindrs	$p = 0,019$	$p = 1,0$	-		
Dinamiskā retinoskopija	$p = 0,16$	-			

3.1.1.6 Diskusija

Neskatoties uz to, ka vecumam atbilstošā aditīva normas zinātniskajā literatūrā minētas jau vairāk kā pirms 150 gadiem un aditīva plašās variācijas vienas vecuma grupas ietvaros identificētas jau iepriekš (Hanlon et al., 1987; Pointer, 1995). Šis ir pirmais pētījums, kur tiek noteikta vecumam atbilstošo normu pielietošanas efektivitāte individuālos gadījumos un mūsu iegūtie rezultāti parāda, ka vidēji tikai 25 % gadījumu izrakstītais aditīvs sakrīt ar normas tabulā esošo. Līdz šim aditīva prognozēšanai atkarībā no vecuma tika izmantoti lineārās regresijas modeļi ($Add = 0,69 + 0,0407 * \text{vecums}$; $R^2 = 0,43$ (Hofstetter, 1949) un $Add = 0,252 + 0,0498 * \text{vecums}$; $R^2 = 0,56$ (Pointer, 1995)), kas, pielietojumam klīniskajā vidē, izteikti tabulu veidā, kur dažādām vecuma grupām norādīts sagaidāmais aditīva lielums (skat. Tabula 3.1.). Mūsu pētījumā piedāvātais vairākfaktoru regresijas modelis, kas papildus vecumam ņem vērā faktoru redzes asums (RA) bez aditīva ir pirmais daudzfaktoru regresijas modelis, kas pielietots tieši presbiopijas aditīva prognozēšanai un tas veiksmīgi demonstrē, ka RA bez aditīva būtiski uzlabo modeļa precizitāti un skaidro aditīva variācijas apjomu ar 76 % efektivitāti, kas ir par 20 % un 33 % precīzāk par *Pointer* (1995) un *Hofstetter* (1949) piedāvātajiem modeļiem. Esošā pētījuma daudzfaktoru regresijas modelī tika izvērtēti trīs faktori, no kuriem divi (vecums un RA bez aditīva) tika atzīti kā nozīmīgi, lai prognozētu aditīva lielumu un viens (refrakcijas kļūdas veids) tika atzīts kā nenozīmīgs, tomēr būtu jāņem vērā, ka iespējams modelis ir uzlabojams pievienojot vēl citus potenciāli ietekmējošos faktorus, piemēram, dzimumu, zīlītes izmēru un smēķēšanas paradumus, kas šī pētījuma ietvaros netika darīti.

Mūsu pētījumā neparādījās nozīmīga saistība starp aditīva lielumu un refrakcijas kļūdas veidu, savukārt, pētījumā ar 422 presbiopijas vecuma dalībniekiem no Irānas tika secināts, ka vecuma grupā no 35 līdz 40 gadiem dalībniekiem ar hipermetropiju tika nozīmēts vidēji par 0,25 D līdz 0,50 D augstāks aditīvs nekā dalībniekiem ar emetropiju vai miopiju ($p < 0,001$), tomēr pēc 45 gadu vecuma aditīva lieluma atšķirības starp refrakcijas grupām netika novērotas (Yekta et al., 2013). Salīdzinot *Yekta* un kolēģu (2013) ar šajā pētījumā iegūto saistību starp piemeklētā vidējā aditīva lielumu un pamata refrakcijas veidu (skat. Tabula 3.7.) var nedefinēt divas būtiskākās atšķirības. Pirmkārt, *Yekta* un kolēģu (2013) iegūtie rezultāti viszemāko aditīvu novēro dalībniekiem ar miopiju, turklāt tā ir vidēji par 0,42 D zemāka par mūsu pētījumā novēroto. Otrkārt, mūsu pētījumā vidējais izrakstītais aditīva lielums hipermetropijas grupai ir par 0,36 D zemāks. Viens no iespējamiem skaidrojumiem starp rezultātu atšķirībām

varētu būt saistīts ar subjektīvās tāluma korekcijas piemeklēšanas metodoloģiju. Latvijas optometrijas vadlīnijas ietver apmieglošanas tehniku, kas nodrošina augstāku slēptas hipermetropijas atrašanas iespējamību subjektīvajā tāluma korekcijā, kas, savukārt, vēlāk uzrādīs patiesākus un arī zemākus aditīva mērījumus nekā tad, ja slēptās hipermetropija tālumā netiks izkorigēta. Miopijas gadījumā iepriekšminētais skaidrojums nevar tikt attiecināts, jo mūsu pētījuma dati parāda vidēji par 0,42 D augstāku aditīvu miopijas grupai par *Yekta* un kolēģu (2013) iegūtajiem rezultātiem, kas varētu liecināt par tendenci pārkorigēt miopiju mūsu pētījumā apkopotajos datos vai par tendenci izrakstīt miopijas hipokorekciju Irānā.

Ir zināms, ka AA samazināšanās ir tieši apgriezti saistīta ar presbiopijas veidošanos (Charman, 1989), tāpēc pētījumi, kas izvērtē AA atšķirības starp refrakcijas grupām var tikt netieši salīdzināti ar mūsu pētījumā iegūto. Piemēram, *Abraham* un kolēģi (2005) novēroja, ka vecumā no 35 līdz 39 gadiem dalībniekiem ar emetropiju un hipermetropiju AA bija līdzvērtīga, bet dalībniekiem ar miopiju bija vidēji par 1,00 D augstāka AA ($p < 0,005$) (*Abraham et al.*, 2005). *Chaudhary* un kolēģu (2018) rezultāti parāda līdzīgu tendenci – visās vecuma grupās sākot no 36 līdz 50 gadiem visaugstākā AA ir miopijas grupai, izņemot vecumā no 41 līdz 45 gadiem, kur emetropijas grupai ir par 0,64 D un 0,98 D augstāka AA nekā miopijas ($p = 0,03$) un hipermetropijas ($p = 0,01$) grupām (*Chaudhary et al.*, 2018). Iepriekš aprakstītais raksturo to, ka dalībniekiem ar miopiju presbiopijas vecumā, salīdzinoši augstā AA radīs mazāku vajadzību pēc aditīva. Tas sakrīt ar šajā pētījumā novērotajām tendencēm, kur miopijas grupai vidējais aditīvs ir vidēji par 0,19 D zemāks nekā emetropijas un par 0,25 D zemāks nekā hipermetropijas grupā, tomēr atšķirības netika apstiprinātas kā statistiski būtiskas ($p = 0,197$ un $p = 0,633$). Dalībniekiem vecumā no 40 līdz 44 gadiem visaugstākā AA *Abraham* un kolēģu (2005) pētījumā saglabājās miopijas grupā un vērojams straujāks AA zudums hipermetropijas grupā, kas aditīva kontekstā radītu hipermetropijas grupai vidēji par 0,50 D lielāku nepieciešamo aditīvu nekā emetropijas grupai. Šī sakarība ir spēkā gan *Yekta* un kolēģu (2013) pētījumā, kur novērotais aditīva lielums hipermetropijas grupai ir 0,61 D augstāks par emetropijas grupai novēroto, gan mūsu pētījumā, kur hipermetropijas grupai novēro par 0,30 D augstāku aditīvu nekā emetropijas grupai. Vecuma posmā no 45 līdz 50 gadiem būtiskas AA atšķirības starp refrakcijas grupām netiek novērotas (*Abraham et al.*, 2005). Līdzīgu tendenci, kur AA atšķirības starp refrakcijas grupām mazinās, pieaugot vecumam, var vērot arī *Chaudhary* un kolēģu (2018) pētījumā, kur pēc 56 gadu vecuma AA visās refrakcijas grupās ir līdzvērtīgi zema ($p = 0,6$). Apkopojot iepriekšminēto pētījumu rezultātus, var secināt, ka

pieaugot vecumam refrakcijas veida ietekme uz AA un potenciāli uz aditīva lielumu mazinās, turklāt būtu jāņem vērā, ka gan AA novērtējums, gan tuvuma aditīva lielums ir atkarīgs no tāluma subjektīvās korekcijas novērtēšanas precizitātes un stratēģijas, kas dažādās valstīs var atšķirties.

Tabula 3.7.

Jaunākie pētījumi, kur akomodācijas funkcijas nepieciešamā aditīva un/vai atlikušās AA formā pētītas saistībā ar pamata refrakcijas veidu dalībniekiem ar presbiopiju.

	Emetropija	Miopija	Hipermetropija
	Vidējais aditīvs (D) ± SD presbiopijas vecumā		
<i>Yekta et. al.</i> (2013)	1,41 ± 0,69	1,22 ± 0,94	2,02 ± 0,6
Esošais pētījums	1,41 ± 0,51	1,64 ± 0,50	1,66 ± 0,49
	Vidējā AA (D) ± SD presbiopijas vecumā		
<i>Abraham et. al.</i> (2005)*	1,94 ± 0,32	2,18 ± 0,51	1,73 ± 0,36
<i>Yekta et. al.</i> (2013)	3,50 ± 1,75	4,82 ± 3,41	2,27 ± 1,28
<i>Chaudhary et. al.</i> (2018)	3,05 ± 0,30	3,22 ± 0,46	2.68 ± 0,39

* SD aprēķinātas izmantojot ticamības intervāla datus.

Aprakstītie pētījumi izmantoja līdzvērtīgus refrakcijas grupu kritērijus, vienādu AA noteikšanas metodi (pilna korekcija tālumā, *push-up* ar *RAF* lineālu līdz N5 izmēra burti tikko samiglojas), tomēr autori nav precizējuši aprakstīto AA mērījumu apstākļus (monokulāri vai binokulāri). Piemēram, *Chaudhary* un kolēģu (2018) pētījumā AA mērījumu apstākļi nav aprakstīti, *Yekta* un kolēģi (2013) AA mērīja gan monokulāri, gan binokulāri, bet nav norādījuši, kuru apstākļu rezultāti tiek analizēti, savukārt, *Abraham* un kolēģi (2005) mērījumus veica monokulāri abām acīm un nav norādījuši, kuras acs rezultāti tiek analizēti. Standarta procedūra paredz AA mērījumu veikt monokulāri (*Burns et al.*, 2014), binokulāros apstākļos sagaidāms, ka AA mērījuma rezultāti varētu būt nedaudz augstāki, tomēr *Burns* un kolēģu (2019) skatījumā šie mērījuma apstākļi AA rezultātu ietekmē maznozīmīgi. Ir pierādīts, ka reģionos ar augstāku temperatūru un tuvāk ekvatoram, presbiopija attīstās ātrāk (*Miranda*, 1979), kas arī varētu izskaidrot to, kāpēc *Abraham* un kolēģu (2005) pētījumā iegūtās AA vērtības ir par 1,00 D līdz pat 2,50 D zemākas nekā *Chaudhary* un kolēģu (2018) un *Yekta* un kolēģu (2013) pētījumos. *Chaudhary* un kolēģu pētījums (2018) veikts Nepālā un *Yekta* un kolēģu (2013) Irānā, kas ir savstarpēji līdzvērtīgā attālumā no ekvatora, savukārt, *Abraham* un kolēģu (2005) pētījums tika veikts Indijas dienvidu daļā, kas atrodas būtiski tuvāk ekvatoram.

Dalībnieku procentuālais sadalījums pa refrakcijas veida grupām nav atspoguļots ne *Yekta* un kolēģu (2013) ne *Abraham* un kolēģu (2005) pētījumos, tomēr mūsu pētījumā dalībnieki ar hipermetropiju bija ievērojami vairāk (58 %) nekā emetropijas (22 %) vai miopijas (20 %) grupas dalībnieki. Līdzīgs sadalījums pa refrakcijas veida grupām novērots arī *Chaudhary* un kolēģu (2018) pētījumā, kur no 100 dalībniekiem 56 % bija hipermetropija, 31 % emetropija un 13 % miopija. Šāds sadalījums netieši apstiprina citu autoru novēroto, ka pacientiem ar hipermetropiju presbiopijas simptomi parādās agrāk un nepieciešamība pēc aditīva ir izteiktāka nekā miopijas vai emetropijas gadījumā, tāpēc pētījumos, kur dalībnieku izlase ir ņemta jauktā kārtībā no klīniskās vides, vairumam dalībnieku pamata refrakcijas veids ir hipermetropija. *Priyambada* (2019) meklēja priekšlaicīgas presbiopijas saistību ar tādiem faktoriem kā viedtālruņa lietošana, saules starojums, smēķēšana, alkohola lietošana, sistēmiskās saslimšanas u.c. Tika novērots, ka katram piektajam priekšlaicīgas presbiopijas pacientam pamata refrakcijas veids ir hipermetropija.

Dažādu aditīva piemeklēšanas metožu salīdzinājumi veikti jau iepriekš (*Antona et al.*, 2008; *Bittencourt et al.*, 2013; *Goss*, 2016; *Wee et al.*, 2010; *Yazdani et al.*, 2016). Šī pētījuma II daļā iegūtie rezultāti, parāda, ka aditīva noteikšana pēc AA metodes sniedz vidēji par 0,65 D zemāku aditīvu nekā standarta *plus build-up* metode, kas ir saskaņā ar *Yazdani* un kolēģu (2016) un *Antona* un kolēģu (2008) pētījumos novēroto, kur AA metode sniedza atbilstoši par 0,46 D un 0,34 D zemāku aditīvu nekā ar *plus build-up* metodi piemeklētais vai klīniski nozīmētais. Mūsu pētījumā netika novērota ne statistiski, ne klīniski nozīmīga atšķirība starp aditīvu, kas piemeklēts ar klīniskajām metodēm (*plus build-up*, krustotais cilindrs un dinamiskā retinoskopija). *Yazdani* un kolēģu (2016) pētījumā, kur bija lielāks dalībnieku skaits ($n = 81$) tika novērota statistiski nozīmīga, bet klīniski nebūtiska 0,09 D liela atšķirība starp vidējo aditīva lielumu, kas mērīts ar *plus build-up* metodi un dinamisko retinoskopiju, kur zemāku aditīvu uzrādīja dinamiskās retinoskopijas metode ($p < 0,05$), savukārt, *Antona* un kolēģu (2008) pētījumā dinamiskās retinoskopijas metode uzrādīja statistiski un klīniski nozīmīgi, par 0,19 D augstāku aditīvu nekā klīniski nozīmētais ($p < 0,001$). Gan mūsu, gan *Antona* un kolēģu (2008) un *Bittencourt* un kolēģu (2013) pētījumā netika novērotas atšķirības starp aditīvu iegūtu ar krustotā cilindra metodi un klīniski nozīmētā aditīva lielumu ($p > 0,05$). Mūsu iegūtie rezultāti parāda, ka tuvuma aditīva nozīmēšana pēc *Pointer* (1995) definētajam vecumam atbilstošajām normām pārvērtē aditīva lielumu vidēji par 0,29 D ($p = 0,009$), ja salīdzina ar standarta *plus build-up* metodi, kas ir pretrunā ar *Antona* un kolēģu (2008) pētījumā iegūto, kur

tuvuma aditīva nozīmēšana pēc *Pointer* (1995) sakrita ar klīniski nozīmēto aditīvu ($p = 0,8$). Neskatoties uz *Antona* un kolēģu (2008) rezultātiem un arī *Hanlon* un kolēģu (1987) pētījumu, kuros tika secināts, ka aditīva piemeklēšana pēc vecumam atbilstošajām normām var tikt uzskatīta par veiksmīgi pielietojamu metodi klīniskajā optometrista praksē, mūsu pētījums uzskatāmi parāda, ka līdz šim pielietotā, vecumam atbilstošā aditīva normu pielietojuma efektivitāte individuāliem gadījumiem nav pietiekama.

3.1.1.7 Secinājumi

1. Lai arī ir novērojama vidēji cieša, pozitīva sakarība starp vecumu un nepieciešamo aditīva stiprumu, vecums kā vienīgais aditīva lieluma indikators nav pietiekams, lai precīzi prognozētu nepieciešamo aditīvu.
2. Izveidotais daudzfaktoru regresijas modelis ļauj prognozēt aditīva lielumu atkarībā no vecuma un redzes asuma bez aditīva ar 76 % efektivitāti.
3. Metode, kas balstīta uz aditīva aprēķinu no AA dod būtiski zemāku aditīvu, savukārt, metode, kas aditīvu piemeklē pēc vecumam atbilstošajām normām, dod būtiski augstāku aditīvu nekā klīniskās metodes.
4. Ar klīniskajām metodēm (*plus build-up*, krustotā cilindra un dinamiskās retinoskopijas metodes) piemeklētais aditīva lielums ir līdzvērtīgs.

Pirmais un otrais secinājums izmantots darba pirmās tēzes formulēšanai.

3.1.2 Tuvuma darbu izpildes veikspēja atkarībā no aditīva lieluma

3.1.2.1 Aktualitāte

Eiropas Savienības Statistikas biroja “*Eurostat*” 2018. gada dati parāda, ka ap 40 % no visiem ES iedzīvotājiem ir vecumā virs 50 gadiem (Eurostat, 2018), kas ļauj secināt, ka klīniski nozīmīga presbiopija sagaidāma vismaz 40 % ES iedzīvotājiem. Presbiopija ir redzes defekts, kas iestājas cilvēka darbības vecumā un, nekoriģējot vai lietojot nepareizu korekciju, var būtiski pazemināt dzīves kvalitāti (Goertz et al., 2014; Luo et al., 2008). Pasaules līmenī vērojama cieša saistība starp socioekonomiskiem faktoriem un redzes traucējumiem (Bourne et al., 2017) – nekoriģēta presbiopija globāli ietekmē vairāk kā 500 miljonus cilvēku (563 miljoni (Holden et al., 2008), 826 miljoni (Fricke et al., 2018)), kas veido apmēram pusi

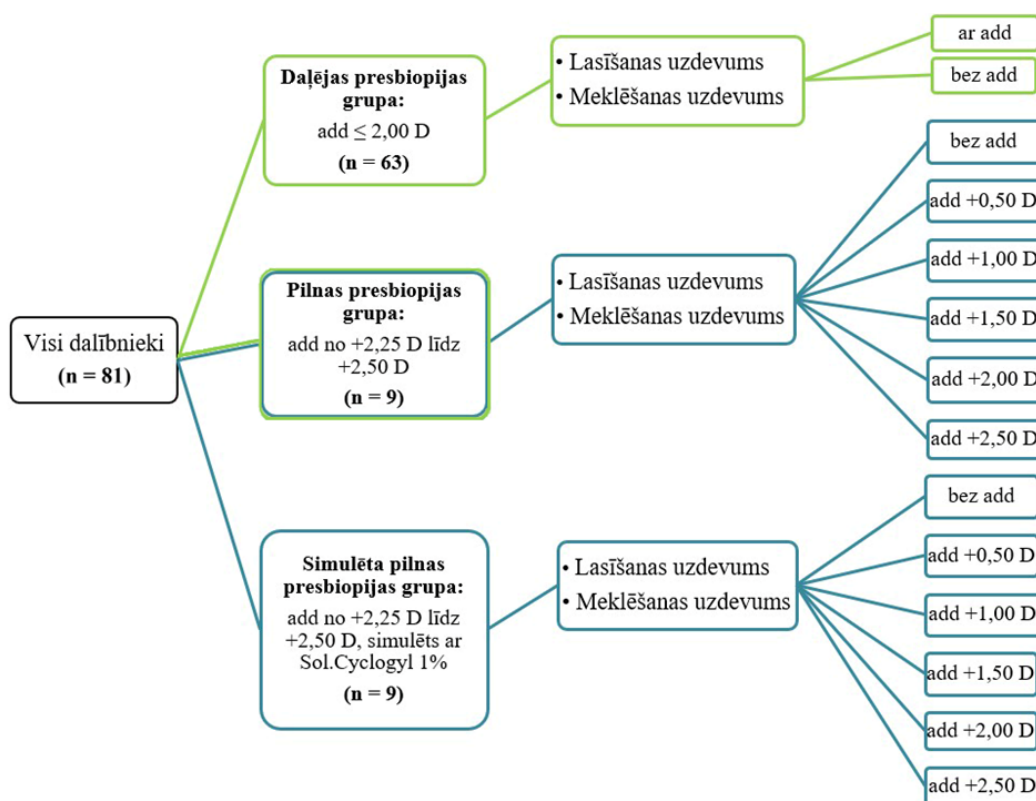
no visiem presbiopijas pacientiem, turklāt globāli 94 % cilvēki ar nekoriģētas presbiopijas izraisītiem būtiskiem redzes traucējumiem dzīvo mazāk attīstītajās vai vismazāk attīstītajās valstīs (Holden et al., 2008). Tai pat laikā attīstītajās valstīs presbiopijas korekcijas metodes un tehnoloģijas attīstās ļoti strauji, šobrīd ir aktuālas individualizēta tipa briļļu lēcas, kas ļauj piemeklēt korekciju ar 0,01 D precizitāti vai pilnībā likvidēt acs augstāko kārtu aberācijas. Esošajā situācijā vairs nav balanss starp klīniskajām metodēm un piedāvātajiem produktiem, jo subjektīvās korekcijas piemeklēšanā redzes speciālists strādā ar 0,25 D soli, bet briļļu lēcas nu jau varam pasūtīt ar 25 reižu smalkāku soli. Jāņem vērā, ka tehnoloģiju attīstība veselības nozarē ir daļa no uzņēmējdarbības un biznesa, tāpēc šajā brīdī ir nepieciešams kritisks izvērtējums, kas ņem vērā arī cilvēka redzes adaptācijas procesus un apmiglojuma uztveres jutību acs optiskā stipruma izmaiņām. Šī pētījuma ietvaros tuvuma darbu veikspējas analizēšanai tika izvēlēti lasīšanas un meklēšanas uzdevumi. Lasīšanas process ir neatņemama ikdienas sastāvdaļa, kas katram indivīdam ļauj iegūt un uztvert informāciju, savukārt, vidējie sagaidāmie lasīšanas procesa parametri tiek izmantoti gan, lai aprēķinātu, cik ilgs laiks nepieciešams konkrētu dokumentu izlasīšanai (Brybaert, 2019), gan arī, lai uzraudzītu skolēnu attīstības prasmju atbilstību vecuma normām (Liu et al., 2016) vai diagnosticētu disleksiju (Callens et al., 2012). Nekoriģētas refraktīvās kļūdas, kas samazina redzes asumu tuvumā, var būtiski samazināt lasīšanas un meklēšanas uzdevuma izpildes laiku, kas tālāk samazina darba produktivitāti un ietekmē indivīda laika menedžmentu. Šī pētījuma **mērķis** bija izvērtēt kā nekoriģēta presbiopija ietekmē tuvuma darbu veikspēju atkarībā no presbiopijas pakāpes, kā arī izlases grupai ar pilnu dabisku un simulētu presbiopiju izvērtēt piemeklētā aditīva precizitātes ietekmi uz tuvuma darbu veikspēju.

3.1.2.2 Uzdevumi

1. Novērtēt aditīva stipruma ietekmi uz lasīšanas ātrumu dažādas pakāpes presbiopijas gadījumos.
2. Novērtēt aditīva stipruma ietekmi uz meklēšanas uzdevuma izpildes ātrumu un precizitāti dažādas pakāpes presbiopijas gadījumos.
3. Salīdzināt dabiskas pilnas un simulētas pilnas presbiopijas lasīšanas ātrumu un meklēšanas uzdevuma izpildi atkarībā no tuvumā piemeklētās korekcijas precizitātes.

3.1.2.3 Dalībnieki

Turpmāk aprakstītajai pētījuma daļai tika piesaistīts kopā 81 dalībnieks (skat. Att. 3.6.) bez diagnosticētām acu patoloģijām vai binokulārās redzes traucējumiem, kam ar katru aci ir iespējams iegūt koriģēto redzes asumu vismaz 1,0 (decimālās vienības) gan tālumā, gan tuvumā (ar *plus build-up* metodi). Vecuma un refrakcijas veida vai lieluma ierobežojumi kā atlasē kritēriji netika definēti. Pētījuma I daļā piedalījās 72 dalībnieki vecumā no 38 līdz 71 (51 ± 8) gadiem ar dažādas pakāpes daļējas presbiopijas lielumu (aditīvs no +0,50 D līdz +2,00 D ar soli 0,25 D), kopā veidojot septiņas daļējas presbiopijas grupas, un vienu dabiskas pilnas presbiopijas grupu (aditīvs $\geq 2,25$ D), kur katrā no grupām bija deviņi dalībnieki. Pētījuma II daļai tika atlasīti 18 dalībnieki, no kuriem puse ($n = 9$) bija piedalījušies arī pētījuma I daļā (dabiska pilna presbiopijas grupa ar vidējo vecumu 66 ± 4 gadi), savukārt, otra puse papildus atlasīti gados jauni dalībnieki ($n = 9$) ar vidējo vecumu 22 ± 3 gadi (simulēta pilnas presbiopijas grupa). Simulēta presbiopija tika panākta medikamentozī (2 pilieni *Sol. Cyclogyl 1 %* labajā acī ar 5 min intervālu), kas radīja īslaicīgu, atgriezenisku akomodācijas paralīzi jeb cikloplēģiju.



Att. 3.6. Shematisks dalībnieku sadalījums grupās, atbilstoši pētījuma dizainam. Pētījuma I daļai atbilstošās šūnas iekrāsotas zaļas, pētījuma II daļai atbilstošās šūnas iekrāsotas zilas.

Pētījums veikts saskaņā ar Helsinku deklarāciju un saskaņots ar LU EKMI (Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta) Zinātniskās izpētes ētikas komisiju. Visi pētījuma dalībnieki parakstīja informētās piekrišanas veidlapu, tādejādi paužot savu piekrišanu dalībai pētījumā.

3.1.2.4 Metode

3.1.2.4.1 Lasīšanas uzdevuma stimulu izveide

Pētījuma ietvaros tika izveidoti 6 dažādi lasīšanas teksti ar līdzvērtīgiem parametriem. Katrs lasīšanas teksts saturēja 20 rindas, kur katra no rindām sastāvēja no 78 ± 2 rakstzīmēm, katrā rindā pa 11 līdz 14 vārdiem, veidojot kopā lasīšanas uzdevuma rindkopu ar vidēji 250 ± 20 vārdiem (skat. Att. 3.7.). Rindkopas teksta platums tika izvēlēts 14,1 cm, lai 40 cm attālumā veidotu 20° grādu leņķi uz tīklenes. Pētījumā, kur bija nepieciešams atrast kļūdas drukātā tekstā (1 kļūda uz katriem 150 vārdiem), tika secināts, ka zemāka kļūdu atrašanas precizitāte ir tad, ja rindkopas izmērs uz tīklenes ir sašaurināts ($<16^\circ$) vai ļoti plats ($>36^\circ$) (Gould & Grischkowsky, 1986).

Ultravioletie stari vispirms sasniedz radzeni. Ja acis no tiem neaizsargā, ilgstošā laika posmā var tikt bojātas radzenes virsējās šūnas un var rasties radzenes apdegums. Šāds starojums palielina arī citu acu slimību risku, kataraktu, kas ievērojami samazina redzes kvalitāti. Lai arī līdz tīklei nonāk pavisam neliels ultravioletais starojums, tomēr ir pierādīts, ka tas ir viens no faktoriem, kas veicina tās bojājumus. Ja skarts tīklenes centrālais punkts, cilvēks vairs nespēs pilnvērtīgi lasīt vai veikt precīzu darbu tuvumā, jo zūd attēla centrālā daļa. Taču no šī kaitīgā starojuma acis iespējams pasargāt, izvēloties drošas brīļu lēcas un saulesbrilles. Īpaši aktuāli varētu būt cilvēkiem, kuri ikdienā lieto optiskās brilles vai kontaktlēcas, tāpēc pirms brīļu izgatavošanas svarīgi noskaidrot, vai to lēcas acis pasargās no ultravioletā starojuma kaitīgās ietekmes. Optiskās brīļu lēcas bloķē lielāko daļu šī starojuma, taču, lai aizsardzība būtu pilnīga, lēcām pieejams speciāls aizsargslānis jeb pārklājums. Savukārt, izvēloties augsta indeksa lēcu materiālu, tas jau nodrošina simts procentu aizsardzību pret ultravioletiem stariem arī bez speciāla pārklājuma. Pērkot saulesbrilles, jāpievērš uzmanība, vai tām ir CE marķējums. Tā ir garantija, ka saulesbrilles atbilst Eiropas Savienības prasībām un nodrošina uzticamu aizsardzību pret īso viļņu, tas ir, viļņu, kuru garums nepārsniedz trīs simtus astoņdesmit nanometrus, ultravioleto starojumu. Lietojot nekvalitatīvas saulesbrilles, kaitējums acīm var būt pat vēl lielāks nekā bez tām. Atrodoties saules staros, acs zīlīte automātiski sašaurinās, lai samazinātu nākošās gaismas daudzumu, kas iekļūst acīs. Uzliekot tumšas brilles, tā izplešas, un kaitīgais starojums vieglāk un vairāk iekļūst acīs nekā, ja saulesbrīļu nebūtu. Tas var radīt nopietnus bojājumus.

Att. 3.7. Lasīšanas uzdevuma rindkopas piemērs

Lasīšanas uzdevums tika veikts kontrolētā 40 cm attālumā, ar teksta fonta veidu *Verdana*, atstarpju retinājums parasts un izmērs 8 pt, kas konkrētajā uzdevuma veikšanas attālumā atbilst redzes asumam 0,3 decimālajās vienībās un ir pielīdzināms ikdienā izmantojamiem lasīšanas tekstiem ar mērenu grūtības pakāpi (skat. Att. 3.8.).

1. Noteikumi nosaka darba aizsardzības prasības, strādājot ar displeju (ievadizvades ierīci, kas ar ekrāna starpniecību dod iespēju vizuālā veidā ievadīt datorā un izvadīt no tā tekstu un dažādu veidu grafisku informāciju).

(a)

1. Iestādes nosaukums/personas vārds, uzvārds un adrese, kam paredzēts izraksts

(b)

Att. 3.8. Piemēri ar ikdienā sastopamiem mērenas grūtības pakāpes uzdevumiem, kur izmantoto burtu lielums atbilst redzes asumam 0,3 (decimālās vienībās): (a) fragments no MK noteikumiem Nr. 343, (b) fragments no pacienta ambulatorās medicīniskās kartes MK Nr.265 12. pielikums

Lasīšanas uzdevuma teksta saturs tika izvēlēts saistībā ar informāciju par redzi un saturēja salīdzinoši daudz sarežģītus un garus vārdus. Pēc LIX formulas (skat. vienādojums 3.4.), teksta sarežģītības pakāpe tika noteikta no 60 līdz 65 punktiem, kas atbilst kategorijai sarežģīts teksts.

$$LIX = \left(\frac{lwrđ}{nwrđ}\right) * 100 + \left(\frac{nwrđ}{nsnt}\right) \quad (3.4.)$$

kur *lwrđ* – garo vārdu skaits (> 6 burti), *nwrđ* – kopējo vārdu skaits, *nsnt* – teikumu skaits.

Dalībnieki tika instruēti lasīt doto tekstu dabiskā tempā, pēc iespējas raiti un bez kļūdām līdz pētījuma vadītājs lūgs pārtraukt lasīšanu. Katrā aditīva situācijā lasīšanas uzdevums tika veikts 30 sekundes un dokumentēts tika izlasīto vārdu daudzums no kā tālāk tika aprēķināts lasīšanas ātrums vārdi/minūtē (v/min):

$$\text{Lasīšanas ātrums} = \text{vārdi} * 2 \quad (3.5.)$$

kur *Lasīšanas ātrums* – lasīšanas ātrums (v/min), *vārdi* – izlasīto vārdu skaits 30 sekunžu laikā.

3.1.2.4.2 Meklēšanas uzdevuma stimulu izveide

Tika izveidoti 12 dažādi meklēšanas uzdevuma varianti, kur katrs sastāvēja no divām rindiņām, kas ņemtas no lasīšanas teksta, kurā visi patskaņi ir aizstāti ar līdzskaņiem (skat. Att. 3.9.). Konkrētā meklēšanas uzdevuma dizaina ideja tika aizgūta no *Seassau & Bucci* (2013) pētījuma. Meklēšanas uzdevuma tekstam tika izmantoti tādi paši parametri kā lasīšanas uzdevumā (fonta veids *Verdana*, fonta izmērs 8 pt, atstarpe regulāra). Katrā no meklēšanas uzdevumiem tika ievietoti 9 līdz 11 burti “r” un pētījuma dalībnieku uzdevums bija sameklēt

un izskaitīt, cik burti “r” meklēšanas uzdevumā atrodami. Katrā aditīva situācijā uzdevums tika atkārtots trīs reizes (mainot uzdevuma variantu). No veiktajiem trīs mērījumiem katrā aditīva situācijā, tika dokumentēts vidējais uzdevuma izpildes laiks un vidējais pareizi atrasto burtu skaits, kas vēlāk rezultātu analīzē tiks izteikts kā procentuāli pareizi atrastie burti, kas raksturo meklēšanas uzdevuma veikšanas precizitāti.

ptlsdlfng hrj cktl zcc slvmbbn rmskm, kttprsktd, kfs ghvjrjkml szmzczvnb rndzms kvltptstd.
Lfg hrj lkdz tlklzncv nbrnk pmvmstm nplsdls fltrgvjklztcvs stbrnjmms, ttmpr sr pdfrgdhts, kj

Att. 3.9. Meklēšanas uzdevuma piemērs.

3.1.2.4.3 Pētījuma dizains

Pētījums tika veikts optometrista kabinetā ar standarta aprīkojumu, konstantos 470 lx (*Konica Minolta T-10*) apgaismojuma apstākļos. Gan lasīšanas, gan meklēšanas uzdevuma veikšanas laiks tika uzņemts izmantojot hronometru ar precizitāti līdz sekundes simtdaļām. Simulētas presbiopijas grupai zīlītes izmērs tika mērīts ar lineālu līdz 1 mm precizitātei. Pirms lasīšanas un meklēšanas uzdevuma veikšanas tika dokumentēts dalībnieka vecums un veikta pilna redzes pārbaude tālumā. Pēc tās tika veikts tuvuma funkciju novērtējums, tai skaitā aditīva piemeklēšana ar *plus build-up* metodi un aditīva precizēšana ar $\pm 0,25$ D metodi līdz tiek iegūts labākais redzes asums tuvumā – vismaz 1,0 (decimālajās vienībās). Gan pilna dabiskas, gan simulētas presbiopijas grupām tika novērtēts zīlītes izmērs (mm) dabiskos apstākļos un simulētas presbiopijas grupai uzreiz pēc tam labajā acī tika iepilināti 2 pilieni *Sol. Cyclogyl 1 %* ar 5 min intervālu un pēc 25 minūtēm tika veikta pilna redzes pārbaude tālumā, pēc kuras sekoja aditīva piemeklēšana ar *plus build-up* metodi un $\pm 0,25$ D precizēšanu. Tālākā pētījuma gaita I un II pētījuma daļā atšķīrās:

I daļa:

Daļējas presbiopijas grupai lasīšanas (1x) un meklēšanas uzdevums (3x) bija jāveic divās situācijās – ar un bez aditīva (skat. Att. 3.6.), tādējādi sniedzot informāciju par to, kā presbiopijas korekcija ietekmē tuvuma darbu izpildes veikspēju.

II daļa:

Pilnas dabiskas un simulētas presbiopijas grupām lasīšanas (1x) un meklēšanas (3x) uzdevums bija jāveic sešās situācijās – ar piemeklēto pilno aditīvu, ar +2,00 D, ar +1,50 D, ar +1,00 D, ar +0,50 D aditīvu un bez aditīva (skat. Att. 3.6.), tādējādi sniedzot informāciju par presbiopijas korekcijas precizitātes ietekmi uz tuvuma darbu izpildes veikspēju. Pilnas

dabiskas presbiopijas grupa uzdevumus veica binokulāros apstākļos. Simulētas presbiopijas grupa visus uzdevumus (izņemot bez aditīva situācijā) veica monokulāri ar probes ietvarā ievietotu apertūru, kuras izmērs (no 3 mm līdz 6 mm) tika pielāgots pirms cikloplēģijas nomērītajam dabiskajam zīlītes izmēram. No visiem simulētas presbiopijas grupas dalībniekiem, 56 % dalībniekiem tika izmantota 4 mm apertūra un 44 % dalībniekiem 5 mm apertūra.

3.1.2.4.4 Datu statistiskās apstrādes metodes

Datu statistiskā analīze tika veikta ar programmām *SPSS Statistics 22.0* un *R - 3.5.1*. Datu vizualizācijai tika izmantota *SPSS Statistics 22.0* un *MS Excel* datu apstrādes programmas. Ja meklēšanas uzdevumā bez aditīva pareizi atrasto burtu skaits bija ≤ 35 % ($n = 4$), tad šo dalībnieku dati tika uzskatīti par ekstrēmām vērtībām un meklēšanas uzdevuma datu analīzē netika iekļauti, jo atradās tālāk par *Q3* (trešo kvartili), kas raksturo 75 % no visiem novērojumiem. Visi šie ekstrēmo vērtību gadījumi bija tādi, kur precizitātes līmenis bija īpaši zems, salīdzinot ar pārējiem dalībniekiem. Kopā no meklēšanas uzdevuma datu analīzes tika izslēgti 4 dalībnieki, no kuriem divi bija no grupas ar aditīvu 2,00 D un divi no grupas ar aditīvu $\geq 2,25$ D.

Pēc ekstrēmālo vērtību izņemšanas, mērījumu datu normālsadalījums tika pārbaudīts ar *Šapiro-Vilka* testu, kur nulles hipotēze par to, ka iegūtais sadalījums būtiski neatšķiras no normālsadalījuma tiek noraidīts, ja $p < 0,05$. Meklēšanas uzdevuma iegūtie dati par meklēšanas laiku un precizitāti (pareizi atrasto burtu procentuālo daudzumu) gan ar, gan bez aditīva neatbilda normālsadalījumam (pareizi atrasto burtu % daudzums bez aditīva $p = 0,029$, pārējiem $p \leq 0,001$), izņemot meklēšanas laika procentuālo samazinājums ar aditīvu, kur $p = 0,075$ un attiecīgi atbilst normālsadalījumam. Lasīšanas ātrums bez aditīva un ar aditīvu atbilda normālsadalījumam ($p = 0,49$ un $p = 0,64$), bet lasīšanas ātruma pieaugums *Šapiro-Vilka* testa nulles hipotēzi noraidīja ($p < 0,001$). Gadījumos, kad iegūtie dati neatbilda normālsadalījumam, tika izmantoti neparametriskie statistikas testi (neatkarīgām izlasēm: *Kruskala-Valisa* vienfaktora dispersijas ANOVA tests), savukārt, gadījumos, kad iegūtie dati atbilda normālsadalījumam tika izmantoti parametriskie (*Velča* ANOVA jeb *Welch's* ANOVA) statistiskās apstrādes testi. Šī pētījuma II daļas gadījumā *Šapiro-Vilka* tests datu normalitātes pārbaudīšanai tika veikts dabiskai un simulētai presbiopijas grupām kopā. Ja vismaz vienā no

aditīva stipruma kategorijām nulles hipotēze par to, ka iegūtais sadalījums būtiski neatšķiras no normālsadalījuma tika noraidīta, tad tika pieņemts, ka konkrētā parametra rezultāti neatbilst normālsadalījumam. Šāda situācija tika novērota parametriem meklēšanas laiks ($p < 0,05$) un meklēšanas precizitāte ($p < 0,05$). Parametru lasīšanas ātrums ($p > 0,05$), lasīšanas ātruma procentuālais pieaugums ($p > 0,05$) un meklēšanas laika procentuālais pieaugums ($p > 0,05$) dati atbilst normālsadalījumam. Lai salīdzinātu dabiskas pilnas presbiopijas grupas rezultātus ar simulētas presbiopijas grupas rezultātiem tika izmantota neatkarīgu izlašu salīdzināšana ar *Manna-Vitnija U-testu*. Lai noteiktu aditīva precizitātes ietekmi uz lasīšanas un meklēšanas uzdevumu veikspēju, tika veikts *Frīdmana tests* atkarīgām izlasēm.

3.1.2.5 Rezultāti

I daļa: lasīšanas uzdevums

Lai izvērtētu presbiopijas pakāpes (aditīva stipruma) ietekmi uz lasīšanas ātruma izmaiņām, tika veikta vienfaktora dispersijas analīze ANOVA (*one-way analysis of variance*). Vidējais lasīšanas ātrums \pm SD visu presbiopijas pakāpju dalībniekiem kopā ($n = 72$) bez aditīva (94 ± 24 v/min) bija par 22 ± 23 v/min zemāks nekā ar aditīvu (117 ± 15 v/min), ļaujot secināt, ka aditīvs būtiski uzlabo lasīšanas ātrumu ($F(1,142)=44,31$, $p > 0,001$). Zinot, ka dalībniekiem ar lielāku aditīva stiprumu sagaidāmais redzes asums bez aditīva būs zemāks, ir nepieciešama detalizētāka analīze, kas ļautu izvērtēt tieši presbiopijas pakāpes ietekmi uz lasīšanas ātruma izmaiņām. Koriģētas presbiopijas gadījumā (situācija ar aditīvu) netika novērotas statistiski nozīmīgas izmaiņas lasīšanas ātrumā atkarībā no aditīva stipruma ($F(7,64)=1,374$, $p = 0,232$), kas ļauj secināt, ka koriģētas presbiopijas gadījumā, laba redzes asuma apstākļos, lasīšanas ātrums ir līdzvērtīgs visām dabiskas presbiopijas pakāpes grupām. Ja lasīšanas uzdevums tiek veikts bez aditīva, tad presbiopijas pakāpei jeb aditīva stiprumam ir būtiska ietekme uz lasīšanas ātrumu ($F(7,64)=13,36$, $p < 0,001$), turklāt nozīmīgs ir arī abu faktoru (aditīva stiprums un ar/bez aditīva) mijiedarbības efekts ($F(7,64)=15,273$, $p < 0,001$) iegūtā lasīšanas ātruma analīzē, kas liecina par to, ka atšķirība starp lasīšanas ātrumu ar un bez aditīva atšķirsies dažādu presbiopijas pakāpju gadījumos. Lai detalizētāk izvērtētu aditīva stipruma ietekmi uz lasīšanas ātrumu ar un bez aditīva (Tabula 3.8), tika veikts salīdzinājums katrā no aditīva grupām, pa pāriem salīdzinot lasīšanas ātrumu ar un bez aditīva pie katra no aditīva stiprumiem. Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, tika nodefinētas divas jaunas aditīva stipruma grupas – aditīvs $\leq 1,00$ D un $> 1,00$ D un izmantota savstarpēji atkarīgu izlašu

vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Paired-Samples*, lai noteiktu atšķirību ar un bez aditīva. Savukārt, savstarpēji neatkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Independent-Samples* tika izmantota, lai salīdzinātu lasīšanas ātruma rezultātus bez aditīva jauno definēto aditīva stiprumu grupu ietvaros. Dalībniekiem ar presbiopijas pakāpi, kur nepieciešamais aditīvs ir $>1,00$ D novērojams būtiski augstāks lasīšanas ātrums ar aditīvu (112 ± 17 v/min) nekā bez aditīva (83 ± 21 v/min) ($t(70)=5,946$, $p < 0,001$), savukārt, ja presbiopijas pakāpe ir salīdzinoši zema un aditīvs ir $\leq 1,00$ D, tad lasīšanas ātrums ar un bez aditīva nav būtiski atšķirīgi ($t(70)=0,097$, $p = 0,923$).

Tabula 3.8.

Aprakstošās statistikas dati lasīšanas ātrumam bez un ar aditīvu, atkarībā no aditīva lieluma. *Koena d* vērtība netieši raksturo novērotā lasīšanas ātruma izmaiņu efekta lielumu.

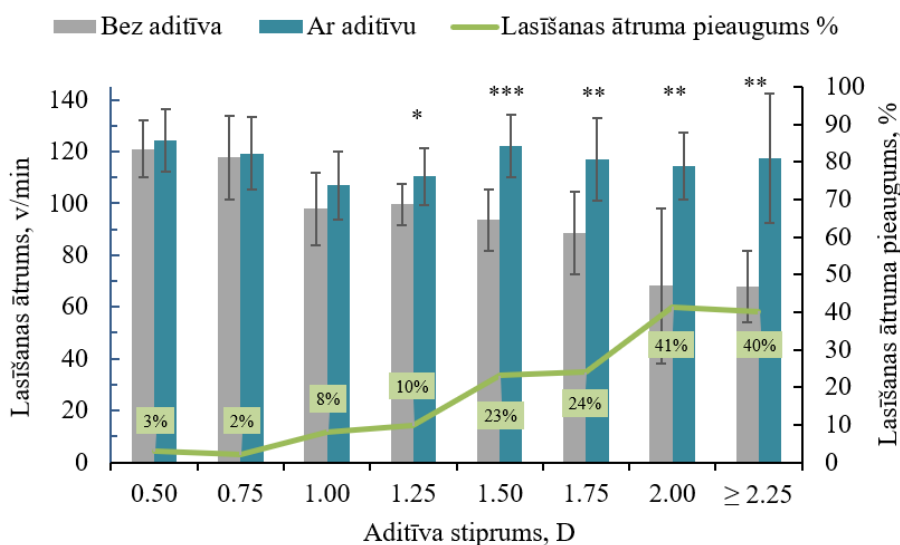
Aditīva lieluma grupas		Lasīšanas ātrums, v/min \pm SD	Koena <i>d</i> vērtība	95 % Ticamības intervāls		<i>p</i> vērtība
				Zemākā robeža	Augstākā robeža	
0,50 D (n = 9)	bez add	121 \pm 11	0,31	110	132	0,518
	ar add	124 \pm 12		114	134	
0,75 D (n = 9)	bez add	118 \pm 16	0,10	107	129	0,829
	ar add	119 \pm 14		109	129	
1,00 D (n = 9)	bez add	98 \pm 14	0,67	87	109	0,183
	ar add	107 \pm 13		97	117	
1,25 D (n = 9)	bez add	100 \pm 8	1,13	89	110	0,033
	ar add	110 \pm 11		100	120	
1,50 D (n = 9)	bez add	94 \pm 12	2,39	83	104	<0,001
	ar add	122 \pm 12		112	132	
1,75 D (n = 9)	bez add	88 \pm 16	1,78	78	99	0,001
	ar add	117 \pm 16		107	127	
2,00 D (n = 9)	bez add	68 \pm 30	2,00	57	79	0,001
	ar add	114 \pm 13		104	124	
$\geq 2,25$ D (n = 9)	bez add	68 \pm 14	2,44	56	79	0,001
	ar add	117 \pm 25		107	128	
Visi kopā (n = 72)	bez add	94 \pm 24	1,15	88	100	< 0,001
	ar add	117 \pm 15		113	120	

Lai salīdzinātu efekta lielumu tika aprēķināta Koena (*Cohen*) *d* vērtība (Kim, 2015), kas pēc būtības raksturo, cik standartdeviāciju apmērā konkrētās vērtības atšķiras. Koena *d* vērtība tika aprēķināta sekojoši:

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}}} \quad (3.6.)$$

kur x_1 un x_2 ir lasīšanas ātruma vidējās vērtības bez un ar aditīvu, s_1 un s_2 ir šo vidējo vērtību standartdeviācija.

Par Koena *d* vērtības nozīmīguma iedalījumu dabaszinātnēs pieņemts sekojošais: līdz 0,2 (mazs), līdz 0,5 (vidējs), līdz 0,8 (liels), virs 0,8 (ļoti liels). Vērojama cieša pozitīva sakarība ($r = 0,91$, $p < 0,01$) starp aditīva lielumu un Koena *d* vērtību, kas ļauj secināt, ka augstākas presbiopijas pakāpes gadījumā, lasīšanas ātrums bez tuvuma korekcijas tiks ietekmēts spēcīgāk.

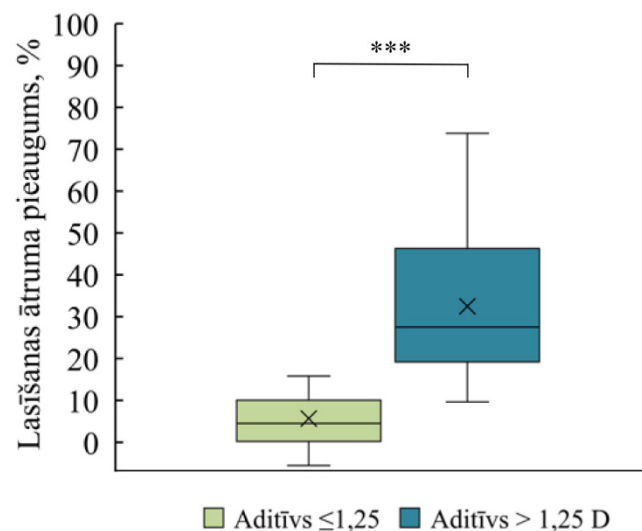


Att. 3.10. Dabiskas presbiopijas lasīšanas ātruma izmaiņas ar un bez aditīva, atkarībā no presbiopijas pakāpes. Stabiņu diagrammas pelēkā krāsā raksturo vidējo konkrētā aditīva grupas lasīšanas ātrumu (v/min ± SD) bez aditīva, savukārt, zilās krāsas stabiņu diagrammas raksturo vidējo lasīšanas ātrumu ar aditīvu. Vidējais lasīšanas ātruma pieaugums (%) attēlots ar zaļo krāsu un raksturo starpību starp lasīšanas ātrumu ar aditīvu un lasīšanas ātrumu bez aditīva, izteiktu procentuāli. Būtiskuma līmenis, kas parāda atšķirības starp lasīšanas ātrumu ar aditīvu un bez aditīva, apzīmēts ar * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ un *** $p < 0,001$.

Pīrsona korelācija starp lasīšanas ātrumu ar aditīvu un bez aditīva ir mēreni cieša $r = 0,4$ ($p < 0,01$), kas liecina par nelielu individuālā lasīšanas tempa ietekmi uz lasīšanas ātrumu kā tādu, kas izpaužas neatkarīgi no tā vai aditīvs tiek vai netiek lietots. Papildus lasīšanas ātrumam tika nodefinēts parametrs procentuālais lasīšanas ātruma pieaugums, kas tika aprēķināts kā

starpība starp lasīšanas ātrumu ar aditīvu un bez aditīva, pieņemot, ka ar aditīvu tiek iegūts katra indivīda labākais rezultāts jeb 100 % lasīšanas ātrums. Lai noteiktu atšķirības starp lasīšanas ātruma pieauguma lielumu starp aditīva grupām tika izmantots *Kruskala-Valisa* vienfaktora dispersijas ANOVA tests savstarpēji neatkarīgām izlasēm, kas parādīja nozīmīgu atšķirību lasīšanas ātruma pieaugumā atkarībā no aditīva grupas ($\chi^2(7)=50,77, p < 0,001$). Vairāku izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Pairwise Comparisons* parāda, ka procentuālais lasīšanas ātruma pieaugums aditīvam no 0,50 D līdz 1,25 D nebija būtiski atšķirīgs ($p > 0,05$), tā pat kā aditīvam no 1,50 D līdz 2,50 D ($p > 0,05$), kas ļauj sadalīt iegūtos lasīšanas ātruma procentuālā pieauguma datus lielākās grupās, proti, ja aditīvs ir $\leq 1,25$ D vai $> 1,25$ D.

Jauno definēto aditīva stiprumu grupu ietvaros (skat. Att. 3.11.) tika veikta savstarpēji neatkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Independent-Samples*, lai salīdzinātu lasīšanas ātruma procentuālā pieauguma atšķirības atkarībā no aditīva stipruma. Salīdzinoši zemas pakāpes presbiopijas gadījumā, ar aditīvu $\leq 1,25$ D sagaidāms zemāks vidējais lasīšanas ātruma uzlabojums ar tuvuma korekciju 6 ± 7 % (max 29 %), nekā, ja aditīvs ir $> 1,25$ D, kur vidējais lasīšanas ātruma uzlabojums gaidāms būtiski augstāks 33 ± 17 % (max 74 %) ($t(70) = -8,651, p < 0,001$).



Att. 3.11. Procentuālais lasīšanas ātruma pieaugums (starpība starp lasīšanas ātrumu ar aditīvu un bez aditīva) dabiskas presbiopijas dalībniekiem ar aditīvu $\leq 1,25$ D un dalībniekiem ar aditīvu $> 1,25$ D. Kastveida diagrammas malas nosaka pirmā un trešā kvartile, horizontālā līnija attēlo mediānu, x attēlo vidējo vērtību un papildlīnijas attēlo minimālo un maksimālo vērtību. Būtiskuma līmenis apzīmēts ar $***p < 0,001$.

I daļa: meklēšanas uzdevums

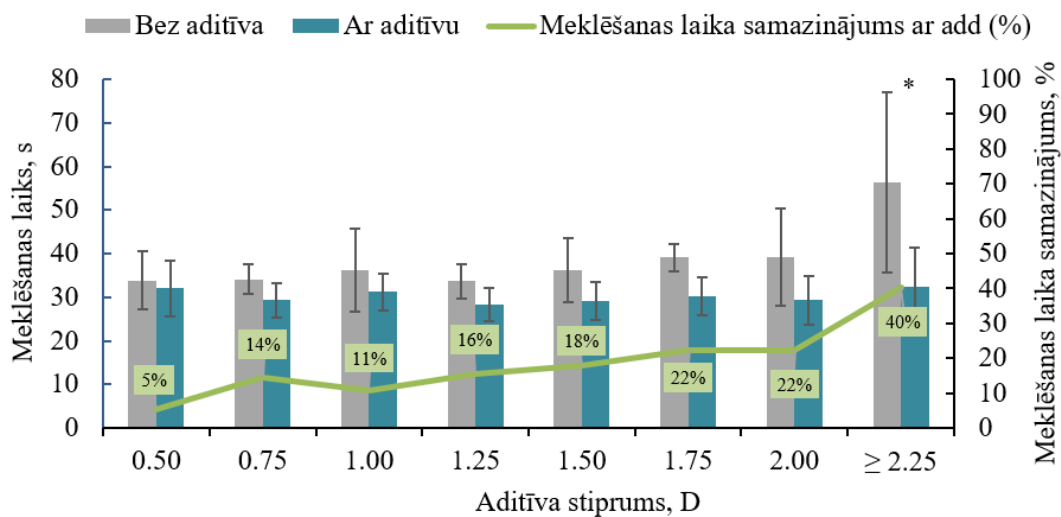
Vidējais meklēšanas uzdevuma izpildes laiks \pm SD ar aditīvu ir 30 ± 5 sekundes neatkarīgi no aditīva stipruma ($F(7, 27,337)=0,599, p = 0,751$, *Velča* ANOVA). Savukārt, ja aditīvs netiek lietots, tad vidējais meklēšanas uzdevuma izpildes laiks ir būtiski ilgāks 39 ± 12 sekundes ($F(1,144)=30,695, p < 0,001$). Presbiopijas pakāpei jeb aditīva stiprumam nav būtiska ietekme uz meklēšanas uzdevuma izpildes ātrumu bez aditīva ($p > 0,05$, *post hoc Games-Howell*) (skat. Tabula 3.9.).

Tabula 3.9.

Meklēšanas laiks ar un bez aditīva dažādiem aditīva stipriem.

Aditīva lieluma grupas		Meklēšanas laiks \pm SD, s	95 % Ticamības intervāls	
			Zemākā robeža	Augstākā robeža
0,50 D	bez add	34 ± 7	29	39
	ar add	32 ± 6	27	37
0,75 D	bez add	34 ± 4	31	37
	ar add	29 ± 4	26	32
1,00 D	bez add	36 ± 9	29	44
	ar add	31 ± 4	28	34
1,25 D	bez add	34 ± 4	30	37
	ar add	28 ± 4	25	31
1,50 D	bez add	36 ± 7	31	42
	ar add	29 ± 4	26	32
1,75 D	bez add	39 ± 3	37	42
	ar add	30 ± 4	27	33
2,00 D	bez add	39 ± 11	31	48
	ar add	29 ± 6	25	34
$\geq 2,25$ D	bez add	56 ± 21	41	72
	ar add	32 ± 9	25	39
Kopā	bez add	39 ± 12	36	41
	ar add	30 ± 5	29	31

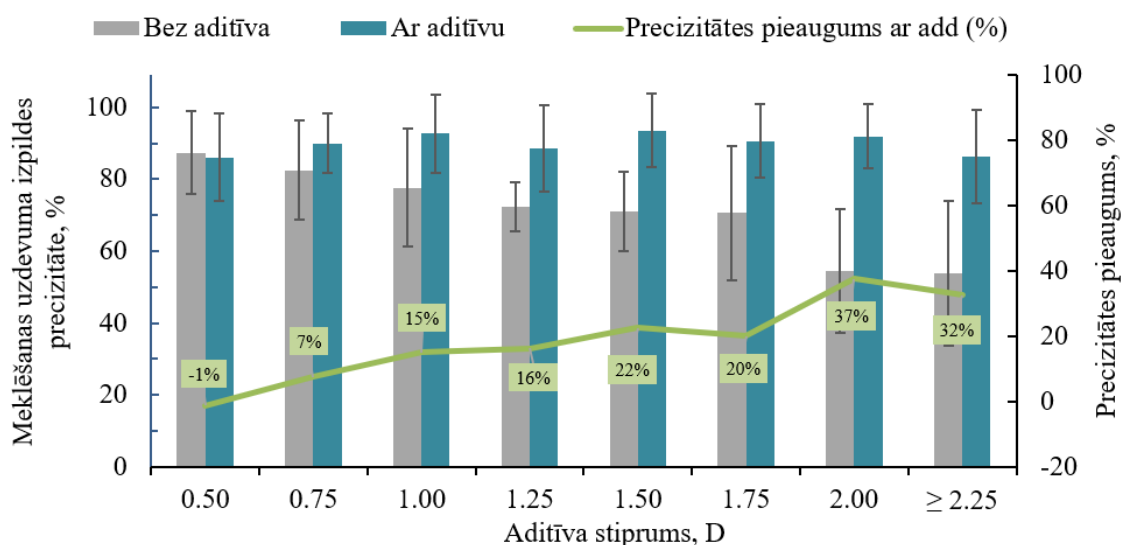
Lai labāk raksturotu katra aditīva lieluma grupas rezultātu atšķirību ar un bez aditīva tika izveidots trešais parametrs – meklēšanas laika procentuālais samazinājums ar aditīvu (skat. Att. 3.12.), kas ir procentuāli izteikta starpība starp meklēšanas uzdevuma veikšanas laiku ar aditīvu un bez aditīva, pieņemot, ka ar aditīvu tiek iegūts katra indivīda labākais rezultāts jeb 100 % meklēšanas uzdevuma laiks. Tika veikta vienfaktora dispersijas analīze ANOVA, kas parādīja, ka meklēšanas laika procentuālā samazinājuma apjoms ir būtiski atkarīgs no aditīva lieluma ($F(7,64)=7,28, p < 0,001$) un kopējais nozīmības līmenis pēc *Bonferroni* metodes ļauj precizēt, ka statistiski nozīmīgi meklēšanas laika procentuālais samazinājums tiek ietekmēts tikai, ja aditīvs ir $\geq 2,25$ D ($p < 0,05$).



Att. 3.12. Dabiskas pilnas presbiopijas grupas meklēšanas uzdevuma izpildes ātrums ar un bez aditīva, atkarībā no presbiopijas pakāpes jeb aditīva stipruma. Stabiņu diagrammas pelēkā krāsā raksturo vidējo konkrētā aditīva grupas meklēšanas laiku (s) bez aditīva, savukārt, zilās krāsas stabiņu diagrammas raksturo vidējo meklēšanas laiku (s) ar aditīvu. Meklēšanas laika samazinājums ar add (%) attēlots ar zaļu līkni un raksturo procentuālo meklēšanas laika uzlabošanos jeb laika samazināšanos tad, ja aditīvs tiek lietots. Piemēram, 40 % raksturo situāciju, kad bez aditīva meklēšanas laiks ir 60 % ($100\% - 40\%$) un uzliekot aditīvu tas palielinās par 40 %. Būtiskuma līmenis, kas parāda atšķirības starp meklēšanas laiku ar aditīvu un bez aditīva apzīmēts ar $*p < 0,05$.

Lai detalizētāk izvērtētu meklēšanas uzdevuma veikspēju nepietiek tikai ar meklēšanas laika novērtējumu, jo ir svarīga arī uzdevuma izpildes precizitāte jeb cik daudz no visiem meklēšanas uzdevumā esošajiem burtiem tika atrasti pareizi (skat. Att. 3.13.). Ja tiek salīdzinātas visas aditīva stipruma grupas kopā, tad būtiski precīzāki meklēšanas uzdevuma rezultāti iegūti ar aditīvu ($90 \pm 11\%$) salīdzinājumā ar situāciju bez aditīva ($72 \pm 18\%$) ($F(1,138)=52,157, p < 0,001$). Savukārt, ja salīdzinām aditīva stipruma grupas ietekmi uz rezultātiem, tad tā ir nebūtiska, ja meklēšanas uzdevums tiek veikts ar aditīvu ($p = 0,807$), un

būtiska, ja uzdevumu veic bez aditīva ($\chi^2(7)=22,99, p = 0,002, Kruskala-Valisa tests$). Tas ļauj secināt, ka, ja aditīvs netiek lietots, tad uzdevumu neprecīzāk veiks tie dalībnieki, kuriem ir lielāks aditīvs. Lai noteiktu, cik lielam jābūt aditīvam, lai tas nozīmīgi ietekmētu meklēšanas uzdevuma precizitāti tika analizēts parametrs meklēšanas precizitātes pieaugums ar aditīvu. Precizitātes pieaugums tika iegūts atņemot precizitāti, kas iegūta ar aditīvu, no precizitātes, kas iegūta bez aditīva. Šis parametrs raksturo procentuālo precizitātes pieaugumu, ja aditīvs tiek lietots, pieņemot, ka ar aditīvu katrs indivīds sasniedz 100 % jeb savu labāko iespējamo rezultātu.



Att. 3.13. Meklēšanas uzdevuma izpildes precizitāte un precizitātes pieaugums, ja aditīvs tiek lietots, atkarībā no aditīva stipruma. Stabiņu diagrammas pelēkā krāsā raksturo vidējo konkrētā aditīva stipruma grupas precizitāti (%) \pm SD bez aditīva, savukārt, zilās krāsas stabiņu diagrammas raksturo vidējo grupas precizitāti (%) \pm SD ar aditīvu. Precizitātes pieaugums (%) attēlots ar zaļu līkni un raksturo procentuālo meklēšanas uzdevuma veikšanas precizitātes uzlabošanos, ja aditīvs tiek lietots.

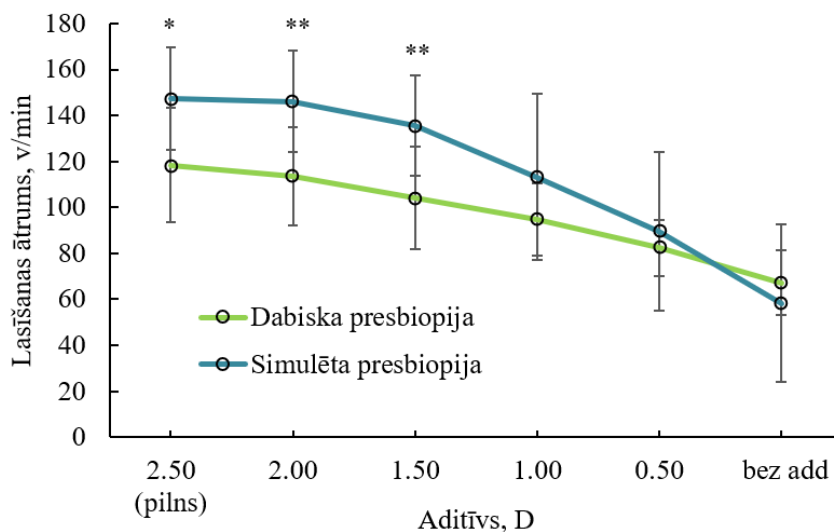
Kruskala-Valisa testa vairāku izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Pairwise Comparisons* salīdzinājums, ļāva atlasīt potenciāli līdzvērtīgās grupas, lai atrastu, pie kura aditīva stipruma precizitātes pieaugums atšķiras starp aditīva stipruma grupām. Meklēšanas uzdevuma precizitāte bija līdzvērtīga aditīvam no 0,50 D līdz 1,75 D ($p > 0,05$) un aditīvam no 1,75 D līdz 2,50 D ($p > 0,05$), kas ļauj sadalīt datus lielākās grupās, proti, ja aditīvs ir $\leq 1,75$ D vai $> 1,75$ D. Atkārtojot vēlreiz *Kruskala-Valisa* vienfaktora dispersijas ANOVA testu savstarpēji neatkarīgām izlasēm, rezultāti parāda, ka zemas un vidējas pakāpes presbiopijas gadījumos (aditīvs $\leq 1,75$ D) tika novērots būtiski zemāks precizitātes pieaugums

(13 ± 13 % (max 43 %)), salīdzinot, ar augstas pakāpes presbiopijas grupu (aditīvs $>1,75$ D), kur vidējais precizitātes pieaugums bija 38 ± 18 % (max 62 %) ($\chi^2(1)=17,499, p < 0,001$).

Tika iegūta vāja, negatīva saistība $r = -0,3$ starp meklēšanas laiku un precizitāti ($p = 0,022$, *Pīrsona* korelācija) veicot uzdevumu bez aditīva, savukārt, veicot uzdevumu ar aditīvu saistība starp meklēšanas laiku un precizitāti netika novērota ($p = 0,31$).

II daļa: lasīšanas uzdevums

Lai novērtētu, kā samazinās lasīšanas ātrums atkarībā no tā, cik liela daļa no pilnā aditīva tiek izkorigēta, lasīšanas uzdevums tika atkārtots 6 reizes un katrā reizē dalībnieku aditīva stiprums tika samazināts par 0,50 D līdz uzdevuma beigās dalībnieki lasīja tekstu bez tuvuma korekcijas.



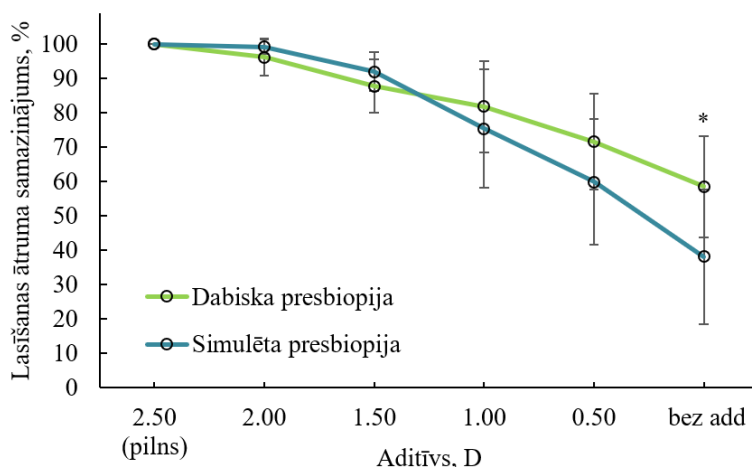
Att. 3.14. Lasīšanas ātruma (v/min \pm SD) izmaiņas atkarībā no izmantotā aditīva stipruma dabiskas (zaļā līkne) un simulētas (zilā līkne) presbiopijas gadījumā. Būtiskuma līmenis, kas parāda atšķirības starp dabiskas un simulētas presbiopijas grupām apzīmēts ar * $p < 0,05$ un ** $p < 0,01$.

Gan dabiskas, gan simulētas presbiopijas gadījumā ir būtiska saistība starp lasīšanas ātrumu un piemeklētā aditīva precizitāti ($r = -0,67, p < 0,01$). *Pīrsona* korelācijas rezultāti parāda ciešu, negatīvu saistību, kas parāda, ka samazinoties piemeklētā aditīva precizitātei (lielumam) lasīšanas ātrums būtiski krītas.

Vienfaktora dispersijas analīze ar atkārtojumiem ANOVA (*one-way repeated measures ANOVA*) parāda, ka salīdzinoši precīzi koriģētas presbiopijas gadījumos, kad aditīvs ir $\geq 1,50$ D, simulētas presbiopijas grupas dalībnieku lasīšanas ātrums ir būtiski augstāks. Piemēram, ideālos apstākļos, kad aditīvs ir pilnībā koriģēts, simulētas presbiopijas grupas lasīšanas ātrums

(147 ± 8 v/min) ir būtiski augstāks nekā dabiskas presbiopijas lasīšanas ātrums (118 ± 8 v/min) ($F(1,16)=6,707, p = 0,02$). Pēdējais aditīva stiprums, pie kura šī sakarība vēl izpildās ir 1,50 D, kur simulētas presbiopijas grupas lasīšanas ātrums (135 ± 7 v/min) ir būtiski augstāks nekā dabiskas presbiopijas lasīšanas ātrums (104 ± 7 v/min) ($F(1,16)=8,99, p = 0,009$). Ja izkoriģētais aditīvs ir $<1,50$ D, tad abas grupas uzdevumu izpilda vienlīdz vāji ($p > 0,1$).

Lai izvērtētu presbiopijas korekcijas precizitātes ietekmi neatkarīgi no sākotnējā lasīšanas ātruma, kas dabiskas un simulētas presbiopijas grupās bija būtiski atšķirīgi, tika analizēts arī lasīšanas ātruma procentuālais samazinājums pie katra no aditīva soļiem (skat. Att. 3.15.), pieņemot, ka katra indivīda labākais jeb 100 % lasīšanas ātrums ir tad, kad ir pilnībā izkoriģēta presbiopija (aditīvs 2,50 D). Šādā perspektīvā tiek novērota cieša, negatīva saistība starp lasīšanas ātruma procentuālo samazinājumu un aditīva lielumu ($r = -0,8, p < 0,001$, *Pīrsona* korelācija). Lai izvērtētu aditīva stipruma jeb presbiopijas korekcijas precizitātes ietekmi uz lasīšanas ātruma procentuālo samazināšanos tika veikts *Frīdmana tests* atkarīgu izlašu salīdzināšanai ar *post hoc Vilkoksona testu*. Veiktā analīze parāda, ka neatkarīgi no tā vai dalībnieki bija no dabiskas vai simulētas presbiopijas grupas, katrs neizkoriģētais 0,50 D solis ($p \leq 0,05$) būtiski palielināja lasīšanas ātruma procentuālo samazināšanos ($p < 0,05$). Ja tiek pieņemts, ka vidējais lasīšanas ātruma līmenis pilnībā koriģētas presbiopijas gadījumā ir 100 %, tad pie aditīva 1,00 D lasīšanas ātrums sarūk par aptuveni ceturtdaļu (79 ± 15 %, $Z = -3,727, p < 0,001$).

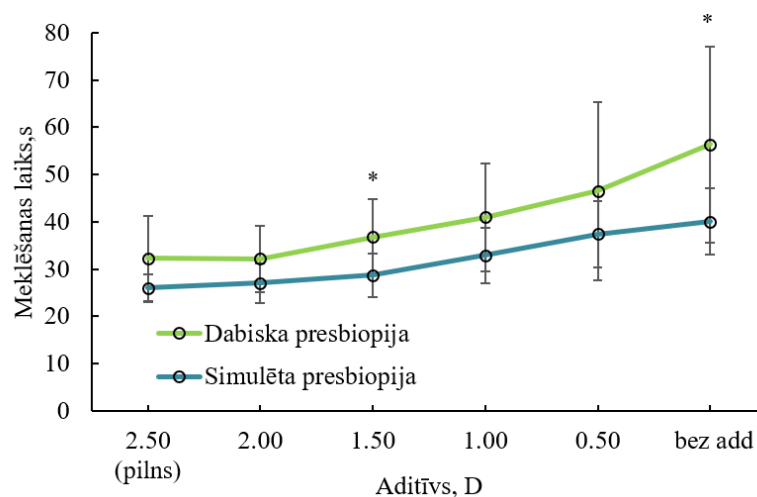


Att. 3.15. Lasīšanas ātruma vidējais procentuālais samazinājums \pm SD atkarībā no aditīva dabiskas (zaļā līkne) un simulētas (zilā līkne) presbiopijas gadījumos. Būtiskuma līmenis, kas parāda atšķirības starp dabiskas un simulētas presbiopijas grupām apzīmēts ar * $p < 0,05$.

Rezultāti parāda, ka lasīšanas ātruma procentuālais samazinājums dabiskas un simulētas pilnas presbiopijas grupās atšķiras tikai galēji sliktākās redzes kvalitātes situācijā jeb apstākļos bez aditīva (skat. Att. 3.15.). Bez aditīva novērojams, ka dabiskas presbiopijas grupai lasīšanas ātrums samazinās līdz $58 \pm 15 \%$ ($Z = -2,677$, $p = 0,007$), savukārt, simulētas presbiopijas gadījumā bez aditīva tiek sasniegts vien $38 \pm 20 \%$, ($Z = -2,668$, $p < 0,008$) no individuālā labākā lasīšanas ātruma, kas ir par 20 % zemāk nekā dabiskas presbiopijas grupai. Atbilstoši labākus rezultātus jeb mazāku lasīšanas ātruma procentuālo samazināšanos situācijā bez aditīva novēro dabiskas presbiopijas grupai ($100 - 58 = 42 \pm 15 \%$). Simulētas presbiopijas grupas ($100 - 38 = 62 \pm 20 \%$) lasīšanas ātruma samazinājums ir būtiski lielāks ($F(1,16)=5,96$, $p = 0,027$, vienfaktora dispersijas analīze ar atkārtojumiem ANOVA).

II daļa: meklēšanas uzdevums

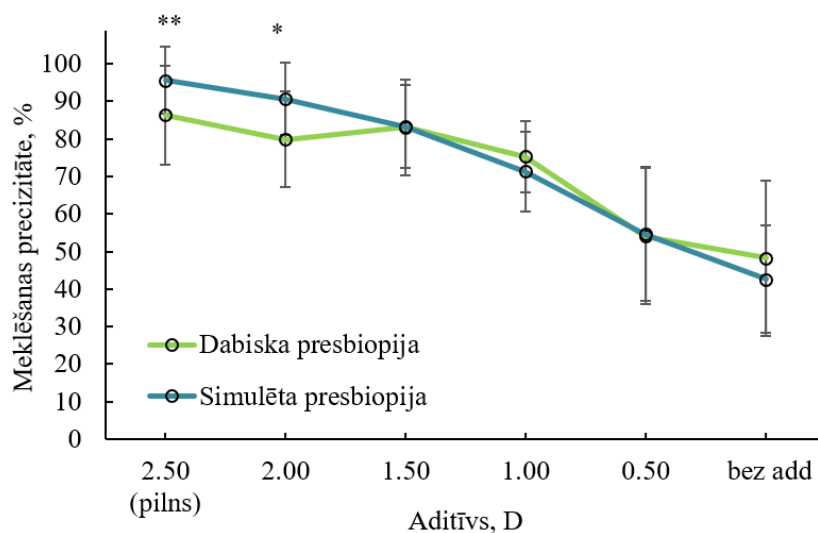
Izmantojot savstarpēji neatkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metodi (*t-Test: Independent-Samples*), iegūtais vidējais meklēšanas laiks \pm SD dabiskas (41 ± 16 s) un simulētas (32 ± 7 s) presbiopijas grupās nebija būtiski atšķirīgs ($t = -3,795$, $p = 0,071$). Analizējot katru aditīva lielumu atsevišķi (skat. Att. 3.16.), statistiski nozīmīgi ātrāk meklēšanas uzdevumu veica simulētas presbiopijas grupa salīdzinājumā ar dabiskas presbiopijas grupu pie aditīva lieluma 1,50 D ($\chi^2(1)=5,293$, $p = 0,021$) un bez aditīva ($\chi^2(1)=5,515$, $p = 0,019$).



Att. 3.16. Vidējais meklēšanas laiks \pm SD atkarībā no aditīva dabiskas (zaļā līkne) un simulētas (zilā līkne) presbiopijas gadījumos. Būtiskuma līmenis, kas parāda atšķirības starp dabiskas un simulētas presbiopijas grupām apzīmēts ar * $p < 0,05$.

Attēlā 3.16. redzams, ka, pakāpeniski samazinot nepieciešamo aditīvu (no 2,50 D līdz bez add), meklēšanas laiks pieaug. Lai noskaidrotu vai presbiopijas korekcijas precizitāte ietekmē meklēšanas laika procentuālo pieaugumu, tika veikta vienfaktora dispersijas analīze ANOVA. Meklēšanas uzdevuma veikšanas procentuālajā pieaugumā netika novērotas atšķirības starp uzdevuma veikšanu dabiskas un simulētas presbiopijas grupās neatkarīgi no aditīva koriģēšanas pakāpes ($p > 0,2$). Tāpat netika novērota statistiski nozīmīga saistība starp meklēšanas laika procentuālo pieaugumu un aditīvu ($p = 0,73$, *Pīrsona korelācija*), kas ļauj secināt, ka presbiopijas korekcijas precizitāte meklēšanas uzdevuma laika rezultātus neietekmē būtiski. Tomēr meklēšanas uzdevuma veikspējas analīzē jāņem vērā ne tikai izpildes laiks, bet arī izpildes precizitāte. Lai to novērtētu, tika pieņemts, ka katra indivīda precīzākie rezultāti tiek iegūti vislabākā redzes asuma apstākļos, kas pilnas presbiopijas korekcijas gadījumā būtu aditīvs 2,50 D.

Meklēšanas uzdevuma precizitātes atšķirības dabiskas un simulētas presbiopijas grupās atšķirās tikai salīdzinoši labas redzes kvalitātes apstākļos (skat. Att. 3.17.), kur simulētas presbiopijas grupa uzrādīja būtiski augstākus meklēšanas uzdevuma precizitātes rezultātus: pilna aditīva ($86 \pm 13\%$ un $96 \pm 9\%$) ($\chi^2(1)=6,914$, $p = 0,009$) un 2,00 D liela aditīva gadījumos ($80 \pm 13\%$ un $91 \pm 10\%$) ($\chi^2(1)=5,539$, $p = 0,019$).



Att. 3.17. Meklēšanas precizitāte jeb pareizi atrasto burtu procentuālais daudzums \pm SD atkarībā no aditīva dabiskas (zaļā līkne) un simulētas (zilā līkne) presbiopijas gadījumos. Būtiskuma līmeņi, kas parāda atšķirības starp dabiskas un simulētas presbiopijas grupām apzīmēti ar * $p < 0,05$ un ** $p < 0,01$.

Lai izvērtētu aditīva stipruma jeb presbiopijas korekcijas precizitātes ietekmi uz meklēšanas precizitātes rezultātiem tika veikts *Frīdmana tests* atkarīgu izlašu salīdzināšanai ar

post hoc *Vilkoksona testu*. Veiktā analīze parāda, ka neatkarīgi no tā vai dalībnieki bija no dabiskas vai simulētas presbiopijas grupas katrs 0,50 D solis (izņemot starp 2,00 D un 1,75 D, $Z = -0,692$, $p = 0,49$) būtiski samazināja meklēšanas uzdevuma veikšanas precizitāti ($p < 0,05$). Piemēram, vidējais meklēšanas uzdevuma precizitātes izpildes līmenis pilnībā koriģētas presbiopijas gadījumā ir 91 ± 12 %, pie aditīva 1,00 D precizitāte sarūk par aptuveni trešdaļu 73 ± 10 % ($Z = -3,625$, $p < 0,001$) un galēji sliktākajos redzes asuma apstākļos (bez aditīva) precizitāte ir vairs tikai puse no sākotnējās (45 ± 18 %, $Z = -3,726$, $p < 0,001$).

3.1.2.6 Diskusija

Šis ir pirmais pētījums, kas uzskatāmi parāda nekoriģētas presbiopijas ietekmi uz tuvuma darbu veikspēju atkarībā no presbiopijas pakāpes, parādot, ka nekoriģēts aditīvs, kas $>1,25$ D, samazina lasīšanas ātrumu vidēji par trešdaļu (33 ± 17 %). Atkarībā no profesijas un nodarbošanās tuvuma darbiem velītālais laiks var būtiski atšķirties, piemēram, tulki ikdienā darbā ar tekstu pavada vidēji 5 stundas no kurām liela daļa tiek velīta tieši lasīšanas procesam (Salmi, 2010). Ja pieņemam, ka vidējas intensitātes tuvuma darbi vienā dienā ietvertu 3 stundu lasīšanu, tad šajā pētījumā iegūtie rezultāti parāda, ka ar 25 % (add 1,50 un 1,75 D) un 40 % (add $\geq 2,00$ D) lasīšanas ātruma samazināšanos, ja netiek izmantota tuvuma briļļu korekcija, lasīšanas ilgums pieaugtu par 45 un 72 minūtēm, kas veido līdz pat 15 % no vidējās darba dienas ilguma. Iegūtie rezultāti parāda, ka neizkoriģētas presbiopijas pakāpei jābūt salīdzinoši augstai ($>1,25$ D), lai negatīvi ietekmētu lasīšanas uzdevuma ātrumu, un $>1,75$ D, lai negatīvi ietekmētu meklēšanas uzdevuma precizitāti, vai $>2,25$ D, lai negatīvi ietekmētu meklēšanas uzdevuma ātrumu. Pētījumā, kur tika analizēta apmieglojuma ietekme uz televīzijas subtitru lasīšanas precizitāti, tika secināts, ka lēna un normāla subtitru rādīšanas ātruma gadījumā 0,50 D apmieglojums praktiski neietekmē lasīšanas precizitāti, 1,00 D apmieglojuma gadījumā sagaidāms apmēram 10 % precizitātes kritums un 1,50 D apmieglojums samazina lasīšanas precizitāti par 38 % (Thorn & Thorn, 1996). Gan mūsu, gan *Thorn & Thorn* (1996) pētījumā novērotā apmieglojuma ietekme uz ar lasīšanu saistītu darbu veikspēju, gan iepriekš aprakstītā cilvēka spēja pamanīt apmieglojumu (vidēji ir ap 0,30 D (Ciuffreda et al., 2007; Roberts et al., 2018)), liek kritiski izvērtēt individualizēto 0,01 D precizitātes briļļu lēcu tehnoloģiju potenciālo praktisko pielietojumu un efektivitāti, tai skaitā apsverot arī cenas un ieguvuma attiecību.

Lai pielāgotu sagaidāmo lasīšanas ātruma normu teksta sarežģītības pakāpei *Brybaert* (2019) piedāvā formulu 3.7., kuru pielietojot šajā pētījumā izmantotajam tekstam,

(vidējais vārdu garums bija 6 rakstzīmes) sagaidāmais klusās lasīšanas ātrums ir 182 v/min (Brysbaert, 2019), kas tālāk vēl jāpielāgo normām, kas definētas skaļajai lasīšanai.

$$\text{Sagaidāmais lasīšanas ātrums} = 238 \times \frac{4,6}{\text{vidējais teksta vārdu garums}} \quad (3.7.)$$

Klusā lasīšana noris būtiski ātrāk nekā skaļā lasīšana. Studentiem bez disleksijas vidējais skaļās lasīšanas ātrums bija 136 v/min, kas pieauga par 44 %, ja lasīšana tika veikta pie klusi, kad vidējais klusās lasīšanas ātrums bija 244 v/min (Callens et al., 2012). Ja uzdevuma instrukcijas pieprasa lasīt pēc iespējas ātri un precīzi, tad skaļās lasīšanas ātrums presbiopijas vecuma dalībniekiem bija vidēji 175 v/min (Zeri et al., 2018). Ņemot vērā sagaidāmo lasīšanas ātruma kritumu skaļās lasīšanas gadījumā un lasīšanas ātruma normas pielāgošanu konkrētajam tekstam pēc vienādojuma 3.7., mūsu pētījumā sagaidāmais vidējais skaļās lasīšanas temps būtu ap 109 v/min. Mūsu pētījumā iegūtais vidējais skaļās lasīšanas ātruma temps dalībniekiem ar dažādas pakāpes dabisku presbiopiju augsta redzes asuma apstākļos bija 117 ± 15 v/min, kas vērtējams kā atbilstošs sagaidāmajām normām, ņemot vērā to, ka teksts bija sarežģīts un tika lasīts skaļi. Iegūtos rezultātus var ietekmēt arī uzdevuma formāts, piemēram, vai pēc teksta izlasīšanas tiek uzdoti jautājumi, kas atspoguļo izpratni par izlasīto tekstu. Tādos gadījumos sagaidāmais lasīšanas ātrums novērojams zemāks, jo prasa lielāku kognitīvo procesu iesaisti. Carver (1992) eksperimentāli demonstrējis, ka vidējais klusās lasīšanas ātrums ir sākot no 138 v/min, kad teksts ir jāatceras, lai pēc tam to atstāstītu, līdz pat 650 v/min, kad teksts tiek ar ātrām acu kustībām skenēts, lai atrastu atslēgas vārdus tekstā.

Iepriekš veiktie pētījumi ir demonstrējuši, ka lasīšanas ātrums ir būtiski saistīts ar indivīda vecumu (Calabrèse et al., 2016; Liu et al., 2016). Ja salīdzina pētījuma otrās daļas rezultātus, kur dabiskas presbiopijas grupā vidējais lasīšanas ātrums (118 ± 8 v/min) bija zemāks nekā simulētas presbiopijas grupā (147 ± 8 v/min), ir novērojama lasīšanas ātruma atšķirība 29 v/min apjomā, ko izsakot procentuāli, iegūstam 20 % izmaiņu. Kā viens no galvenajiem faktoriem, kas radījis šo lasīšanas ātruma atšķirību, jāmin dalībnieku vecums, kas simulētas presbiopijas grupā bija vidēji 22 ± 3 gadi, savukārt, dabiskas presbiopijas grupā – 66 ± 4 gadi. Paquette & Fung (2011) demonstrē, ka gados vecākiem cilvēkiem acu kustības noteikt lēnāk, piemēram, sakāžu garums pieaug un precizitāte samazinās, pieaug atpakaļejošo sakāžu skaits un mainās acu kustību amplitūda. Precīzākas lasīšanas ātruma izmaiņas parādītas Calabrèse un kolēģu (2016) pētījumā, kur vecumā no 16 līdz 40 gadiem sagaidāmais lasīšanas ātruma ikgadējais kritums ir 0,07 v/min, savukārt, vecumā pēc 40 gadiem tas būtiski pieaug un sasniedz

0,6 v/min. Ņemot vērā *Calabrese* un kolēģu (2016) piedāvāto modeli, teorētiski aprēķinātais, sagaidāmais lasīšanas ātruma kritums starp simulētas presbiopijas un dabiskas presbiopijas grupām būtu ap 16 v/min, kas skaidro nedaudz vairāk kā pusi no novērotā atšķirības lieluma. Jāpiemin, ka gan simulētas, gan pilnas pakāpes presbiopijas gadījumā, katrs neizkoriģētais 0,50 D aditīva solis būtiski samazina lasīšanas ātrumu. Savukārt, lasīšanas ātruma atšķirības dabiskas presbiopijas grupā un simulētas presbiopijas grupā bija novērojamas tikai salīdzinoši augsta redzes asuma apstākļos, jo, ja nekoriģētā aditīva komponente pārsniedz 1,00 D lielumu, abas grupas uzdevumu izpilda līdzvērtīgi slikti. Ja iegūtos rezultātus izsaka nevis lasīšanas ātruma kontekstā, bet kā procentuālo lasīšanas ātruma samazināšanos (tiek ņemts vērā katra dalībnieka individuālais labākais lasīšanas ātrums), tad novērojams, ka vissliktākajos redzes asuma apstākļos (bez aditīva) dabiskas presbiopijas grupai ir par 20 % mazāks procentuālais lasīšanas ātruma samazinājums nekā simulētai presbiopijas grupai. Šo rezultātu varētu skaidrot ar iespējamo apmieglojuma adaptāciju (Cufflin et al., 2007), kas laika gaitā ir izveidojusies dabiskas presbiopijas grupai, kura ir adaptējusies arī apstākļiem bez korekcijas, tādejādi vienlīdz sliktā redzes asuma apstākļos spēj labāk un ātrāk veikt tuvuma darbus nekā simulētas presbiopijas grupa, kas ir jaunieši, kam ikdienā nav bijusi iepriekšēja pieredze ar tuvuma darbu veikšanu apmieglojuma apstākļos. Kā otrs no potenciālajiem skaidrojumiem iegūtajam rezultātam varētu būt saistīts ar lielāku subjektīvo fokusa dziļumu mazākas zīlītes gadījumos (Campbell, 1957; Guillon et al., 2016; Kasthurirangan & Glasser, 2006; Winn et al., 1994). Dabiskas presbiopijas grupai, kurai mērījumi tika veikti dabiska zīlītes izmēra apstākļos, kas vecuma grupā 66 ± 4 gadi bija $3,0 \pm 0,1$ mm, kas ir par 1 mm mazāks nekā simulētas presbiopijas grupai ar vidējo vecumu 22 ± 3 gadi un zīlītes izmēru $4,0 \pm 0,1$ mm, kam tika pielāgots apertūras izmērs katra dalībnieka dabiskajam zīlītes izmēram (mērīts pirms cikloplēģijas ar skatu tuvumā, 470 lx apgaismojumā).

Citi faktori, kas ietekmē lasīšanas ātrumu, bet netika izskatīti šī pētījuma ietvaros, ir valodas faktors (Cutler et al., 2004), uzdevuma instruktāžas dizains (Carver, 1992) un izmantotā teksta kontekstuālais motīvs (Mak & Willems, 2019). Iepriekšējie pētījumi ir parādījuši, ka, atkarībā no valodā esošo fonēmu skaita mainās izrunāto vārdu garums (Cutler et al., 2004). Piemēram, spāņu valodā ir būtiski mazāk fonēmu (25) nekā angļu vai latviešu valodā (36 vai 39), bet būtiski vairāk fonēmu ir, piemēram, lietuviešu vai baltkrievu valodai (59 vai 45) (Eupedia, 2014). Lasīšanas ātrumu var ietekmēt arī tas vai pētījuma dalībnieks uzdevumu veic savā dzimtajā valodā. Sagaidāms, ka bilingvāli runājošiem cilvēkiem lasīšanas ātrums

dzimtajā valodā ir par 17 % augstāks (Cop et al., 2015). Lai arī mūsu pētījumam tika atlasīti dalībnieki, kas brīvi pārvalda latviešu valodu, dati par to, vai dalībnieks ir bilingvāli runājošs, netika ievākti. Apzinoties situāciju, ka Latvijā kā postpadomju valstī ir augsts bilingvāli runājošo iedzīvotāju skaits (Dilans, 2009), tas varēja nelielā mērā samazināt vidējos lasīšanas ātruma rezultātus, bet šī ietekme netiktu atspoguļota rezultātos, kas izteikti kā procentuālais lasīšanas ātruma samazinājums.

Šī pētījuma ietvaros netika analizēts apmieglojuma izraisītais redzes asuma kritums, tomēr iepriekšējie pētījumi ir demonstrējuši, ka tas tiek ietekmēts gan no apgaismojuma, kur 1,25 D apmieglojums tālumā fotopiskos apstākļos redzes asumu samazina no 1,2 līdz 0,5 (decimālās vienības), bet mezopiskos apstākļos no 0,4 līdz 0,16 (decimālās vienības) (Simpson et al., 1986), gan no pamata refrakcijas kļūdas veida, kur parādās būtiskas atšķirības starp pozitīva un negatīva apmieglojuma uztveri (Vasudevan et al., 2010), kas aktualizē to, ka dalībniekiem ar miopiju vai dalībniekiem ar hipermetropiju/presbiopiju apmieglojuma ietekme gan uz redzes asuma, gan uz uzdevumu veikspējas kritumu būs būtiski atšķirīga. Šajā pētījumā piedalījās dalībnieki no dažādām refrakcijas kļūdas grupām, tomēr apmieglojuma ietekme tika pētīta tuvumā, presbiopijas kontekstā, kas ļauj apgalvot, ka starp dalībniekiem tā bija salīdzināma, nešķirojot atsevišķi pēc pamata refrakcijas grupas. Vidējā, kvantitatīvā redzes asuma samazināšanās atkarībā no katra pozitīvā +0,25 D apmieglojuma soļa tika analizēta pētījumā, kur piedalījās 35 dalībnieki ar dažādas pakāpes miopiju un vidējo vecumu 23 ± 2 gadi. Ja bez apmieglojuma vidējais redzes asums decimālajās vienībās bija $1,10 \pm 0,14$, tad ar 0,50 D apmieglojumu tas nokritās līdz $0,83 \pm 0,11$, ar 1,00 D – līdz $0,47 \pm 0,20$ un ar +1,50 D – līdz $0,15 \pm 0,06$ (Kim et al., 2014), kas izsakot procentuāli būtu attiecīgi 25 %, 57 % un 85 % redzes asuma kritums. Kā redzams, tad apmieglojums redzes asumu ietekmē apmēram uz pusi vairāk nekā tuvuma darbu izpildes veikspēju, kas ir būtiska atziņa redzes speciālistiem, lai palīdzētu dot pacientiem pamatotus padomus un skaidrojums attiecībā uz to, ko varam sagaidīt no jaunās korekcijas vai ko sagaidīt, ja pacients izvēlas nepieciešamo redzes korekciju tomēr nenēsāt.

3.1.2.7 Secinājumi

1. Ja presbiopijas lielums ir salīdzinoši zems $\leq 1,25$ D, tad lasīšanas ātrums tiek ietekmēts mazāk par 10 % un vērtējams kā ikdienā nebūtisks, savukārt, vidējas un augstas presbiopijas gadījumā, kad aditīvs ir $> 1,25$ D lasīšanas ātrums samazinās vidēji par 33 %.
2. Meklēšanas laiks ar vai bez aditīva tiek būtiski ietekmēts tikai relatīvi augstas presbiopijas pakāpes gadījumos, kad aditīvs ir $\geq 2,25$ D, kas izpaužas kā par 40 % īsāks meklēšanas laiks, ja aditīvs tiek lietots. Zemas un mērenas presbiopijas pakāpes gadījumā, kad aditīvs ir $\leq 2,00$ D, vērojama tendence, ka meklēšanas uzdevuma veikšanas laiks ar aditīvu ir vidēji par 15 līdz 20 % īsāks, tomēr šī atšķirība nav statistiski nozīmīga.
3. Meklēšanas uzdevuma precizitāte ir būtiski zemāka, ja uzdevums tiek veikts bez aditīva. Turklāt, ja aditīva stiprums ir $\leq 1,75$ D, tad sagaidāmais precizitātes samazinājums ir apmēram 13 %, savukārt, salīdzinoši augstākas presbiopijas pakāpes gadījumā, kad aditīvs ir $> 1,75$ D, tad precizitāte krītas vidēji par 38 %.
4. Pilnas presbiopijas gadījumā tuvuma darbu veikspēja būtiski krītas pie katra nākamā neizkorigētā 0,50 D soļa. Bez aditīva tuvuma darbu veikspēja ir uz pusi zemāka nekā ar aditīvu, turklāt lasīšanas ātruma % samazinājums dabiskas presbiopijas grupai bez aditīva ir par 20 % mazāks nekā simulētai presbiopijai.

Secinājumi izmantoti darba otrās tēzes formulēšanai.

3.2 Akomodācijas funkciju objektīvie mērījumi

3.2.1 Aktualitāte

Lielākā daļa no klīniskajām redzes funkciju izvērtēšanas metodēm ir daļēji vai pilnībā subjektīvas, kas pieprasa paša pacienta vērtējumu, piemēram, par to, kad attēls ir samīgļojies vai, kurā no piedāvātajiem variantiem ir skaidrāks attēls. Klīnisko testu subjektīvā daba īpaši bieži izpaužas tuvuma funkciju izvērtēšanā, piemēram, relatīvo akomodācijas rezervju gadījumā pacients ziņo, pie kura no lēcu soļiem attēls samīgļojas un/vai vairs nav iespējams izlasīt tekstu. Akomodācijas viegluma gadījumā pacients ziņo, kad attēls noskaidrojas un ir izlasāms. Subjektīvo testu rezultātu interpretācijā būtu jāņem vērā, ka vērtējums “mīglains attēls” starp indivīdiem var atšķirties gan individuālās apmīgļojuma jutības dēļ, gan fokusa dziļuma dēļ. Turklāt, piemēram, relatīvo akomodācijas rezervju gadījumā pastāv teorētisks pieņēmums, ka, pieliekot $-2,00$ D proves lēcas, acs akomodācijas sistēmai nepieciešams papildus akomodēt par $2,00$ D, tomēr informāciju par reālo acs akomodācijas saspringšanu konkrēto $2,00$ D pieprasījuma gadījumā klīniskais tests nesniedz. Zinot acs akomodācijas darbības fizioloģisko dabu, kas ietver akomodācijas atpalikšanu, sagaidāms, ka reālā akomodācijas atbilde būs zemāka nekā pieprasījums, turklāt, jo augstāks stimula pieprasījums, jo lielāka akomodācijas atpalikšana (Buehren & Collins, 2006; Lin & Jiang, 2013).

Pieaugot atvērta skata objektīvo acs akomodācijas atbildes novērtēšanas metožu pieejamībai, parādās potenciālas iespējas uzzināt vairāk par to, kāda ir objektīvās akomodācijas atbildes specifika dažādu tuvuma funkciju novērtēšanas metožu laikā. Šī pētījuma **mērķis** bija izveidot metodiku kā akomodācijas rezervju klīnisko testu var papildināt ar dinamiski iegūtu objektīvo datu komponenti, kā arī izvērtēt papildu iegūto datu nozīmīgumu rezultātu interpretācijā un izpratnē par acs akomodācijas sistēmas darbību piespiedu sasprindzināšanās un atslābināšanās procesos. Lai to realizētu sākotnēji bija nepieciešams veikt ekscentriskās fotorefraktometrijas iekārtas *PowerRef 3* funkcionālo testēšanu, lai noteiktu iekārtas potenciālo pielietojumu un ierobežojošos faktorus turpmākajos acs akomodācijas pētījumos, kā arī piedāvātu un izstrādātu iegūto acs akomodācijas datu apstrādes principus.

3.2.2 Uzdevumi

1. Novērtēt, cik precīzi iekārta *PowerRef 3* novērtē inducētu refrakcijas kļūdu diapazonā no +5,00 D līdz -5,00 D ar soli 0,25 D.
2. Izstrādāt metodiku, kas ļauj papildināt klīnisko acs akomodācijas rezervju mērījumu ar objektīvo datu komponenti.
3. Novērtēt atšķirības starp pozitīvo un negatīvo akomodācijas rezervju objektīvo datu komponenti monokulāros un binokulāros apstākļos.
4. Izvērtēt akomodācijas rezervju mērījumu laikā objektīvi iegūtās akomodācijas mikrofluktuācijas.
5. Sagatavot pārskatu par novērotajiem tehniskajiem aspektiem, kas jāņem vērā plānojot acs akomodācijas pētījumus ar iekārtu *PowerRef 3*.

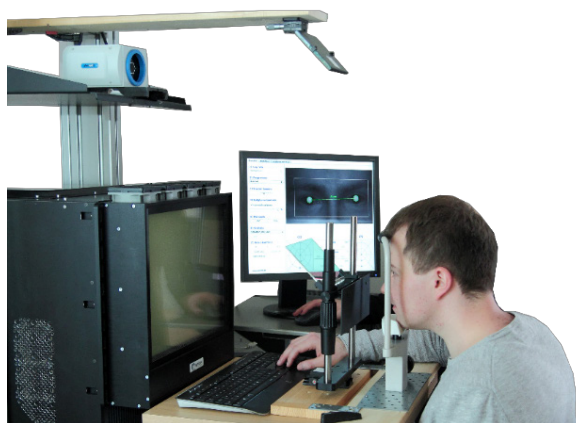
3.2.3 Ekscentriskā fotorefraktometra funkcionālā testēšana

3.2.3.1 Metode

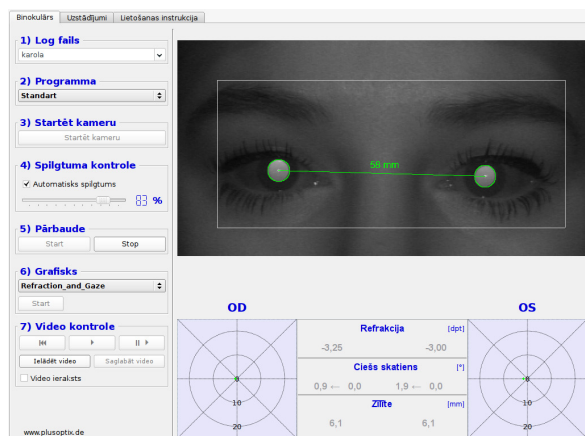
Šajā pētījuma daļā piedalījās seši eiropēdu rases dalībnieki ar emetropiju (vidējais vecums 22 ± 3 gadi), kas tika definēta kā objektīvās refrakcijas kļūdas sfēriskais ekvivalents (SE), kas nepārsniedz -0,50 D vai +0,50 D. Mērījumi tika veikti mezopiskos apstākļos (15-20 lx). Pētījums veikts saskaņā ar Helsinku deklarāciju un saskaņots ar LU EKMI (Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta) Zinātniskās izpētes ētikas komisiju. Visi pētījuma dalībnieki parakstīja informētās piekrišanas veidlapu, tādejādi paužot savu piekrišanu dalībai pētījumā.

Pētījumā tika funkcionāli testēta ekscentriskā fotorefraktometrijas iekārta *PowerRef 3*, kas ir balstīta uz ekscentriskās fotorefraktometrijas principu, kur tiek izmantota kamera ar vairākiem, rindās novietotiem infrasarkanās gaismas LED avotiem. Nepieciešamais optiskā ceļa garums no kameras līdz acīm ir 1 m, ko var realizēt tieši novietojot iekārtu 1 m attālumā no dalībnieka vai ar 2 spoguļu palīdzību (skat. Att. 3.18.(a)). Iekārta mēra atstarotās gaismas gradientu zīlītes plaknē sešos meridiānos, kas savstarpēji atdalīti ik pa 30° (Hunt et al., 2003). Astigmātiskā refrakcijas kļūda tiek ņemta vērā, bet netiek izdalīta kā atsevišķs cilindriskais refrakcijas lielums. Refrakcijas mērāmais diapazons ir robežās no -7,00 D līdz +5,00 D un tiek iegūts ar soli 0,01 D. Pieļaujамais acs zīlītes diapazons ir no 4 līdz 8 mm, kas tiek mērīts ar

soli 0,1 mm. Dinamiskie mērījumi tiek iegūti binokulāri ar 50 Hz frekvenci, kas nozīmē, ka mērījums tiek veikts ik pa 0,02 sekundēm. *PowerRef 3* ir uzlabota iepriekšējā *PowerRef II* versija, kas plaši tika izmantota redzes pētījumos (Harb et al., 2006; Hunt et al., 2003; Jainta et al., 2008; Suryakumar et al., 2007a), taču tai bija savi ierobežojumi. *PowerRef II* sistēma nenodrošināja individuālu kalibrēšanu, iegūtie refrakcijas mērījumi bija uz hipermetropijas pusi (vidējā vērtība \pm SD; $0,59 \pm 0,42$ D) un dati netika mērīti ar norādīto frekvenci 25 Hz, kā tas bija norādīts iekārtas specifikācijā (Jainta et al., 2004). Tā pēctecis *PowerRef 3* nodrošina nepārtrauktu datu iegūvi ar augstāku (50 Hz) frekvenci, tādēļ ir vairāk piemērots acs akomodācijas pētījumiem. Jāņem vērā, ka acs zīlītes izmērs un tīklenes refleksa spilgtums var ietekmēt uzņemtā attēla intensitātes gradientu. Iekārta ir kalibrēta eiropēdu rases pārstāvjiem un gadījumā, ja to vēlas izmantot cilvēkiem ar citu etnisko izcelsmi un tīklenes atstarošanās parametriem, tad var būt nepieciešams veikt empīrisku kalibrēšanu, lai precīzi noteiktu refrakciju (Srvani et al., 2015).



(a)



(b)

Att. 3.18. (a) viens no veidiem kā uzstādīt 1 m optisko ceļu mērījumiem ar iekārtu *PowerRef 3*, (b) programmatūras logs mērījumu laikā.

PowerRef 3 ierīce nodrošina kvantitatīvus, objektīvus, neinvazīvus un ar augstu atkārtotamību veicamus mērījumus acs refrakcijas, akomodācijas, acs zīlītes un acu skata mērījumiem. Iekārtas pamata programmatūra piedāvā divu veidu mērījumu formātus – 10 sekunžu ilgu mērījumu (*Standart_10sec*) vai neierobežoti ilgu mērījumu (*Standart*), kas apstājas tad, kad lietotājs to izlemj un ziņo nospiežot *Stop* pogu (skat. Att. 3.18.(b)). Iemesls, kāpēc šāda iekārta ir noderīga un interesanta redzes zinātnes pētījumiem, ir saistīts ar to, ka tā ir viena no brīvā skata mērierīcēm, kas nozīmē, ka atļauj veikt mērījumus ar dažāda veida

stimuliem, dažādos attālumos ar ļoti mazu mērījuma soli. Tas ļauj analizēt tādu stimulu faktoru kā izmēra, kontrasta, formāta (drukāts vai digitāls), attāluma un apgaismojuma ietekmi uz acs akomodācijas atbildi.

Pētījuma veikšanai papildus tika izmantots sekojošs aprīkojums:

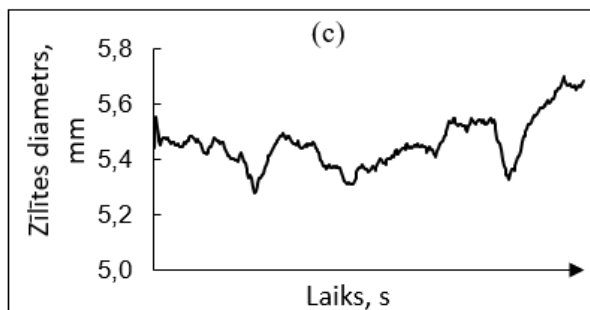
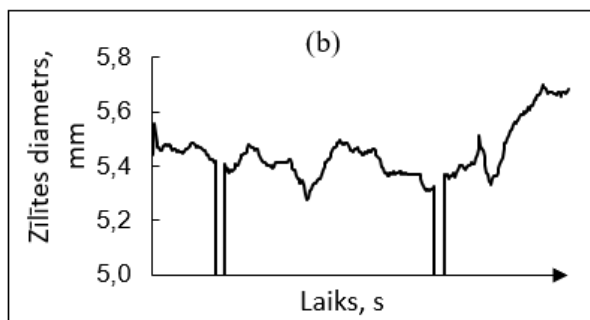
- proves kaste, no kuras izmantoja sfēriskas lēcas no -5,00 D līdz +5,00 D ar soli 0,25 D un *planum* lēcu
- proves ietvars ar regulējamu verteksa attālumu un deguna balstu
- 5 mm apertūra
- IS filtrs

3.2.3.2 *Mirkšķināšanas datu apstrāde*

PowerRef 3 iekārta mēra ar 50 Hz frekvenci, mērījums tiek iegūts katras 20 ms, kas nozīmē, ka teorētiski katra mirkšķināšana iegūtajā datu kopā dod vidēji no 5 līdz 10 nulles vērtībām, kurās dati netiek iegūti. Praktiski novērotās nulles vērtības bija vidēji no 10 līdz 15 reizēm. *PowerRef 3* iekārtas ražotāja algoritms paredz, ka mirkšķināšanas brīdis datu kopā pie *PupilFound* tiek kodēts ar 0 un 1, kur 1 nozīmē, ka signāls (tīklenes reflekss zīlītes plaknē) ir saņemts, savukārt, 0 nozīmē, ka signāls nav saņemts un acis ir aizvērtas. Ražotāja algoritms paredz, ka, ja *PupilFound* vietā ir 0, tad zīlītes diametra vērtība ir 0, savukārt, refrakcijas lieluma vietā tiek nokopēta vērtība, kāda bija pie pēdējā *PupilFound* 1 (skat. Att. 3.19.(a)). Abos gadījumos, ja šie dati netiek korekti izņemti no kopējās datu kopas, tie būtiski ietekmē vidējos rezultātus, tāpēc pirms datu analīzes tika veikta mirkšķināšanas datu dzēšana pēc *Horwood & Riddell* (2008) piedāvātā algoritma (sīkāk aprakstīts 2.7.1. nodaļā), lai korekti interpretētu iegūtos rezultātus. Grafiski atspoguļoti acs zīlītes diametra dati pirms (skat. Att. 3.19.(b)) un pēc (skat. Att. 3.19.(c)) mirkšķināšanas datu dzēšanas.

Time [ms]	PupilFound(L)	PupilDiameter MM(L)	GetAverage Refraction(L)
7100	1	5,73435	0,06061
7120	1	5,73435	0,06464
7140	1	5,73435	0,07698
7160	1	5,73435	0,07653
7180	1	5,39665	0,06669
7200	0	0	0,06669
7220	0	0	0,06669
7240	0	0	0,06669
7260	0	0	0,06669
7280	1	5,28539	0,07967
7300	1	5,50987	0,07959
7320	1	5,73435	0,08739
7340	1	5,73435	0,08085
7360	1	5,73435	0,06667
7380	1	5,73435	0,05464

(a)



Att. 3.19. (a) fragments no *PowerRef 3* iegūtajiem mērījumiem, kur mirkšķināšanas brīdis *PupilFound* datu kopā attēlojas kā nulles vērtības, savukārt, *GetAverage Refraction* datu kopā iekopējas pēdējā derīgā refrakcijas vērtība (iekrāsots sarkans); (b) acs zīlītes diametra izmaiņas un svārstības laikā, kur redzami divi iztrūkstošu datu posmi, kad notikusi mirkšķināšana; (c) acs zīlītes diametra izmaiņas un svārstības laikā pēc mirkšķināšanas datu dzēšanas algoritma pielietošanas.

3.2.3.2.1 Pētījuma gaita

Katram dalībniekam sākumā tika nodrošināta 5 minūšu adaptācija mezopiskiem apstākļiem, tad tika veikts 10 sekunžu objektīvās refrakcijas mērījums tālumā ar planum lēcu. Lai izvairītos no acs akomodācijas svārstībām, tika veikta īslaicīga, atgriezeniska medikamentoza akomodācijas paralīze izmantojot acu pilienus *Sol.Cyclogyl 1 %*. Cikloplēģiskais efekts tika panākts pēc shēmas 2 pilieni *Sol.Cyclogyl 1 %* katrā acī, kas iepilināti ar 5 minūšu intervālu. Tika pieņemts, ka pilnīgai cikloplēģiskā efekta iedarbībai nepieciešamas 30 minūtes, līdz ar to pirmie iekārtas funkcionālās testēšanas mērījumi tika uzsākti 35 minūtes pēc pirmā piliena iepilināšanas. Līdz ar cikloplēģiskā efekta iestāšanos bija novērojama arī midriāze, kas lielākajai daļai dalībnieku radīja zīlītes izmēru ≥ 8 mm, kas potenciāli var traucēt iegūt mērījuma datus (iekārta tehniski mēra zīlītes diametra robežās no 4 mm līdz 8 mm), tāpēc visiem dalībniekiem tika izmantota mākslīgā zīlītes apertūra 5 mm izmērā.

Tālākā metodika tika balstīta uz 2.7.2.1. nodaļā izpētīto literatūru, kurā apkopoti dažādi kalibrēšanas protokoli (Bharadwaj et al., 2013; Blade & Candy, 2006; Choi et al., 2000; Ghahghaei et al., 2019; Schaeffel et al., 1993). Labās acs priekšā tika novietots IS filtrs un 5 mm apertūra, fiksāciju tālumā nodrošināja kreisā acs (2° stimul, 5m attālumā), kuras priekšā proves lēcas netika liktas. Labai acij pakāpeniski ar 0,25 D soli tika pievienotas proves lēcas diapazonā no *planum* līdz +5,00 D un pēc tam no *planum* līdz -5,00 D. Pētījuma dalībnieki tika instruēti, ka jāskatās uz tālumā esošo stimulu, pie katra lēcu soļa (kopā 41 solis) mērījums tika veikts 10 sekundes, kuru laikā dalībniekam tika lūgts nemirkšķināt acis. Iegūtie dati tika katram indivīdam normalizēti attiecībā uz mērījumu, kas tika iegūts ar *planum* lēcu, jo pilnīgi emetropizētu refrakciju nebija iespējams nodrošināt. Attiecīgi katram dalībniekam, pie katra lēcu soļa iegūtais rezultāts tika normalizēts, balstoties uz viņa pamata refrakcijas objektīvo datu SE, kas tika aprēķināts izmantojot mērījuma rezultātu, kas iegūts, skatoties tālumā ar *planum* lēcu pēc cikloplēģijas iestāšanās, pēc formulas:

$$NPR = PR - PPR \quad (3.8.)$$

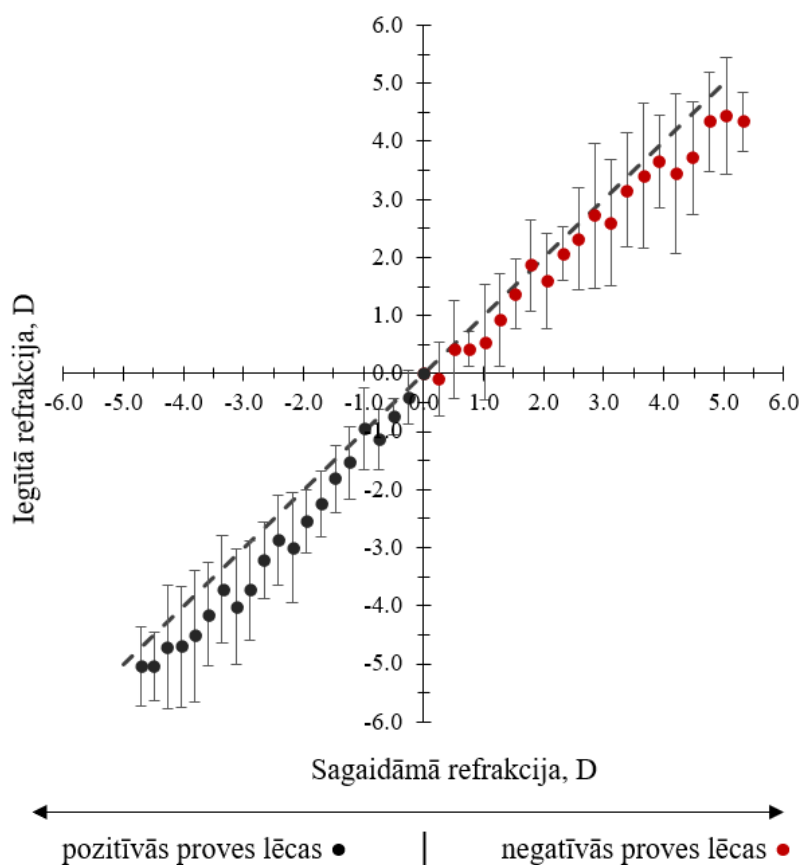
kur *NPR* – normalizēta objektīvā *PowerRef 3* refrakcijas/akomodācijas atbilde (D), *PR* – objektīvā *PowerRef 3* refrakcijas/akomodācijas atbilde (D) un *PPR* – pamata objektīvā refrakcija mērīta ar *PowerRef 3* skatoties tālumā (D).

Piemēram, skatoties tālumā ar *PowerRef 3* tiek iegūta pamata objektīvā refrakcija +0,50 D (*PPR* = +0,50 D). Ja atkārtojam mērījumu ar proves lēcu +2,00 D, tad objektīvā *PowerRef 3* mērījuma vidējais rezultāts varētu būt sagaidāms ap -1,50 D (*PR* = -1,50 D). Lai šo rezultātu pareizi interpretētu un ņemtu vērā pamata refrakciju, tiktu veikta rezultāta normalizēšana pēc formulas (3.8.) un iegūstam $NPR = -1,50 - (+0,50) = -2,00$ D. Līdzīgs piemērs būtu, piemēram, situācija, kad skatoties tālumā ar *PowerRef 3* tiek iegūta pamata objektīvā refrakcija -0,75 D (*PPR* = -0,75 D) un tad skats tiek pārnesta tuvumā 40 cm attālumā, veidojot 2,50 D akomodācijas pieprasījumu. Iegūtais objektīvo *PowerRef 3* mērījumu vidējais rezultāts varētu būt sagaidāms ap -2,25 D (*PR* = -2,25 D). Lai šo rezultātu pareizi interpretētu un ņemtu vērā pamata refrakciju, tiktu veikta rezultāta normalizēšana pēc formulas (3.8.) un iegūstam $NPR = -2,25 - (-0,75) = -1,50$ D.

3.2.3.3 Rezultāti

3.2.3.3.1 Refrakcijas kļūdas mērījumu precizitāte

Vidējie iegūtie dati \pm SD parādīti Att. 3.20., kur redzams, ka iekārta *PowerRef 3* mēra nedaudz hipermetropiskāku refrakciju kā patiesā. Vidējais lielums, par cik iekārta nomēra hipermetropiskāku refrakciju, bija $0,38\text{ D} \pm 0,26\text{ D}$, izmantojot mīnus provas lēcas (tiek inducēta hipermetropija), un $0,48\text{ D} \pm 0,23\text{ D}$, izmantojot plus provas lēcas (tiek inducēta miopija).



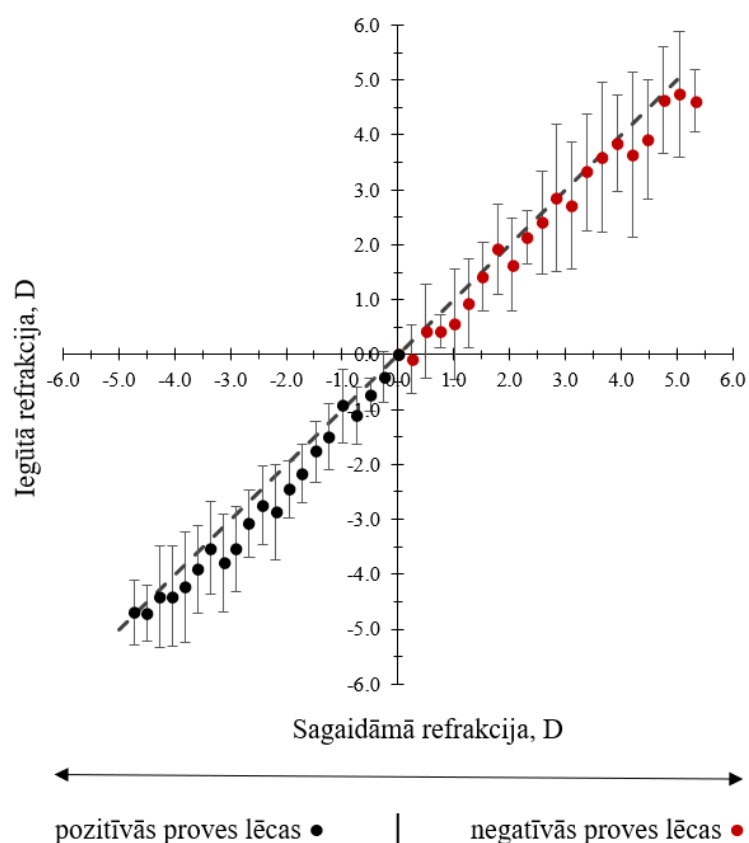
Att. 3.20. *PowerRef 3* funkcionālās testēšanas rezultāti pirms verteksa attāluma pārrēķina. Dati atspoguļoti grupā ($n = 6$), kur katrs datu punkts raksturo vidējos \pm SD datus sešiem dalībniekiem. Ar melno krāsu atzīmēti rezultāti, kas iegūti ar pozitīvā stipruma provas lēcām, ar sarkano krāsu atzīmēti rezultāti, kas iegūti ar negatīvā stipruma lēcām. Diagonālā pārtrauktā līnija raksturo 1:1 attiecību starp sagaidāmo refrakciju (pieliktās provas lēcas stiprums) un iegūto refrakciju.

Jāņem vērā, ka konkrētie dati, kas parādīti Att. 3.20. nav normalizēti attiecībā uz verteksa attāluma radīto kļūdu, proti, pieliktās provas lēcas efektīvais stiprums atšķiras no norādītā, jo neatrodas tieši pie acs. Jo lielāks verteksa attālums un pieliktās provas lēcas stiprums, jo

būtiskāk tas ietekmē iegūtos rezultātus. Pietuvinot lēcu tuvāk acij, hipermetropijas gadījumā fokusa attālums samazinās, savukārt, miopijas gadījumā tas palielinās. Abos gadījumos efektīvais lēcas stiprums ir vairāk hipermetropisks, kas daļēji skaidro to, kāpēc iegūtie rezultāti Att. 3.20. ir ar hipermetropisku nobīdi. Pieliktās provē lēcas efektīvā stipruma pārrēķins, ņemot vērā verteksa attālumu, iegūstams pēc formulas:

$$F_e = \frac{F}{1 - (\text{vertex} \times F)} \quad (3.9.)$$

kur F_e ir lēcas efektīvais stiprums (D), F ir oriģinālais jeb pieliktās provē lēcas stiprums (D) un vertex ir verteksa attālums (m).



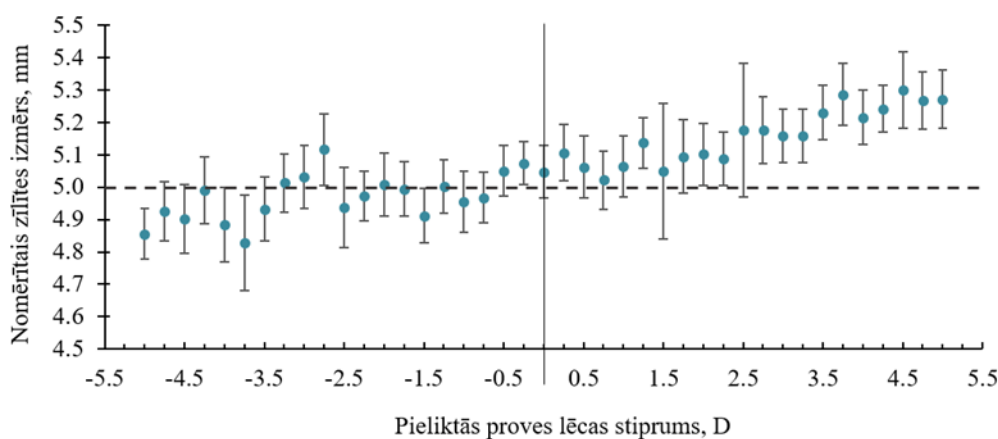
Att. 3.21. *PowerRef 3* funkcionālās testēšanas rezultāti pēc verteksa attāluma pārrēķina. Dati atspoguļoti grupā ($n = 6$), kur katrs datu punkts raksturo vidējos datus \pm SD sešiem dalībniekiem. Ar melno krāsu atzīmēti rezultāti, kas iegūti ar pozitīvā stipruma provē lēcām, ar sarkano krāsu atzīmēti rezultāti, kas iegūti ar negatīvā stipruma lēcām. Diagonālā pārtrauktā līnija raksturo 1:1 attiecību starp sagaidāmo refrakciju (pieliktais efektīvais provē lēcas stiprums) un iegūto refrakciju.

Pielietojot iegūtajiem datiem verteksa attāluma (0,014 m) pārrēķinu iegūtie dati ir precīzāki un hipermetropiskā nobīde mazāka (skat. Att. 3.21). Pēc verteksa attāluma pārrēķina, vidējais lielums, par cik iekārta nomēra hipermetropiskāku refrakciju, samazinājās un bija

0,25 D ± 0,22 D, izmantojot negatīvās provas lēcas, un 0,33 D ± 0,20 D, izmantojot pozitīvās provas lēcas. Iegūtie objektīvie dati nav statistiski nozīmīgi atšķirīgi no sagaidāmajām vērtībām ($p > 0,05$, savstarpēji atkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Paired Samples*), kas ļauj secināt, ka iekārta mēra pietiekami precīzi, lai to varētu izmantot redzes zinātnes pētījumos LU Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā.

3.2.3.3.2 Zīlītes mērījumu precizitāte

Inducējot miopiju (ar pozitīvām provas lēcām), mērījumu veikšanas laikā tika novērots, ka, ja lēcu stiprumi bija $>\pm 2,50$ D, sāk parādīties vizuāli pamanāmi acs zīlītes izmēra palielinājuma efekti. Tā kā tika izmantota konstanta 5 mm apertūra, tad teorētiski iekārtas nomērītajam zīlītes diametram būtu jābūt konstantam, nemainīgam un 5 mm lielam. Trīs dalībniekiem, kuriem bija iespējams veikt mērījumus pilnā lēcu diapazonā no -5,00 D līdz +5,00 D tika izanalizēti atbilstošie objektīvie zīlītes izmēri ar katru no pieliktajām lēcām un ar vienfaktora references vērtības salīdzināšanas metodi *t-Test: One way reference value* noteikts būtiskums. Novērota cieša, pozitīva sakarība starp pieliktās pozitīvās lēcas stiprumu un nomērīto zīlītes izmēru ($r = 0,91$, $p < 0,001$), kā arī vidēji cieša, negatīva saistība starp pieliktās negatīvās lēcas stiprumu un nomērīto zīlītes izmēru ($r = -0,58$, $p = 0,006$).



Att. 3.22. Nomērītais zīlītes izmērs ± SD ($n = 3$) ar fiksētu 5 mm apertūru (atzīmēts ar pārtrauktu līniju) atkarībā no pieliktās provas lēcas stipruma (diapazons no -5,00 D līdz +5,00 D, solis 0,25 D).

Apkopotie rezultāti (skat. Att. 3.22) parāda, ka pozitīvām lēcām ir tendence dot palielinājumu, kas attiecīgi ietekmē nomērīto zīlītes izmēru, tomēr šī izmaiņa ir relatīvi maza. Ar +5,00 D lēcu vidējais nomērītais zīlītes izmērs ± SD bija 5,16 mm ± 0,11 mm, kas ir par

0,16 mm vairāk nekā izmantotās apertūras izmērs ($t = 10,71, p = 0,001$). Mīnus lēcas radīja daudz mazāku un statistiski nenozīmīgu vidējo samazinājuma efektu, kur zīlītes izmērs ar -5,00 D lēcu bija $4,97 \text{ mm} \pm 0,20 \text{ mm}$ ($t = -1,24, p = 0,22$). Kopējais diapazons zīlītes izmēra mērījumu neprecizitātei nepārsniedza 0,5 mm, kas 10,00 D lēcu diapazona izmaiņām vērtējams kā labs rādītājs. Balstoties uz šī pētījuma rezultātiem, jāņem vērā, ka gadījumos, kad pētījuma dizains paredz pielietot pozitīva stipruma provas lēcas, ir jāņem vērā to radītais palielinājuma efekts, lai iegūtu normalizēto zīlītes izmēru, ko pamatojoties uz mūsu iegūto ciešo korelāciju starp pozitīvās provas lēcas stiprumu un nomērīto zīlītes izmēru ($r = 0,91, p < 0,001$) varam ar 83 % efektivitāti prognozēt ar sekojošu vienādojumu:

$$NZ = ZPR - 0,0513 \times F + 0,0258 \quad (3.10.)$$

kur NZ - normalizētais zīlītes izmērs, ZPR - ar *PowerRef 3* iegūtais zīlītes izmērs, F - pieliktās pozitīvās provas lēcas stiprums.

3.2.3.4 Diskusija

Ražotāja nedefinētais zīlītes diametrs, kura gadījumā var veikt kvalitatīvus mērījumus, ir 4 mm līdz 8 mm, kas nozīmē, ka, plānojot pētījumu, jāņem vērā, ka gados vecākiem cilvēkiem acs zīlītes izmērs ir mazāks (Kasthurirangan & Glasser, 2006) un iekārtas pielietojums presbiopijas vecuma dalībniekiem būs ierobežots, it īpaši, fotopiskos un mezopiskos apstākļos. Gados jaunāku dalībnieku acu zīlītes skotopiskos un mezopiskos apstākļos vairumā gadījumu būs pietiekami lielas, lai veiktu mērījumus, bet fotopiskos apstākļos bieži vien mērījumi nebūs iespējami arī gados jauniem dalībniekiem. Skotopiskos apstākļos gados jaunākiem dalībniekiem acs zīlītes izmērs var būt arī lielāks par 8 mm, kas attiecīgi atkal ierobežos mērījumu iespējas. Tāpat arī gadījumos, kad mērījumus paredzēts veikt cikloplēģijā – zīlītes izmērs mēdz pārsniegt 8 mm. Šādos gadījumos rekomendējam izmantot mākslīgās zīlītes apertūru, kuru var iestiprināt provas ietvarā. Jāņem vērā arī to, ka dalībniekiem ar hipermetropiju ir mazāks zīlītes izmērs kā dalībniekiem ar emetropiju, savukārt, dalībniekiem ar miopiju ir lielāks zīlītes izmērs salīdzinājumā ar dalībniekiem, kam ir emetropija vai hipermetropija (Guillon et al., 2016). Nozīmīgs ir arī plānotais attālums, kādā mērījumi tiks veikti, jo tuvuma triādes reflekss paredz tiešu sakarību starp skatīšanās attālumu un zīlītes izmēru, kas tuvākos attālumos samazinās. Ja tiek izmantota spoguļu sistēma, jāreķinās, ka stimula novietošanas attālums nevar būt mazāks par 10 cm, jo to nepieļauj spoguļa slīpais novietojums. Praktiski novērotais apgaismojums, kurā var veikt akomodācijas

mērījumus 30 cm attālumā, saglabājot zīlītes izmēru >4 mm, jaunu dalībnieku grupā ir ap 15-20 lx. Jāatzīst, ka šādā apgaismojumā, kas definējams kā mezopiski apstākļi, akomodācijas atbilde ir samazināta un tiek novērota lielāka akomodācijas atpalikšana, salīdzinot ar *MEM* retinoskopijā iegūtajiem rezultātiem. Samazināta apgaismojuma ietekme uz akomodācijas funkcijām atspoguļota arī citos pētījumos (Chen et al., 2019; Mhairi Day, Gray, et al., 2009; Gray et al., 1993a). Apkopojot 10 dalībnieku ar emetropiju (vid. vecums \pm SD, 24 ± 2 gadi) akomodācijas atpalikšanas rezultātus 30 cm attālumā ar *PowerRef 3* tika iegūtas būtiski lielākas akomodācijas atpalikšanas vērtības (binokulāri $1,76 D \pm 0,31 D$; monokulāri $1,59 D \pm 0,67 D$) salīdzinājumā ar *MEM* ($0,38 D \pm 0,39 D$) un *Nott* ($0,39 D \pm 0,16 D$) retinoskopijas rezultātiem. Papildu iepriekšminētajam, jāņem vērā, ka iekārtas kontroles monitors arī izstaro gaismu un to jānovieto tā, lai tas neietekmētu pētījuma dalībnieka acs zīlīšu izmērus. Lai iegūtu simetrisku akomodācijas atbildi, svarīgi sekot līdzi, lai izmantotais stimulants ir novietots tieši perpendikulāri dalībnieka acīm un dalībnieka piere stingri piespiesta pieres balstam, neradot iespēju, ka labā un kreisā acs atrodas asimetriskā attālumā no stimula, kas attiecīgi var radīt atšķirīgu acs akomodācijas pieprasījumu. Iespējamā asimetriskā galvas novietojuma ietekme uz akomodācijas atbildi kļūst nozīmīgāka tuvākos skatīšanās attālumos. Veicot teorētiskus aprēķinus, 5 mm liela attāluma asimetrija 40 cm attālumā radītu ap 0,03 D lielas atšķirības starp labās un kreisās acs akomodācijas pieprasījumu, 30 cm attālumā ap 0,05 D un 20 cm attālumā ap 0,12 D. Tehniskie aspekti, kas nav norādīti ražotāja veidotajā lietotāja pamācībā, bet var noderēt darbā ar ekscentrisko fotorefraktometru *PowerRef 3* dažādu pamata refrakcijas, zīlītes izmēra, dalībnieka un stimula faktoru gadījumā, apkopoti Tabulā 3.10.

Tabula 3.10.

Pārskats par novērotajiem tehniskajiem aspektiem, kas jāņem vērā darbā ar ekscentrisko fotorefraktometru *PowerRef 3*

Aspekts	Īss paskaidrojums
Pamata refrakcija	<ul style="list-style-type: none"> Pat, ja dalībnieki tiek atlasīti ar emetropiju, neliels daudzums objektīvās refrakcijas tomēr pastāv. Ja tiek analizēta kāda parametra izmaiņa divās situācijās, tad nav nepieciešams obligāti veikt datu normalizēšanu pamata refrakcijai, bet, ja paredzēts analizēt iegūtās vērtības kvantitatīvi (akomodācijas atpalikšana, akomodācijas rezerves u.c.), tad pārrēķins jāveic;

Tabulas 3.10. turpinājums

	<ul style="list-style-type: none"> • Ja mērījumus paredzēts veikt ar proves lēcām vai briļļu korekciju, tad jāveic iegūtā refrakcijas apjoma pārrēķins, ņemot vērā verteksa attālumu izmantojot formulu 3.9.; • Mērījumus var veikt ar kontaktlēcām, tad iegūtā refrakcijas apjoma pārrēķins, ņemot vērā verteksa attālumu, nav nepieciešams.
<p>Zīlītes izmērs</p>	<p>Lai arī iekārtas ražotājs ir precīzi norādījis pieļaujamo zīlītes izmēru (4-8 mm), tika novērotas sekojošas papildu nianses, kas būtu jāņem vērā:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lai nodrošinātu zīlītes izmēru tuvumā vismaz 4 mm, nepieciešams salīdzinoši zems telpas apgaismojums (ap 15-20 lx). Tika novērots, ka monokulāru mērījumu gadījumā zīlītes izmērs tuvumā būs nedaudz lielāks nekā binokulāri, kad pilnībā darbojas tuvuma triāde; • Lai arī iekārtas specifikācijā nav minēts ierobežojošs minimālais attālums, kādā var veikt mērījumus, tehniski tuvākais stimula novietojums ir uzreiz aiz spoguļa 10 cm attālumā, tomēr praktiski šādā attālumā tuvuma triādes reflekss ir tik spēcīgs, ka zīlītes izmērs ir ap 3 mm. Praktiski tuvākais attālums, kurā dabiskas zīlītes izmēra apstākļos var veikt mērījumus ir ap 25 cm; • Ja mērījumi tiek veikti cikloplēģijā, tad zīlītes izmērs vairumā gadījumu būs ≥ 8 mm un iekārta ziņos, ka zīlītes izmērs ir pārāk liels. Šāda tipa pētījumiem rekomendējams uzreiz ielānot mākslīgās apertūras pielietošanu; • Iekārtas monitoru jānovieto tā, lai tā izstarotā gaisma nenāktu izteikti no vienas puses, tādējādi veidojot asimetrisku apgaismojumu starp acīm (vislabāk monitoru pagriezt perpendikulāri optiskajam ceļam); • Ja mērījumus paredzēts veikt ar proves lēcām vai briļļu korekciju, tad jāņem vērā lēcas radītais palielinājums pozitīvu lēcu gadījumā un jāveic zīlītes izmēra normalizēšana pēc formulas 3.10.
<p>Dalībnieku faktori</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kā svarīgs faktors tika novērota dalībnieku asaru kvalitāte, jo tiem, kam ir tendence uz sausās acs sindromu bija nepieciešama bieža mirkšķināšana, kas tālāk apgrūtināja datu apstrādi un bija daudz iztrūkstošo datu. Ieteikums būtu atlasīt dalībniekus, kam asaru plēvītes plīšanas laiks ir ≥ 15 sekundes; • Iekārtas algoritms balstīts uz tīklenes atstarotās gaismas daudzuma izteikšanu dioptrijās, kas kalibrēts eiropēdu rases dalībniekiem, tāpēc kvalitatīva mērījumu veikšana un datu interpretācija nav iespējama dalībniekiem no etniskās

Tabulas 3.10. turpinājums

	<p>piederības grupām, kam raksturīga tumša ādas krāsa un palielināts tīklenes pigmenta daudzums;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gados jauniem dalībniekiem, mezopiskos apstākļos mēdz būt zīlītes izmērs ≥ 8 mm, ko var risināt, palielinot apgaismojumu vai izmantojot apertūru; • Gados vecākiem dalībniekiem ir daudz grūtāk nodrošināt zīlītes izmēru ≥ 4 mm, ko var risināt samazinot apgaismojumu vai izmantojot zīlīti paplašinošos medikamentus, piemēram, <i>S.Mydriacyl 0,5 %</i>, tomēr tādā gadījumā jāņem vērā tā ietekme uz acs akomodācijas funkcijām.
<p>Stimulu faktors</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Jāņem vērā, ka, ja paredzētais stimuluss ir digitāls (piemēram, tiek rādīts telefonā vai planšetdatorā), tad ierīce izstaro papildu apgaismojumu, kas var radīt mazāku zīlītes izmēru; • Jāseko, lai stimulss tiktu novietots stabili (bet uz 2 kājām, lai neaizsegtu kameras ceļu) un, svarīgākais – perpendikulāri dalībnieka acīm, lai attālums līdz stimulumam un attiecīgais akomodācijas pieprasījums abām acīm būtu līdzvērtīgs; • Ja mērījumi tiek veikti monokulāri, tad vēlams stimulu centrēt tieši pret konkrēto mērījuma aci, lai izvairītos no konverģentas acs pozīcijas.

3.2.3.5 Secinājumi

1. Lai ekscentriskās fotorefraktometrijas iekārtas *PowerRef 3* mērījumi būtu precīzi, nepieciešams veikt iegūtās objektīvās acs akomodācijas atbildes normalizēšanu, ņemot vērā pamata objektīvo refrakciju, un, ja mērījumu laikā tiek izmantotas provas lēcas, nepieciešams koriģēt lēcas efektīvo stiprumu ņemot vērā verteksa attālumu.
2. Objektīvo acs akomodācijas pētījumu plānošanā jāņem vērā tādi faktori, kā ierobežots minimālais mērījuma attālums, mezopiskie apgaismojuma apstākļi, pievienoto provas lēcu radītie palielinājuma vai samazinājuma efekti kā arī dalībnieku asaru stabilitāte.
3. Tika atrasta cieša korelācija starp pozitīvo provas lēcu stiprumu un nomērīto zīlītes izmēru ($r = 0,91, p < 0,001$) un piedāvāts veids, kā veikt zīlītes izmēra normalizēšanu gadījumos, kad mērījumus paredzēts veikt ar pozitīvām provas lēcām.

Pirmais un otrais secinājums izmantoti darba trešās tēzes formulēšanai.

3.2.4 Klīnisko akomodācijas testu papildināšana ar objektīviem mērījumiem

3.2.4.1 Dalībnieki

Konkrētā pētījuma apakšsadaļas realizēšanai tika piesaistīti kopā 12 dalībnieki ar vidējo vecumu 26 ± 4 gadi bez diagnosticētām acu patoloģijām vai binokulārās redzes traucējumiem, kam ar katru aci ir iespējams iegūt redzes asumu vismaz 1,0 (decimālās vienības) gan tālumā, gan tuvumā. Visiem dalībniekiem bija emetropija, kas tika definēta kā subjektīvi piemeklētās refrakcijas kļūdas sfēriskais ekvivalents (SE), kas nepārsniedz -0,50 D vai +0,50 D un pieļaujams fizioloģiskais astigmātisms, kas nepārsniedz 0,75 D. Vidējais visu dalībnieku SE \pm SD labajā acī bija $-0,06 \pm 0,36$ D un kreisajā acī $+0,04 \pm 0,34$ D. Kā papildus atlasas kritēriji tika noteikti dalībnieku zīlītes diametrs vismaz 4 mm mezopiskos apstākļos (15 līdz 20 lx) un augsta vai vidēji augsta asaru plēvītes stabilitāte (FBUT ≥ 15 sekundes), kas ļauj nodrošināt dinamiskos mērījumus ar pēc iespējas mazāk zaudētiem datiem mirkšķināšanas laikā. Pētījums veikts saskaņā ar Helsinku deklarāciju un saskaņots ar LU EKMI (Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta) Zinātniskās izpētes ētikas komisiju. Visi pētījuma dalībnieki parakstīja informētās piekrišanas veidlapu, tādejādi paužot savu piekrišanu dalībai pētījumā.

3.2.4.2 Metode

Lai veiktu klīniskā relatīvo akomodācijas rezervju mērījuma papildināšanu ar objektīvo datu komponenti, tika izmantota ekscentriskās fotorefraktometrijas iekārta *PowerRef 3* (sīkāk aprakstīts apakšnodaļā 3.2.3.1). Sākumā tika noteikta objektīvā refrakcija tālumā, veicot 10 sekunžu mērījumu ar skatu 7 m attālumā uz $1,15^\circ$ lielu Maltas krusta stimulu. Akomodācijas mērījumi tika veikti kontrolētā 40 cm attālumā (izmantots zoda un pieres balsts), akomodācijas stimuluss tika pielīdzināts klīniskajos testos izmantotajai 5x5 burtu matricai, kur burtu izmērs atbilda redzes asumam 0,8 (decimālās vienības) un kopējais matricas izmērs uz tīklenes 40 cm attālumā bija $1,15^\circ$. Līdzīgi kā klīnisko testu vadlīnijās minēts (Scheiman & Wick, 2019), no sākuma tika pārbaudīta maksimālā acs akomodācijas spēja atslābināties (negatīvās rezerves) un pēc tam spēja sasprindzināties (pozitīvās rezerves). Relatīvo akomodācijas rezervju mērījumi tika veikti binokulāros apstākļos, kad atbildes nodrošināšanā piedalās gan acs akomodācijas, gan vergences sistēma. Jāuzsver, ka tikai binokulāri veiktie mērījumi raksturo relatīvās akomodācijas rezerves. Tomēr mērījumi tika veikti arī monokulāri, jo tas ļauj izvērtēt vergences sistēmas iesaisti relatīvo akomodācijas rezervju atbildes nodrošināšanā, kā arī izšķirt

tīru akomodācijas atbildi. Monokulārie mērījumi visiem dalībniekiem tika iegūti no kreisās acs, kamēr labā acs tika okludēta ar IS filtra palīdzību. Mērījumi tika veikti sekojošā secībā ar soli 0,50 D:

- 1) Negatīvās relatīvās akomodācijas rezerves (binokulāri);
- 2) Negatīvās akomodācijas rezerves (monokulāri);
- 3) Pozitīvās relatīvās akomodācijas rezerves (binokulāri);
- 4) Pozitīvās akomodācijas rezerves (monokulāri).

Lai realizētu subjektīvās atbildes un objektīvās komponentes apvienošanu akomodācijas rezervju mērījumos, tika izveidotas specifiskas instrukcijas. Dalībniekiem bija jāziņo par skaidru attēlu un jāspēj to noturēt 5 sekundes, kamēr pētījuma vadītājs skaļi skaita līdz pieci: “viens, divi, trīs, četri, ciet”, kur piektā sekunde tiek apzīmēta ar vārdu “ciet”, kas nozīmē, ka dalībnieks aizver acis. Tikmēr datu ieguve par akomodācijas atbildi nenotiek un pētījuma vadītājs var nomainīt proves lēcas (pētījumā izmantotais maksimālais diapazons: no 0,00 līdz +3,00 D negatīvajām rezervēm un no 0,00 līdz -5,00 D pozitīvajām rezervēm, solis 0,50 D). Sasniedzot individuālo acs akomodācijas maksimālo atslābšanas vai saspringšanas līmeni, dalībnieks stimulu redz miglainu un klīnisko testu gadījumā ziņo, ka nespēj vairāk izlasīt. Šī pētījuma realizācijā dalībnieks nesniedza mutisku atbildi, bet tā vietā pēc 5 sekundēm, izdzirdot mutisku signālu “ciet” acis neaizvēra, bet turpināja skatīties, tādejādi pētījuma vadītājs zināja, ka tiek sasniegta maksimālā akomodācijas saspringšanas vai atslābšanas pozīcija. Ja dalībnieks nespēja saskatīt skaidru attēlu vairāk kā 10 sekundes, tad pētījums tika pārtraukts un, kā subjektīvā testa gala rezultāts tika pieņemts iepriekšējais lēcas solis, ar kuru stimulš vēl bija redzams skaidri.

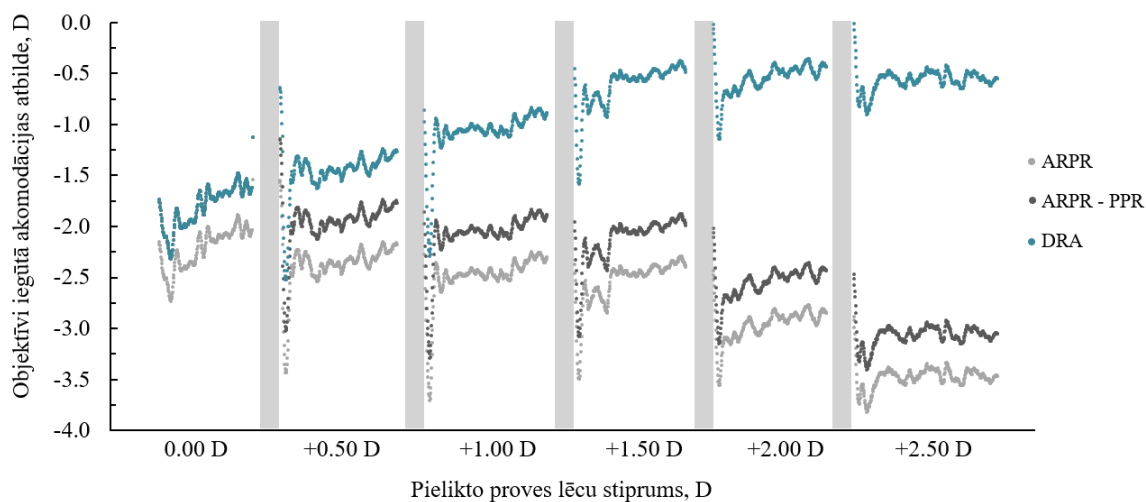
3.2.4.2.1 Datu apstrāde

Lai iegūtie objektīvie dati būtu pareizi interpretējami, tika veikta mirkšķināšanas datu dzēšana (aprakstīts 3.2.3.2. nodaļā), pamata tāluma refrakcijas un izmantotās proves lēcas kompensācija. Neskatoties uz to, ka dalībnieki tika atlasīti ar emetropiju un attiecīgi tālumā novērotā refrakcijas kļūda bija ļoti maza, tas tika ņemts vērā gala acs akomodācijas atbildes pārrēķinā, lai izslēgtu atšķirīgu akomodācijas atbildes interpretāciju starp abām acīm, kas varētu būt radusies tieši nelielo refrakcijas kļūdu atšķirības dēļ. Katrs iegūtais dinamiskās akomodācijas atbildes datu punkts tika pārrēķināts pēc sekojošas formulas:

$$DRA = (ARPR - PPR) + F_e \quad (3.11.)$$

kur DRA – dinamiskā akomodācijas rezervju atbilde (D), $ARPR$ – objektīvi iegūtā akomodācijas atbilde ar *PowerRef 3* tuvumā (D), PPR – pamata objektīvā refrakcija mērīta ar *PowerRef 3* skatoties tālumā (D) un F_e – pievienoto provē lēcu efektīvais stiprums (D).

Formulas pirmā daļa $ARPR - PPR$ nepieciešama, lai iegūtā akomodācijas atbilde tiktu kompensēta atbilstošajai pamata refrakcijai tālumā. Piemēram, divu dalībnieku iegūtā akomodācijas atbilde $ARPR = -2,00$ D atšķirīgi pārveidojās atkarībā no tā, vai dalībnieka refrakcija ir vairāk miopiska vai hipermetropiska ($-1,00$ D miopijas gadījumā reālais akomodācijas pieprasījums ir mazāks ($DRA = -2,00 - (-1,00) + F_e = -1,00$ D + F_e), bet $+1,00$ D hipermetropijas gadījumā lielāks ($DRA = -2,00 - (+1,00) + F_e = -3,00$ D + F_e). Formulas otrā daļa paredz pieskaitīt izmantotās provē lēcas stiprumu, kas negatīvo rezervju gadījumā ir ar + zīmi, bet pozitīvo rezervju gadījumā ar - zīmi (piemēram, situācijā, kad pievienoto provē lēcu stiprums $F = \pm 2,50$ D, $F_e = +2,58$ D un $-2,42$ D: negatīvā $DRA = -2,00 - (+1,00) + F_e = -3,00 + 2,58 = -0,42$ D un pozitīvā $DRA = -2,00 - (-1,00) + F_e = -1,00 + (-2,42) = -3,42$ D). Iegūtie rezultāti pirms un pēc pārrēķina redzami Att. 3.23.



Att. 3.23. Objektīvi iegūtā akomodācijas atbilde negatīvo akomodācijas rezervju mērījuma (0,00 D līdz +2,50 D ar soli 0,50 D) laikā. Attēlā uzskatāmi, pa soļiem parādīts, kā nonāk līdz analizējamajiem datiem (zilās līknes) – vispirms tiek iegūta objektīvā akomodācijas atbilde tuvumā ($ARPR$), tālāk katrs datu punkts tiek precizēts atbilstoši katra indivīda pamata refrakcijas sfēriskajam ekvivalentam, kas iegūts skatoties tālumā ($ARPR-PPR$, konkrētajā piemērā $PR = -0,41$ D). Kā pēdējais un būtiskākais solis tiek ņemts vērā pievienotās provē lēcas efektīvais stiprums (F_e), kas pēc formulas ($ARPR-PPR$) + F_e ļauj noteikt gala dinamisko akomodācijas rezervju atbildi (DRA). Ar pelēkajiem stabiņiem apzīmēti lēcu nomaiņas posmi.

Vidējais iegūto datu daudzums 5 sekunžu laikā bija ap 240 ± 20 datu punktiem, kas negatīvo rezervju gadījumā tika iegūti maksimāli ar 7 lēcu soļiem un pozitīvo rezervju gadījumā ar 11 soļiem, ļaujot veidot grafiskos attēlus, kas sastāv atbilstoši no apmēram 1680 un 2640 datu punktiem. Vidējais laiks, kas bija nepieciešams proves lēcu nomaiņai, nepārsniedza 5 sekundes.

3.2.4.2.2 Datu analīze

Pamata dinamiskās akomodācijas atbildes interpretācijai tika izvēlēta datu grafiskā attēlošana, jo tas ļauj uzskatāmi parādīt gan atšķirības starp dažādiem lēcu soļiem, gan atšķirības monokulāros un binokulāros apstākļos, kā arī salīdzināt dinamisko akomodācijas atbildi starp abām acīm un vizualizēt akomodācijas mikrofluktuāciju lielumu laikā. Akomodācijas mikrofluktuācijas raksturo akomodācijas atbildes stabilitāti, kas detalizētāk aprakstīts nodaļā 2.6.2.2. Mikrofluktuāciju kvantitatīvais aprēķins tika veikts pēc sekojošas formulas:

$$\text{Akomodācijas mikrofluktuācijas} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.12.)$$

kur n – dinamiskās akomodācijas atbildes datu punktu skaits, x_i – katrs individuālais ar *PowerRef 3* iegūtais akomodācijas atbildes datu punkts (D), \bar{x} – vidējā ar *PowerRef 3* iegūtā akomodācijas atbilde.

Gan pozitīvās ($p > 0,15$, *Šapiro-Vilka* tests), gan negatīvās ($p > 0,10$, *Šapiro-Vilka* tests) relatīvās akomodācijas objektīvās datu komponentes rezultāti pielietoto lēcu diapazonā atbilda normālsadalījumam, kas ļauj detalizētākai analīzei pielietot parametriskos testus.

3.2.4.3 Rezultāti

3.2.4.3.1 Izstrādātās metodikas potenciālais pielietojums

Gan subjektīvā relatīvās akomodācijas mērījuma, gan objektīvās akomodācijas atbildes komponentes iegūšana 40 cm attālumā izvēlēto proves lēcu diapazonā (PRA no 0,00 līdz -5,00 D un NRA no 0,00 līdz +2,50 D) attēlota Tabulā 3.11. Lai aprakstītu metodikas potenciālo pielietojuma efektivitāti, tika noteikts derīgo objektīvo mērījumu daudzums pie katra lēcu soļa negatīvo un pozitīvo akomodācijas rezervju novērtēšanā gan monokulāros, gan binokulāros apstākļos. Derīgo mērījumu skaits tika izteikts procentuāli, ņemot vērā konkrēto dalībnieku klīniski veikto subjektīvo akomodācijas rezervju mērījumu iegūtos rezultātus.

Tabula 3.11.

Dalībnieku skaits, kas pozitīvo (PRA) un negatīvo (NRA) akomodācijas rezervju gadījumos ar konkrētajām provēs lēcām vēl varēja redzēt skaidri (subjektīvā testa gadījumā) vai bija iespējams iegūt derīgus objektīvās komponentes datus (objektīvo mērījumu gadījumā).

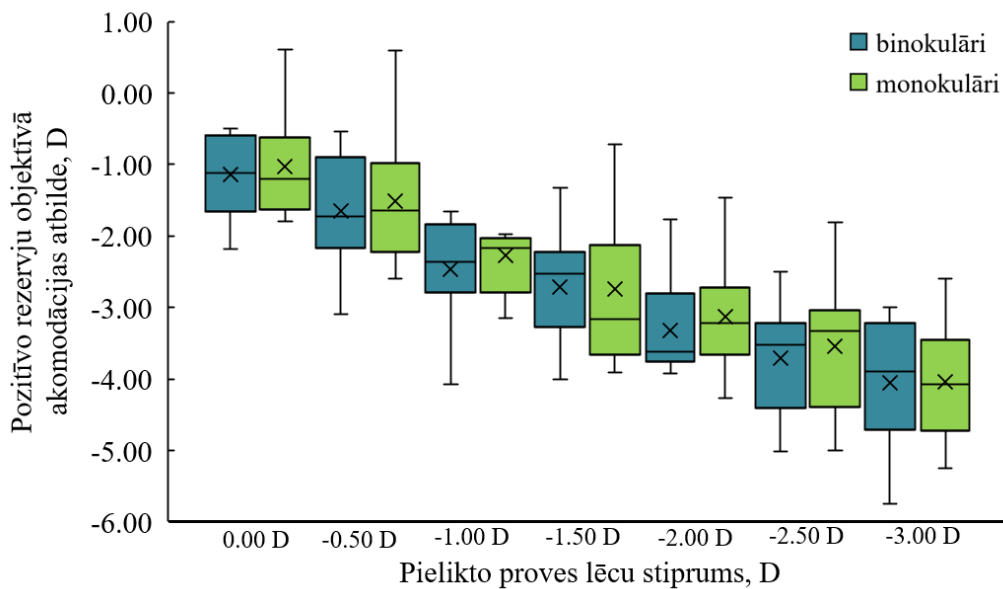
		Dalībnieku skaits, kam varēja iegūt subjektīvo atbildi (gab)		Dalībnieku skaits, kam varēja iegūt objektīvo atbildi (gab)		Dalībnieku % daudzums, kam izdevās iegūt objektīvo komponenti	
		binokulāri	monokulāri	binokulāri	monokulāri	binokulāri	monokulāri
PRA, D	0,00	12	12	12	12	100	100
	-0,50	12	12	12	12	100	100
	-1,00	12	12	12	12	100	100
	-1,50	12	12	12	10	100	83
	-2,00	12	12	10	10	83	83
	-2,50	12	12	10	10	83	83
	-3,00	10	12	9	9	90	75
	-3,50	9	12	7	8	78	67
	-4,00	9	12	4	7	44	58
	-4,50	7	12	3	6	43	50
	-5,00	5	11	2	5	40	45
NRA, D	0,00	12	12	12	12	100	100
	+0,50	12	12	12	12	100	100
	+1,00	12	12	12	12	100	100
	+1,50	12	12	12	12	100	100
	+2,00	11	11	11	11	100	100
	+2,50	9	9	9	9	100	100

Iegūtie rezultāti (skat. Tabula 3.11.) parāda, ka NRA gadījumā objektīvo datu komponente tika iegūta 100 % apmērā visu pievienoto provēs lēcu soļu diapazonā un vienīgie mērījumu ierobežojošie faktori dažiem dalībniekiem bija klīniski samazinātas negatīvās akomodācijas rezerves pie provēs lēcas soļiem +2,00 D (n = 1) un +2,50 D (n = 3), kas ļauj secināt, ka negatīvo akomodācijas rezervju klīniskā testa papildināšana ar objektīvo datu komponenti ir veiksmīgi realizējama ar ekscentriskās fotorefraktometrijas metodes palīdzību. PRA mērījumu veikšanai tika izvēlēts plašāks pievienoto provēs lēcu diapazons (līdz -5,00 D), ko binokulāros apstākļos subjektīvā testa laikā izdevās sasniegt mazāk kā pusei dalībnieku, savukārt, objektīvo datu komponentes iegūšana tika būtiski traucēta tad, ja pievienotās provēs lēcas pārsniedza -3,00 D. Iemesli sīkāk aprakstīti 3.2.3.4. nodaļā *Diskusija*, kur kā galvenais

mērījumu iegūšanu ierobežojošais faktors bija acs zīlītes izmērs mazāks par 4 mm, kas skaidrojams ar sajūgto akomodācijas un zīlītes atbildēm, kur pie akomodācijas saspringšanas (ierosina PRA mērījuma procedūra) notiek arī zīlītes sašaurināšanās. Līdz ar to tālākai PAR analīzei tika izmantoti rezultāti, kas iegūti ar lēcām diapazonā no -0,50 D līdz -3,00 D.

3.2.4.3.2 Pozitīvo akomodācijas rezervju objektīvie mērījumi

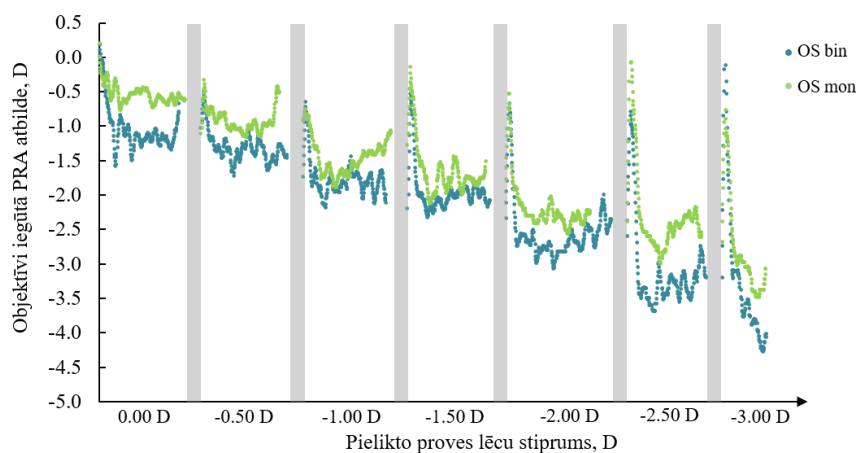
Pielikto provē lēcu stiprums būtiski ietekmē objektīvi iegūtās pozitīvās akomodācijas atbildes lielumu ($F(10,173)=35,67$, $p < 0,001$). Novērojama cieša, pozitīva saistība starp pieliktās provē lēcas stiprumu un iegūto atbildi gan monokulāros ($r = 0,78$ ($p > 0,001$), *Pīrsona* korelācija), gan binokulāros apstākļos ($r = 0,87$ ($p > 0,001$), *Pīrsona* korelācija). Tas ļauj secināt, ka objektīvo datu komponentes iegūšana ir izdevusies veiksmīgi un ar objektīviem datiem ir iespējams atkārtot un papildināt klīniskās metodes iegūtos rezultātus.



Att. 3.24. Vidējie objektīvi iegūtie akomodācijas dati pozitīvo rezervju mērījuma laikā 40 cm attālumā, atkarībā no pielikto provē lēcu stipruma ($n = 10$). Attēloti dati, kas iegūti provē lēcu diapazonā līdz -3,00 D (ieskaitot). Kastveida diagrammas malas nosaka pirmā un trešā kvartile, horizontālā līnija attēlo mediānu, x attēlo vidējo vērtību un papildlīnijas attēlo minimālo un maksimālo vērtību.

Lai novērtētu atšķirību starp pozitīvo akomodācijas rezervju apjomu monokulāros un binokulāros apstākļos, kā arī izvērtētu pielikto provē lēcu ietekmi un abu iepriekšminēto faktoru savstarpējo ietekmi uz acs akomodācijas objektīvo atbildi, tika veikta divfaktoru

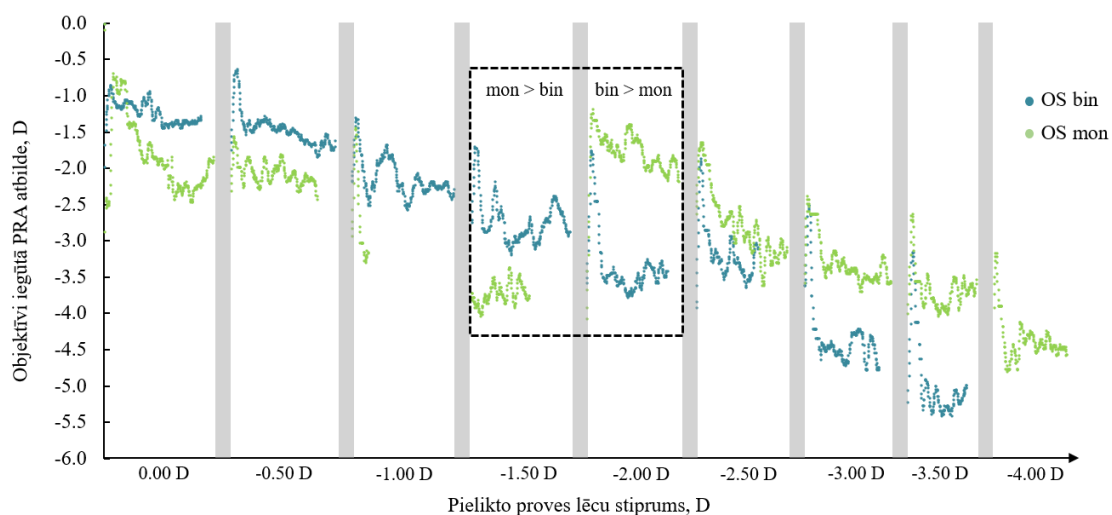
dispersijas analīze ar atkārtojumiem ANOVA (*two-way ANOVA with replication*). Iegūtie rezultāti parāda, ka nav novērojama statistiski nozīmīga atšķirība starp objektīvi iegūtajiem pozitīvās akomodācijas rezerves mērījumiem monokulāros un binokulāros apstākļos ($F(1,173)=0,881, p = 0,349$), kā arī pieliktās proves lēcas stiprums kā mijiedarbības faktors nav statistiski nozīmīgs ($F(10,173)=0,249, p = 0,99$). Tas ļauj secināt, ka analizējot datus grupā (skat. Att. 3.24.), nevaram novērot atšķirības starp binokulāri un monokulāri objektīvi iegūtajiem pozitīvās akomodācijas rezervju mērījumiem proves lēcu diapazonā līdz -3,00 D. Arī vidējā objektīvi iegūtā akomodācijas atpalikšana \pm SD monokulāros ($1,39 \pm 0,11$ D) un binokulāros ($1,28 \pm 0,13$ D) apstākļos nebija būtiski atšķirīga ($F(1,173)=0,881, p = 0,349$). Tomēr, ja kvantitatīvās analīzes vietā aplūkojam kvalitatīvu datu analīzi, kas sākotnēji balstīta uz datu vizualizāciju, tad relatīvās akomodācijas atbildes objektīvo komponenti varam aprakstīt sekojoši: 6 dalībniekiem nav novērojamas atšķirības starp atbildi binokulāros un monokulāros apstākļos, 3 dalībniekiem novērojams, ka binokulārā akomodācijas atbilde ir spēcīgāka nekā monokulārā (skat. Att. 3.25.), 1 dalībniekam testa laikā sakarība mainās (skat. Att. 3.26., kur sākumā spēcīgāka atbilde monokulāri, bet palielinot proves lēcu līdz -2,00 D spēcīgāku atbildi novēro binokulāri). Diviem dalībniekiem iegūto objektīvo datu daudzums binokulāros un monokulāros apstākļos nebija pietiekams, lai varētu izvērtēt sakarību.



Att. 3.25. Pozitīvo acs akomodācijas rezervju objektīvās komponentes piemērs viena dalībnieka kreisai acij, kur būtiski stiprāka akomodācijas atbilde vērojama binokulāros apstākļos. Ar pelēkajiem stabiņiem apzīmēti lēcu nomaiņas posmi.

Dalībniekam ar stiprāku akomodācijas atbildi binokulāros apstākļos (skat. Att. 3.25.), vidējā atšķirība starp binokulāro un monokulāro atbildi \pm SD visu pielikto proves lēcu diapazonā ir $0,51 \pm 0,22$ D. Pārējiem diviem dalībniekiem, kam arī tika novērota stiprāka

akomodācijas atbilde binokulāri, vidējā atšķirība starp binokulāro un monokulāro atbildi bija $1,12 \pm 0,55$ D un $1,28 \pm 0,30$ D. Interesanti, ka visiem trim dalībniekiem, kam tika novērota būtiski zemāka objektīvā akomodācijas atbilde monokulāros apstākļos visu pievienoto provē lēcu soļu diapazonā, subjektīvā klīniskā pozitīvās akomodācijas atbilde bija vismaz $-4,00$ D (gan binokulāri, gan monokulāri) un akomodācijas vieglums vismaz 13 cikli/minūtē. Abu minēto klīnisko testu atradnes atbilst normai un varam secināt, ka objektīvās akomodācijas atbildes komponente ir sniegusi būtisku papildu informāciju par akomodācijas sistēmas darbību binokulāros un monokulāros apstākļos, ko nebija iespējams iegūt tikai ar klīnisko testu rezultātiem.



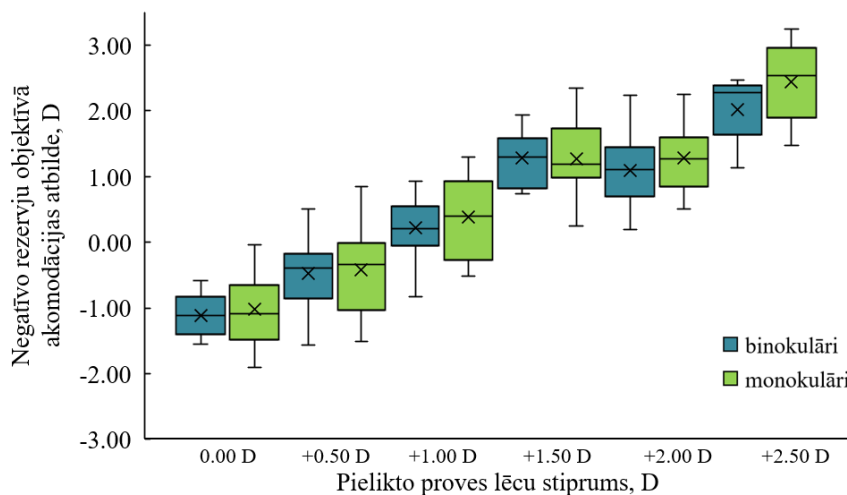
Att. 3.26. Pozitīvo acs akomodācijas rezervju objektīvās komponentes piemērs viena dalībnieka kreisai acij, kur sākumā, relatīvi zema akomodācijas pieprasījuma apstākļos stiprāka atbilde vērojama monokulāros apstākļos, bet palielinot pievienotās provē lēcas stiprumu līdz $-2,00$ D spēcīgāku atbildi novēro binokulāros apstākļos (skat. laukumu, kas iezīmēts ar pārtrauktu līniju). Ar pelēkajiem stabiņiem apzīmēti lēcu nomaiņas posmi.

Vienam dalībniekam tika novērota netipiska akomodācijas atbilde (skat. Att. 3.26.). Sākumā pie relatīvi zema akomodācijas pieprasījuma stiprāka atbilde vērojama monokulāros apstākļos, bet, palielinot akomodācijas pieprasījumu un pievienotās provē lēcas stiprumu līdz $-2,00$ D, spēcīgāku atbildi novēro binokulāros apstākļos. Šī dalībnieka klīnisko testu rezultāti parāda gan labas acs akomodācijas atslābināšanās spējas (NRA $+2,50$ D), gan izteikti augstas acs akomodācijas sasprindzināšanās spējas (PRA $-5,00$ D), turklāt vienādā apjomā gan binokulāros, gan monokulāros apstākļos. Arī akomodācijas vieglums konkrētajam dalībniekam ir ļoti labs: binokulāri 15 cikli/minūtē, monokulāri 16 cikli/minūtē. Interesanti, ka tieši šis dalībnieks pēc pētījuma beigām informēja, ka esot izjutis galvas reibšanu, līdzsvara

traucējumus un vieglas galvassāpes pēc eksperimenta beigām. Iespējams šis piemērs demonstrē akomodācijas objektīvās komponentes potenciālo pielietojumu nestandarta gadījumiem, kur akomodācijas un vergēnces sadarbības apjoms mainās atkarībā no tuvuma darbu slodzes, kas iespējams var palīdzēt izskaidrot arī netipiskas astenopiskas sūdzības, kur klīnisko testu atradnes ir normas robežās.

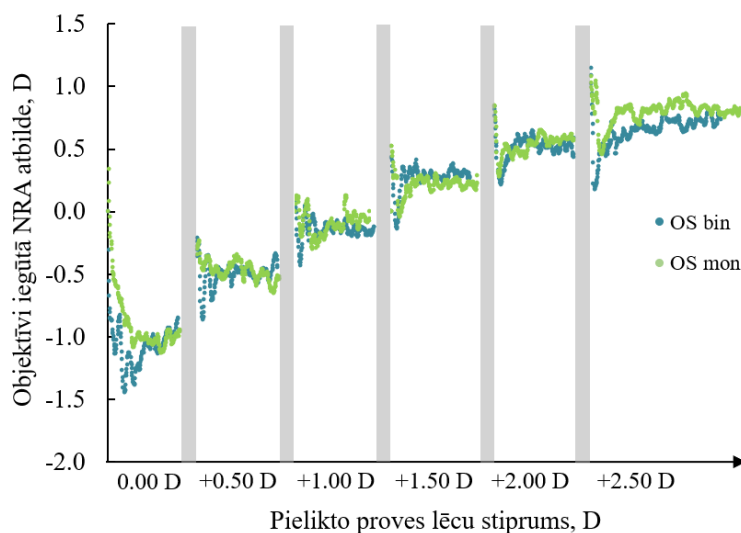
3.2.4.3.3 *Negatīvo akomodācijas rezervju objektīvie mērījumi*

Pielikto proves lēcu stiprums būtiski ietekmē objektīvi iegūtās negatīvās akomodācijas atbildes lielumu ($F(5,124)=110,38, p < 0,001$). Novērojama cieša, pozitīva saistība starp pieliktās proves lēcas stiprumu un iegūto atbildi gan monokulāros ($r = 0,88 (p < 0,001)$, *Pīrsona* korelācija), gan binokulāros apstākļos ($r = 0,90 (p < 0,001)$, *Pīrsona* korelācija). Tas ļauj secināt, ka objektīvo datu komponentes iegūšana arī negatīvo rezervju mērījumiem ir izdevusies veiksmīgi un objektīvie dati ļauj atkārtot un papildina ar klīnisko metodi iegūtos rezultātus. Lai analizētu datus grupā ($n = 12$), tika veikta divfaktoru dispersijas analīze ar atkārtojumiem ANOVA. Netika novērota statistiski nozīmīga atšķirība starp objektīvi iegūtajiem pozitīvās akomodācijas rezerves mērījumiem monokulāros un binokulāros apstākļos ($F(1,124)=2,778, p = 0,098$), kā arī pieliktās proves lēcas stiprums kā mijiedarbības faktors nav statistiski nozīmīgs ($F(5,124)=0,381, p = 0,86$). Tas ļauj secināt, ka, analizējot rezultātus grupā, nav būtiskas atšķirības starp binokulāri un monokulāri objektīvi iegūtajiem pozitīvās akomodācijas rezervju mērījumiem (skat. Att. 3.27) proves lēcu diapazonā līdz +2,50 D.



Att. 3.27. Vidējie objektīvi iegūtie akomodācijas dati negatīvo rezervju mērījuma laikā 40 cm attālumā, atkarībā no pielikto proves lēcu stipruma ($n = 12$). Attēloti dati, kas iegūti proves lēcu diapazonā līdz +2,50 D (ieskaitot). Kastveida diagrammas malas nosaka pirmā un trešā kvartile, horizontālā līnija attēlo mediānu, x attēlo vidējo vērtību un papildlīnijas attēlo minimālo un maksimālo vērtību.

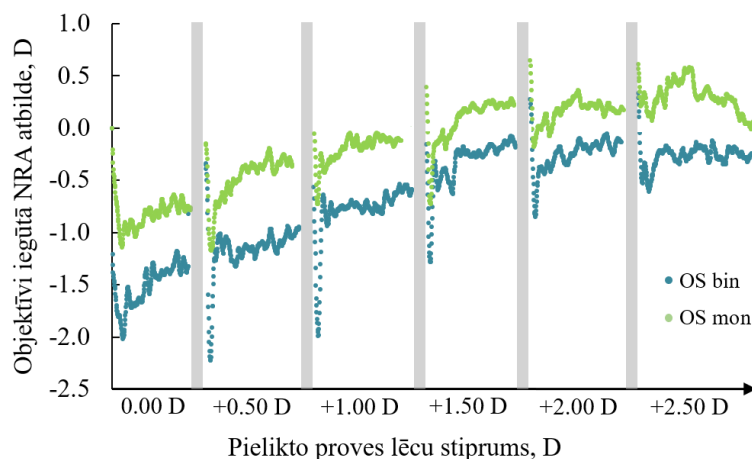
Kvalitatīvā datu analīze, kas sākotnēji balstīta uz datu vizualizāciju, parāda, ka sešiem no 12 dalībniekiem objektīvā NRA komponente binokulāros un monokulāros apstākļos ir līdzvērtīga. Kā piemēru šāda tipa rezultātam var aplūkot Att. 3.28., kurā atspoguļoti viena dalībnieka objektīvie akomodācijas atbildes dati kreisajai acij.



Att. 3.28. Acs akomodācijas negatīvo rezervju objektīvās komponentes piemērs viena dalībnieka kreisai acij, kur binokulārā atbilde ir vienāda ar monokulāro atbildi. Šāda sakarība tika novērota 6 dalībniekiem. Ar pelēkajiem stabiņiem apzīmēti lēcu nomaiņas posmi.

Četriem dalībniekiem monokulāros apstākļos acs akomodācija atslābinās labāk nekā binokulāros apstākļos (skat. Att. 3.29.), savukārt, diviem dalībniekiem novēro pretējo (skat. Att. 3.30.).

Ja četri dalībnieki, kam NRA monokulāri > NRA binokulāri, tiek analizēti atsevišķi, tad vidēji monokulāros apstākļos acs akomodācija atslābinās par $0,59 \pm 0,16$ D labāk nekā binokulāros apstākļos ($F(1,36)=15,398, p < 0,001$), neatkarīgi no pielikto provē lēcu stipruma ($F(5,36)=0,203, p = 0,959$).

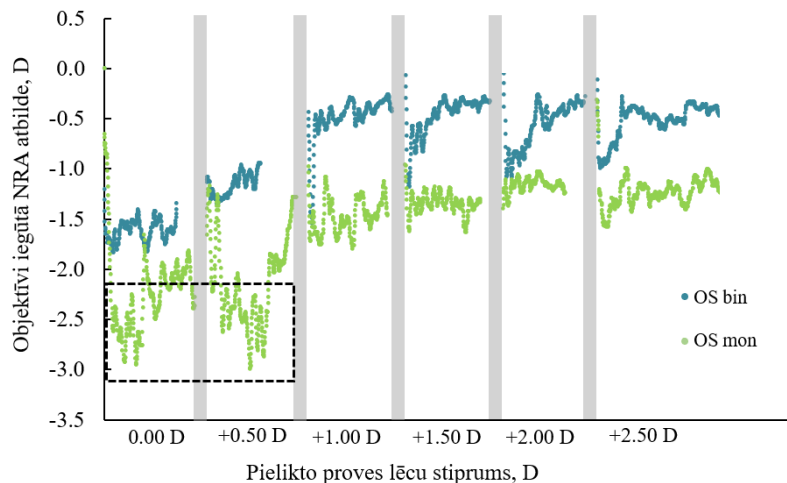


Att. 3.29. Acs akomodācijas negatīvo rezervju objektīvās komponentes piemērs viena dalībnieka kreisai acij, kur monokulāri novēro labāku akomodācijas atslābšanu nekā binokulāri. Šāda sakarība tika novērota 4 dalībniekiem. Ar pelēkajiem stabiņiem apzīmēti lēcu nomaiņas posmi.

Diviem dalībniekiem visā NRA pievienoto lēcu diapazonā tika novērota sakarība, ka binokulāros apstākļos akomodācija atslābinās labāk nekā monokulāros apstākļos. Interesanti, ka abiem dalībniekiem ar šādu tendenci novērojama zema akomodācijas atpalikšana vai pat akomodācijas pārsvars tieši monokulāros apstākļos (skat. Att. 3.30.), kas klīniski var tikt interpretēts kā tendence uz pastiprinātu akomodācijas saspringumu jeb ekscesu. Iegūtā atšķirība starp binokulāro un monokulāro atbildi šādā situācijā raksturo to, ka acs akomodācija ir pārlietu sasprindzināta (monokulāri apstākļi), savukārt, vergences sistēma spēj kompensēt un nodrošināt akomodācijas atslābināšanos binokulāros apstākļos. Jāuzsver, ka tikai vienam no diviem dalībniekiem subjektīvi iegūtie NRA mērījumi norādīja uz traucējumiem, jo gan binokulāri, gan monokulāri bija samazinātas NRA +1,50 D.

Dalībniekam, kura dati atspoguļoti Att. 3.30., subjektīvā klīniskā testa rezultāti neliecināja par iespējamu akomodācijas ekscesu, jo gan binokulāri, gan monokulāri iegūtās NRA vērtības bija +2,50 D, kas ir normas atradne. Tomēr objektīvo datu komponente ļauj

novērtēt, ka monokulāros apstākļos, 40 cm attālumā ar 0,00 D pievienoto lēcu, kur akomodācijas pieprasījums ir 2,50 D un sagaidāmā atpalikšana būtu no 0,50 līdz 0,75 D, tiek novērots akomodācijas pārsvars (īpaši atbildes sākuma posmā) un nestabila akomodācijas atbilde (skat. Att. 3.30. – laukums, kas iezīmētas ar pārtrauktu līniju). Tā pat grafiskā analīze ļauj pamanīt, ka monokulāros apstākļos šim dalībniekam objektīvā acs akomodācijas atbilde notur saspringumu ap -1,50 D līdz pat tiek pievienota +2,50 D provēs lēca, kamēr subjektīvi joprojām tiek uztverts viens, skaidrs attēls.

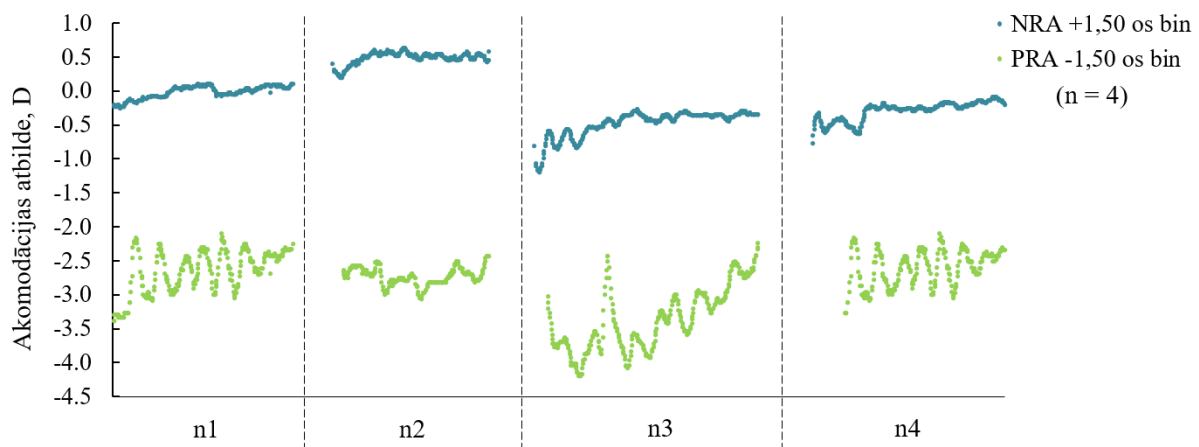


Att. 3.30. Acs akomodācijas negatīvo rezervju objektīvās komponentes piemērs viena dalībnieka kreisai acij, kur binokulāri novēro labāku akomodācijas atslābšanu nekā monokulāri. Šāda sakaība tika novērota 2 dalībniekiem. Laukums, kas iezīmēts ar pārtrauktu līniju parāda vietu, kur novērojams monokulārās akomodācijas atbildes pārsvars. Ar pelēkajiem stabiņiem apzīmēti lēcu nomaiņas posmi.

3.2.4.3.4 Mikrofluktuāciju loma akomodācijas rezervju mērījumā

Turpmākais rezultātu izklāsts atspoguļo apkopojumu par 10 dalībniekiem (diviem dalībniekiem iegūto objektīvo PRA datu daudzums nebija pietiekams, lai varētu izvērtēt mikrofluktuāciju apjomu). Izmantojot datu grafiskās attēlošanas metodes, tika vizuāli salīdzināts mikrofluktuāciju apjoms katram dalībniekam pie dažādiem PRA un NRA pielikto lēcu soļiem. Atsevišķos gadījumos pie pēdējā provēs lēcas soļa, ar ko vēl ir iespējams saskatīt skaidru attēlu, tika novērots mikrofluktuāciju apjoma pieaugums. Diviem dalībniekiem tika novērots paaugstināts mikrofluktuāciju apjoms pie pirmajām pieliktajām provēs lēcām (skat. Att. 3.30.), tomēr vairumā gadījumu mikrofluktuāciju apjoms viena dalībnieka un mērījuma ietvaros pie dažādiem provēs lēcas soļiem bija nemainīgs. Lai aprakstītu

mikrofluktuāciju rezultātus visiem dalībniekiem kopā un izslēgtu atsevišķos netipiskos gadījumus, kur pie pirmajiem vai pēdējiem lēcu soļiem novēro paaugstinātu mikrofluktuāciju daudzumu, visiem dalībniekiem tika analizēts mikrofluktuāciju apjoms pie +1,50 D (NRA) un -1,50 D (PRA) provēs lēcām. Visiem dalībniekiem tika novērota sakarība, ka akomodācijas atslābšanas fāzē (NRA) mikrofluktuācijas ir mazākas nekā saspringšanas fāzē (PRA). Kā piemērs attēlota četru dalībnieku akomodācijas atbilde pie +1,50 D (NRA) un -1,50 D (PRA) (skat. Att. 3.31.), kur redzams, ka akomodācijas atbildes svārstības atslābšanas fāzē (NRA – zilā krāsā) ir ievērojami mazākas nekā saspringšanas fāzē (PRA – zaļā krāsā).



Att. 3.31. Četru dalībnieku (atdalīti ar raustītu līniju) kreisās acs akomodācijas atbilde ~ 5 sekunžu ilgai atbildei binokulāros apstākļos pie +1,50 D (NRA – zilā krāsa) un -1,50 D (PRA – zaļā krāsa) provēs lēcām.

Veicot *Lēvena* dispersijas homogenitātes salīdzinājuma testu (*Levene's test for the Equality of Variances*) visiem 10 dalībniekiem, redzams, ka dalībnieku vidējais mikrofluktuāciju lielums pie +1,50 D lēcas NRA laikā ($0,15 \pm 0,06$ D) ir par trešdaļu mazāks nekā pie -1,50 D lēcas PRA laikā ($0,46 \pm 0,19$ D) ($p < 0,001$).

3.2.4.4 Diskusija

Pētnieku grupa no Hjūstonas (ASV) optometrijas koledžas savos pētījumos ir demonstrējuši akomodācijas amplitūdas objektīvās novērtēšanas metodikas iespējas un iegūto rezultātu interpretāciju salīdzinājumā ar subjektīvajām metodēm (Ostrin & Glasser, 2004; Win-Hall et al., 2007; Win-Hall & Glasser, 2008). Vairāki pētnieki ir demonstrējuši statistisku objektīvo metožu pielietojumu akomodācijas atpauzes novērtēšanā (sīkāk aprakstīts 2.6.2.1. nodaļā) (Anderson et al., 2009; Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the

Pediatric Eye Disease Investigator Group, 2009; Seidemann & Schaeffel, 2003). Radhakrishnan un kolēģi (2007) ir vienīgie, kas demonstrējuši metodi dinamisku objektīvu akomodācijas atpalikšanas mērījumu iegūšanai. Šis promocijas darbs ir pirmais autorei zināmais pētījums, kas piedāvā metodiku, kas ļauj papildināt klīniskos akomodācijas rezervju mērījumus ar objektīvo datu komponenti, nedefinējot konkrētu diapazonu, kurā šo mērījumu veikšana ir efektīva, kā arī aktualizē mērījumu ierobežojošos faktorus, kas saistīti ar ekscentriskās fotorefraktometrijas metodes specifiku. Izstrādātā metodika ir devusi iespēju analizēt relatīvo akomodācijas rezervju mērījumu laikā iegūto objektīvo acs akomodācijas atbildi, kas parādīja plašu indivīdu atbilžu variāciju, līdz ar to, lai saprastu objektīvo atbilžu saistību ar sūdzībām vai akomodācijas un vergences sistēmas darbības traucējumiem, būtu nepieciešama tālāka analīze lielākai dalībnieku grupai. Tomēr iegūtie mērījumi uzskatāmi kā pietiekami, lai varētu izvirzīt secinājumus par piedāvāto metodi un iegūto objektīvo datu lietderību. Papildus šī pētījuma rezultāti ļauj uzskatāmi saprast mikrofluktuāciju lomu akomodācijas rezervju mērījuma laikā. Iegūtie rezultāti ir saskaņā ar iepriekš veiktajiem pētījumiem, kas parāda atšķirības starp mikrofluktuāciju lielumu atslābinātas (skats tālumā) un sasprindzinātas (skats tuvumā) akomodācijas apstākļos (Harb et al., 2006; Mira-Agudelo et al., 2009; Seidel et al., 2003; Tosha et al., 2009), kur līdzīgi kā mūsu pētījumā atslābinātas akomodācijas (NRA) gadījumā mikrofluktuāciju lielums ir mazāks nekā sasprindzinātas akomodācijas (PRA) gadījumā.

3.2.4.5 Secinājumi

1. Šī pētījuma ietvaros piedāvātā metode ļauj klīnisko akomodācijas rezervju mērījumu papildināt ar objektīvās akomodācijas atbildes datiem diapazonā līdz +2,50 D negatīvajām un līdz -3,00 D pozitīvajām akomodācijas rezervēm.
2. Klīnisko akomodācijas rezervju mērījuma papildināšana ar objektīvās akomodācijas atbildes komponenti sniedz būtisku papildu informāciju par akomodācijas sistēmas darbību binokulāros un monokulāros apstākļos.
3. Negatīvo relatīvo akomodācijas rezervju mērījuma laikā mikrofluktuāciju lielums ir par trešdaļu augstāks nekā pozitīvo relatīvo rezervju mērījuma laikā.

Secinājumi izmantoti darba trešās tēzes formulēšanā.

3.3 Acs akomodācijas atbilde darbā ar digitālajām tehnoloģijām

3.3.1 Darba attālums veicot aktīvu un pasīvu uzdevumu viedtālrunī

1.1.1.1 Aktualitāte

Cilvēka redzes funkciju un uztveres veikspējas atšķirības darbā ar datora ekrānu vai drukātiem materiāliem tiek pētītas jau no astoņdesmitajiem gadiem, kad dators tika ieviests ofisa darbā kā pamata darbarīks. Sākotnējie pētījumi demonstrēja, ka lasīšanas process tiek veikts ātrāk un ar labākiem teksta izpratnes rezultātiem uz papīra nekā digitālā formātā (Gould & Grischkowsky, 1984; Kurniawan & Zaphiris, 2001; Wilkinson & Robinshaw, 1987), tomēr, pieaugot digitālo ierīču pielietojuma biežumam visās vecuma grupās, sagaidāms mācīšanās un adaptācijas process, kas samazinās atšķirības starp lasīšanu digitālā un drukātā formātā (Kong et al., 2018) un ļoti iespējams drīzumā varētu tikt sasniegts brīdis, kad lasīšanas process būs pierastāks un tiks veikts ātrāk izmantojot tieši digitālās ierīces. Šī brīža pēdējie pētījumi, kas veikti Latvijai tuvos reģionos, parāda, ka jau šobrīd teksta izpratnes rezultāti Polijas vidusskolēniem (Gašior, 2019), lasīšanas ātrums un teksta izpratne Francijas studentiem (Mangen et al., 2019) un 18 līdz 33 gadus veciem jauniem pieaugušajiem no Vācijas (Köpper et al., 2016) ir līdzvērtīgi, neatkarīgi no tā, vai darbošanās notiek ar drukātu vai elektronisku tekstu.

Viedtālrunis ir viena no digitālajām ierīcēm, kuras lietošanas biežums pieaug līdz ar tā piedāvātajām iespējām, piemēram, Amerikā viedtālrunu lietošanas biežums no 2015. gada līdz 2020. gadam pieaudzis par 40 % (Wurmser, 2019). Palielināts viedtālruna lietošanas biežums tiek saistīts gan ar paaugstinātu mentālās veselības problēmu risku (Lapierre et al., 2019), stājas problēmām un paaugstinātu kakla muskulatūras saspringumu (Gustafsson et al., 2017), liekā svara problēmām (Kenney & Gortmaker, 2017), miega traucējumiem (Hulvej et al., 2018) un paaugstinātu acs akomodācijas sistēmas slodzi un redzes diskomfortu (Jaiswal et al., 2019; Moulakaki et al., 2017; Park et al., 2014). Akomodācijas sistēmas slodze pieaug līdz ar tuvākiem darba attālumiem (Buehren & Collins, 2006) un iepriekš veiktie pētījumi parāda, ka viedtālruna lietošanas tuvuma darba attālums ir tuvāks nekā darbojoties ar drukāta formāta tuvuma darbiem (Bababekova et al., 2011; Cheung et al., 2016; Lan et al., 2018; Miranda et al., 2018). Ņemot vērā iepriekšminētās sakarības, ir nepieciešami papildu pētījumi, kas aplūkotu viedtālrunu lietošanas paradumus no redzes zinātnes viedokļa. Šīs pētījuma daļas **mērķis** ir novērtēt, kā atšķiras viedtālruna lietošanas attālums aktīva un pasīva uzdevuma veikšanas laikā,

kā arī izvērtēt, vai to ietekmē dalībnieka refrakcijas veids, heteroforijas veids un zemas pakāpes aditīvs.

3.3.1.1 Uzdevumi

1. Izvērtēt refrakcijas un heteroforijas veida ietekmi uz viedtālrūņa lietošanas attālumu un uzdevumu izpildes rezultātiem.
2. Salīdzināt viedtālrūņa lietošanas attālumu aktīva un pasīva uzdevuma laikā.
3. Novērtēt zemas pakāpes aditīva ietekmi uz viedtālrūņa lietošanas attālumu un uzdevumu izpildes rezultātiem.

3.3.1.2 Dalībnieki

Pētījumam tika atlasīti dalībnieki ar labāko koriģēto redzes asumu vismaz 1,0 (decimālajās vienībās), bez binokulārās redzes traucējumiem, sistēmiskām vai acs patoloģijām un kas lieto viedtālrūni ikdienā (vidējais pašu novērtētais viedtālrūņa lietošanas laiks 203 ± 124 minūtes/dienā). Visiem dalībniekiem tika veikta pilna subjektīvās refrakcijas korekcijas piemeklēšana un tālākie mērījumi tika veikti ar šo korekciju ievietotu provē ietvarā. Kopumā pētījumam tika atlasīti 60 jauni pieaugušie vecumā no 18 līdz 43 gadiem (vidējais vecums 30 ± 6 gadi), kas pēc subjektīvi noteiktā tāluma refrakcijas sfēriskā ekvivalenta tika iedalīti vai nu miopijas grupā ($n = 30$), ja dalībnieku refrakcijas sfēriskais ekvivalents $\leq -0,50$ D vai ne-miopijas grupā ($n = 30$), ja dalībniekam ir emetropija vai zemas pakāpes hipermetropija, kur refrakcijas sfēriskais ekvivalents nepārsniedz $+1,25$ D. Pēc tuvuma heteroforijas veida, kas tika noteikta 33 cm attālumā, dalībnieki tika iedalīti trīs grupās:

- 55 % no visiem dalībniekiem ($n = 33$) ar eksoforiju robežās no 1 līdz 12Δ BIE;
- 23 % no visiem dalībniekiem ($n = 14$) ar ortoforiju;
- 22 % no visiem dalībniekiem ($n = 13$) ar ezoforiju robežās no 1 līdz 8Δ BĀ.

Visiem dalībniekiem bija binokulārs redzes raksturs, labi kompensētas heteroforijas un konverģences tuvuma punkts ne tālāks kā 9 cm.

3.3.1.3 Metode

3.3.1.3.1 Teksta stimulsi un parametri

Lai izvērtētu viedtālruņa lietošanas attālumu, kā stimulsi tika izmantota īsziņa. Viedtālruņa īsziņa saturēja vienu teikumu, kas tika izveidots no 200 simboliem, ieskaitot atstarpes un pieturzīmes, tā, lai iekļautos īsziņu rakstīšanai atvēlētajos simbolos, to nepārvēršot par multiziņu. Pētījumā izmantotais teikums tika veidots 5 rindās un sastāvēja no 23 vārdiem (skat. Att. 3.32.). Pētījuma dalībnieki izmantoja savu viedtālruni, vidējais “s” burtu augstums bija $1,5 \pm 0,2$ mm (mērīts izmantojot lineālu un +10,00 D lupu) jeb $0,28 \pm 0,05^\circ$.

Mūsdienās arvien lielāku lomu cilvēku ikdienā ieņem tādas elektroniskās saziņas un darba ierīces kā stacionārie, portatīvie datori, planšetdatori, plaukstdatori, viedtālruņi un elektroniskās grāmatas.

“Mūsdienās arvien lielāku lomu cilvēku ikdienā ieņem tādas elektroniskās saziņas un darba ierīces kā stacionārie, portatīvie datori, planšetdatori, plaukstdatori, viedtālruņi un elektroniskās grāmatas.”

Att. 3.32. Pētījumā izmantotā teksta piemēri viedtālrunim (pa kreisi) un drukātajai versijai (pa labi).

Pēc LIX formulas (Björnsson, 1968) (sīkāk aprakstīts 3.1.2.4.1. nodaļā) aprēķinātā teksta sarežģītība ir 75 punkti, kas atbilst ļoti sarežģītam pakāpes tekstam un nodrošina pēc iespējas augstu redzes sistēmas un kognitīvo piepūli, kas potenciāli varētu stimulēt samazinātu darba attālumu (Haro et al., 2000).

Lai pārveidotu viedtālruņa īsziņas tekstu drukāta teksta formātā (skat. Att. 3.32.) un pielīdzinātu viedtālruņa teksta izklājumam un burtu izmēram, teksts tika veidots *Verdana* fontā ar izmēru 9 pt un drukāts uz 9,00 x 10,00 cm baltas papīra lapas.

3.3.1.3.2 Pētījuma gaita

Dalībnieks tika iepazīstināts ar pētījuma norisi, tika sniegtas atbildes uz neskaidrajiem jautājumiem un parakstīta informētā piekrišana. Pētījuma dalībnieki nebija informēti par pētījuma hipotēzi.

Redzes funkciju izmeklējumi pirms pētījuma uzdevuma veikšanas

Pētījums tika veikts optometrista kabinetā ar 200–250 lx apgaismojumu. Pirms pētījuma uzsākšanas katram dalībniekam tika veikta subjektīvās refrakcijas piemeklēšana (ar apmiglošanas metodi). Pēc subjektīvās korekcijas piemeklēšanas tika veikti acs akomodācijas un vergences stāvokļa mērījumi tuvumā. Tuvuma heteroforijas lielums tika noteikts ar Madoksa testu 30 cm attālumā. Subjektīvi atrastā refrakcija tika atstāta proves ietvarā uz visu turpmāko pētījuma norises laiku.

Pētījuma uzdevumu veikšana

Dalībnieks tika lūgts apsēsties optometrista kabineta krēslā ar rokām klēpī un novietotu savu viedtālruni uz blakus esošā galda, kas ir rokas stiepiena attālumā (pamata sākuma pozīcija). Dalībnieks tika instruēts paņemt viedtālruni rokās tiklīdz tiek izdzirdēts ienākošās īsziņas skaņas signāls vai tiklīdz eksperimenta vadītājs mutiski saka, ka var uzsākt drukātās ziņas lasīšanu vai kādu no aktīvo uzdevumu veikšanu. Katram dalībniekam bija skaļi jāizlasa teksta ziņa (pasīvs uzdevums) un jāuzraksta atbildes ziņa (aktīvs uzdevums) sekojošā secībā:

1. Tiek skaļi izlasīts drukāts ziņas teksts (pasīvs drukāts uzdevums);
2. Tiek skaļi izlasīts digitāls īsziņas teksts viedtālrunī (pasīvs digitāls uzdevums);
3. Tiek veikts digitāls rakstīšanas uzdevums viedtālrunī (aktīvs digitāls uzdevums);
4. Tiek skaļi izlasīts digitāls īsziņas teksts viedtālrunī ar papildu +1,00 D lēcām (zema aditīva pasīvs digitāls uzdevums);
5. Tiek veikts digitāls rakstīšanas uzdevums viedtālrunī ar papildu +1,00 D lēcām (zema aditīva aktīvs digitāls uzdevums).

Pēc katra uzdevuma veikšanas, dalībnieks bija informēts nemainīt roku un drukātā teksta vai viedtālruna novietojumu, lai pētījuma veicējs varētu nomērīt attālumu (stingrā mērlente, mērījumu precizitāte līdz 0,1 cm) no viedtālruna līdz proves ietvaram. Pēc katra mērījuma tika nodrošināta pamata sākuma pozīcija. Katra uzdevuma laikā ar hronometru tika uzņemts laiks no uzdevuma veikšanas sākuma (tiek uzsākts lasīt vai rakstīt pirmais vārds) līdz uzdevuma beigām (tiek pabeigts lasīt vai rakstīt pēdējais vārds), kas vēlāk tika izteikts kā lasīšanas vai rakstīšanas ātrums vārdi/minūtē (v/min).

Papildu mērījumi

Iepriekš veiktie pētījumi ir aktualizējuši darba attāluma saistību ar konkrētā pētījuma dalībnieka anatomiskajām īpašībām, piemēram, sievietēm tuvuma darbu attālums ir tuvāks nekā vīriešiem, kas skaidrojams ar īsāku roku garumu (Hickenbotham et al., 2012; Pointer, 1995), līdzīgi sagaidāms, ka bērnu tuvuma darba attālums ir tuvāks nekā pieaugušajiem. Vairāki redzes zinātnes pētījumi, kur pamata pētāmā problēma saistīta ar tuvuma darba attālumu, ir ņēmuši vērā dalībnieku rokas anatomiskos parametrus (Drobe B. et al., 2007; Wang et al., 2013), lai darba attālumu izteiktu relatīvās mērījumu vienībās (skat. vienādojumu 3.13.). Šī pētījuma dalībniekiem tika veikts *Harmon* attāluma mērījums, kas tiek definēts kā attālums no elkoņa līdz zodam, kas mērīts situācijā, kad pētījuma dalībnieks sēž pie galda, novieto elkoni uz galda un atbalsta zodu plaukstā. (Harmon, 1958)

$$\text{Relatīvais att.} = \frac{\text{Darba att.}}{\text{Harmon att.}} \quad (3.13.)$$

3.3.1.4 Rezultāti

Vidējais digitālā uzdevumu burta augstums pētījumu dalībnieku viedtālrunī bija $1,5 \pm 0,2$ mm jeb $0,28 \pm 0,05^\circ$, kas neietekmēja pētāmos parametrus. Netika novērota saistība ne starp tuvuma darba attālumu un fonta izmēru ($r = -0,19$, $p = 0,14$) ne uzdevuma veikšanas ātrumu lasīšanas ($r = -0,16$, $p = 0,22$) vai rakstīšanas ($r = 0,11$, $p = 0,41$) gadījumā.

3.3.1.4.1 Darba attālums

Gan faktiskais ($F(2,18; 118)=34,00$, $p < 0,001$), gan relatīvais ($F(2,18; 118)=34,00$, $p < 0,001$) tuvuma darba attālums ir atkarīgs no uzdevuma veida (trīsfaktoru jauktā dispersijas analīze ANOVA (*three-way mixed design ANOVA*)). Konkrētu uzdevumu salīdzināšanai tika izmantota savstarpēji atkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Paired Samples*, kur kopējais nozīmības līmenis tika noteikts pēc *Bonferroni* metodes ($p < 0,05$).

Iegūtie rezultāti parāda, ka, salīdzinot divus pasīvā uzdevuma veidus, teksta lasīšana viedtālrunī tiek veikta nozīmīgi tuvākā darba attālumā \pm SD nekā drukāta teksta lasīšana ($32,3 \pm 6,0$ cm un $34,4 \pm 5,9$ ($p = 0,003$)), turklāt šī sakarība saglabājas būtiska arī tad, ja darba attālumu izsaka relatīvās vienībās, ņemot vērā katra dalībnieka roku anatomiskos parametrus ($1,07 \pm 0,18$ un $1,14 \pm 0,20$ ($p = 0,002$)). Ja salīdzina aktīvos un pasīvos uzdevumus, tad digitāls aktīvs uzdevums jeb teksta rakstīšana viedtālrunī tiek veikta nozīmīgi tuvākā darba attālumā nekā digitāls pasīvs

jeb teksta lasīšanas uzdevums viedtālrunī ($29,3 \pm 4,7$ un $32,3 \pm 6,0$ cm, $p < 0,001$) un sakarība saglabājas arī tad, ja rezultātus izsaka relatīvajās vienībās ($0,97 \pm 0,13$ un $1,07 \pm 0,18$ ($p < 0,001$)). Acs akomodācijas pieprasījuma atšķirība starp digitālu aktīvu un digitālu pasīvu uzdevumu tika novērota 0,31 D apjomā, savukārt, akomodācijas pieprasījuma atšķirība starp abiem pasīvā uzdevuma veidiem jeb drukāta teksta vai viedtālruna teksta lasīšanu novērota 0,19 D apjomā. Ja salīdzinām drukāta teksta lasīšanu ar digitāla teksta rakstīšanu, tad digitāls aktīvs uzdevums tiek veikts būtiski tuvākā darba attālumā ($29,3 \pm 4,7$ un $34,4 \pm 5,9$ cm, $p < 0,001$), radot 0,50 D augstāku acs akomodācijas pieprasījumu digitāla aktīva jeb viedtālruna rakstīšanas uzdevuma gadījumā, turklāt sakarība saglabājas būtiska, ja rezultātu izsaka relatīvajās vienībās ($0,97 \pm 0,13$ un $1,14 \pm 0,20$ ($p < 0,001$)). Zemas pakāpes aditīvs darba attālumu neietekmēja ne pasīva ($p = 0,16$), ne aktīva uzdevumu gadījumā ($p = 0,80$).

Tabula 3.12.

Vidējais tuvuma darba attālums (cm) \pm SD visiem pētījuma uzdevuma veidiem atkarībā no refrakcijas un heteroforijas veida.

Uzdevuma veids	Refrakcijas veids			Heteroforijas veids			Visi dalībnieki (n = 60)
	Miopija (n = 30)	Ne-miopija (n = 30)	Eksoforija (n = 33)	Ezoforija (n = 13)	Ortoforija (n = 14)		
Lasīšana drukāts teksts	33,0 \pm 5,3	35,9 \pm 6,2	34,9 \pm 5,6	35,4 \pm 4,6	32,4 \pm 7,6	34,4 \pm 5,9	
Lasīšana viedtālrunī	31,6 \pm 4,8	33,0 \pm 7,0	32,3 \pm 4,9	32,9 \pm 6,0	31,9 \pm 8,4	32,3 \pm 6,0	
Lasīšana viedtālrunī ar zema aditīva lēcām	30,7 \pm 4,5	32,2 \pm 7,9	31,9 \pm 5,5	30,9 \pm 7,3	30,7 \pm 8,0	31,4 \pm 6,4	
Rakstīšana viedtālrunī	29,1 \pm 3,6	29,5 \pm 5,7	29,2 \pm 4,5	30,4 \pm 4,3	28,4 \pm 5,6	29,3 \pm 4,7	
Rakstīšana viedtālrunī ar zema aditīva lēcām	29,3 \pm 4,5	30,5 \pm 6,2	30,3 \pm 5,0	30,1 \pm 6,1	28,8 \pm 5,9	29,9 \pm 5,4	

Saistība starp darba attālumu dažādos uzdevumu veidos un heteroforijas veidu netika novērota ne faktiskā ($F(2,54)=0,26$, $p = 0,26$), ne relatīvā darba attāluma analīzē ($F(2,54)=0,63$, $p = 0,54$) (skat. Tabula 3.12.). Darba attāluma atšķirības uzdevumos, kas tika veikti bez zema aditīva lēcām, dalībniekiem ar un bez miopijas veidoja vidēji 0,15 D līdz 0,25 D augstāku akomodācijas pieprasījumu jeb tuvāku darba attālumu dalībniekiem ar miopiju, tomēr statistisku nozīmību minētās atšķirības nerasniedza ne faktiskā ($F(1,54)=0,96$, $p = 0,33$), ne relatīvā darba attāluma analīzē ($F(1,54)=0,69$, $p = 0,41$). Saistība starp darba attālumu un vecumu jaunu, ne-presbiopijas vecuma pieaugušo grupā (18 līdz 45 gadi) netika novērota nevienā no uzdevumu veidiem ($r < 0,10$, $p > 0,05$). Abu digitāli veikto uzdevumu gadījumā tika novērots, ka jo lielāks *Harmon* attālums, kas raksturo indivīda roku garumu, jo tālāks tuvuma darba attālums: teksta lasīšana viedtālrunī ($r = 0,34$, $p = 0,008$) un teksta rakstīšana

viedtālrunī ($r = 0,48, p < 0,001$), savukārt drukāta teksta lasīšanas gadījumā nozīmīga saistība netika novērota ($r = 0,18, p = 0,17$).

3.3.1.4.2 Uzdevuma veikšanas ātrums

Lai izvērtētu uzdevuma veikšanas ātruma saistību ar pētījuma uzdevumu veidiem (skat. Tabula 3.13.), tika veikta trīsfaktoru jauktā dispersijas analīze ANOVA, kas parādīja statistiski nozīmīgu uzdevuma veida ietekmi uz lasīšanas ātrumu ($F(2,18;118)=2074, p < 0,001$) neatkarīgi no refraktīvās kļūdas veida ($F(1,54)=0,20, p = 0,66$) un heteroforijas veida ($F(2,54)=0,15, p = 0,86$). Konkrētu uzdevumu salīdzināšanai tika izmantota savstarpēji atkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Paired Samples*, kur kopējais nozīmības līmenis tika noteikts pēc *Bonferroni* metodes ($p < 0,05$). Drukāta teksta lasīšanas ātrums nebija būtiski atšķirīgs no lasīšanas ātruma viedtālrunī (vidējais ātrums \pm SD: 108 ± 16 un 113 ± 17 v/min, $p = 0,07$). Pasīvais digitālais uzdevums jeb lasīšana viedtālrunī tika veikta vidēji 8 reizes ātrāk nekā aktīvais digitālais uzdevums jeb rakstīšana viedtālrunī (113 ± 17 v/min un 13 ± 4 v/min, $p < 0,001$), kas skaidrojams ar to, ka lasīšanas process ir būtiski ātrāks nekā rakstīšanas process, kas prasa roku motorikas iesaisti. Zemas pakāpes aditīvs lasīšanas ātrumu uzlabo vidēji par 5 v/min ($p = 0,006$) un rakstīšanas ātrums tiek uzlabots vidēji par 1 v/min ($p = 0,009$).

Tabula 3.13.

Visu pētījuma dalībnieku ($n = 60$) vidējais uzdevuma veikšanas ātrums v/min \pm SD, faktiskais tuvuma darba attālums (cm) \pm SD un tuvuma darba attālums izteikts relatīvajās vienībās visiem pētījuma uzdevuma veidiem.

		ātrums \pm SD, v/min	darba attālums \pm SD, cm	relatīvais attālums \pm SD
Pasīvie uzdevumi:	Lasīšana drukāts teksts	108 ± 16	$34,4 \pm 5,9$	$1,14 \pm 0,20$
	Lasīšana viedtālrunī	113 ± 17	$32,3 \pm 6,0$	$1,07 \pm 0,18$
	Lasīšana viedtālrunī ar zema aditīva lēcām	118 ± 15	$31,4 \pm 6,4$	$1,04 \pm 0,19$
Aktīvie uzdevumi:	Rakstīšana viedtālrunī	13 ± 4	$29,3 \pm 4,7$	$0,97 \pm 0,13$
	Rakstīšana viedtālrunī ar zema aditīva lēcām	14 ± 4	$29,9 \pm 5,4$	$0,99 \pm 0,16$

Tika atrasta sakarība starp uzdevuma izpildes ātrumu un vecumu – rakstīšanas ātrums viedtālrunī bija būtiski ātrāks gados jaunākiem pētījuma dalībniekiem ($r = -0,46, p < 0,001$), savukārt, lasīšanas ātrumu dalībnieku vecums neietekmēja ($r < 0,05, p > 0,05$).

3.3.1.5 Diskusija

Šī pētījuma iegūtie rezultāti ir saskaņā un papildina esošo priekšstatu par tuvuma darbu veiktspēju darbā ar viedtālruni, pirmo reizi uzsverot digitāla aktīva un pasīva uzdevuma veida ietekmi uz tuvuma darba attālumu, parādot, ka aktīvs uzdevums, piemēram, teksta ziņas rakstīšana viedtālrunī tiek veikts būtiski tuvākā darba attālumā un rada lielāku acs akomodācijas pieprasījumu nekā teksta ziņas lasīšana viedtālrunī, kas ir pasīvs uzdevuma veids. Veicot aktīvu rakstīšanas uzdevumu viedtālrunī, ir nepieciešama gan augstāka roku motoro funkciju iesaiste, gan augstākas redzes un prāta koncentrēšanās spējas, kas, savukārt, pieprasa labi redzēt ievadāmo tekstu. Lai to nodrošinātu, primāri, acs akomodācijas un vergēnces sistēmas savstarpēji balsta viena otru caur akomodatīvās konverģences un konverģentās akomodācijas mehānismiem un, sekundāri, kā papildus kompensējošais mehānisms var tikt izmantots arī stimula palielinājums, ko iegūst samazinot darba attālumu. Iepriekšējie pētījumi ir novērojuši līdzīgu sakarību pieaugušo grupā, kur, salīdzinot darba attālumu rakstot ar roku un lasot drukātu tekstu, tika novērots tuvāks darba attālums tieši rakstīšanas uzdevumam ($35,6 \pm 5,2$ cm un $38,0 \pm 5,5$ cm, $p < 0,001$) (Drobe et al., 2007). Ņemot vērā to, ka šajā pētījumā dalībnieki izmantoja savus personīgos viedtālruņus un rakstzīmju izmērs variēja ar burtu augstumu no 1 mm līdz 2 mm, ir svarīgi pieminēt, ka mēs neiegūvām saistību starp rakstzīmju izmēru un tuvuma darba attālumu vai lasīšanas/rakstīšanas ātrumu. Pētījumos, kur izmantotas lielākas rakstzīmju izmēru atšķirības un pamata mērķis bija saprast rakstzīmju izmēra ietekmi uz darba attālumu tika novērots, ka bērniem ar emetropiju lasīšanas attālums samazinās par 4 %, ja 14 pt fontu aizstāj ar 12 pt fontu un par 7 %, ja aizstāj ar 9 pt fontu ($p = 0,004$). Tātad mazāks rakstzīmju fonta izmērs stimulē tuvāku lasīšanas attālumu, savukārt, lasīšanas ātrums nedaudz pieaug, ja fonta izmērs tiek samazināts no 14 pt līdz 9 pt ($p = 0,049$) (Wang et al., 2013).

Lai arī tuvuma darba attālums un darbošanās laiks tiek minēti kā iespējamie tuvredzību veicinošie faktori (Drobe et al., 2007; Drobe et al., 2006; Huang et al., 2015; Ip et al., 2008) un Hartwig un kolēģu (2011) pētījumā tiek demonstrēta sakarība starp refrakcijas kļūdas sfērisko ekvivalentu un attālumu kādā tiek lasīta grāmata ($r = 0,41$, $p = 0,025$), mūsu pētījuma rezultāti neparādīja statistiski nozīmīgi atšķirīgu vidējo tuvuma darba attālumu dalībniekiem no miopijas un ne-miopijas grupas. Tas varētu būt saistīts ar mūsu pētījuma izlases grupu, kurā miopijas grupas dalībnieku tuvredzības pakāpe bija zema vai vidēja ar vidējo refrakcijas kļūdas lielumu $-1,58 \pm 1,01$ D. Iespējams būtu vērts turpināt pētījumu, papildinot miopijas grupu ar

dalībniekiem, kam ir augstas pakāpes tuvredzība, tomēr jāņem vērā, ka tuvuma darba attāluma lomu un saistību ar miopiju jeb tuvredzību nav izdevies apstiprināt arī vairākos citos iepriekš veiktos pētījumos (Bao et al., 2015; Drobe et al., 2007; Hartwig et al., 2011). Heteroforijas veida un lieluma ietekme uz tuvuma darba attālumu iepriekš veiktajos pētījumos prognozēta tikai netieši, piemēram, *Hasebe* un kolēģu (2006) pētījumā tika novērota akomodācijas atbildes saistība ar heteroforijas veidu, demonstrējot akomodācijas atbildes kļūdas diapazonu no 1,80 D akomodācijas atpalikšanas dalībniekam ar ezoforiju līdz 1,56 D akomodācijas pārsvara dalībniekam ar eksoforiju. *Sreenivasan* un kolēģu (2012) pētījumā 7 līdz 15 gadus veciem bērniem ar ezoforiju ($p = 0,01$) binokulāros apstākļos novērota lielāka akomodācijas atpalikšana, savukārt, bērniem ar eksoforiju ($p = 0,04$) – mazāka atpalikšana nekā bērniem ar ortoforiju. Autores skatījumā vergēnces sistēmas stāvoklis (heteroforijas veids un lielums) un refrakcijas kļūdas veids un lielums varētu ietekmēt tuvuma darba attālumu balstoties uz akomodācijas un vergēnces sistēmas krusteniskās sadarbības modeli (skat. Att. 2.4.), kur, piemēram, nekoriģētas hipermetropijas gadījumā palielinātais akomodācijas pieprasījums daļēji var tikt kompensēts ar pastiprinātu akomodatīvās vergēnces darbību, radot papildus ezoforiju tuvumā vai samazinot esošo eksoforiju tuvumā. Tādejādi var tikt sagaidīts, ka dalībniekiem ar ezoforiju varētu tikt biežāk novērots samazināts viedtālruņa darba attālums, nekā dalībniekiem ar ortoforiju vai eksoforiju. Šo hipotēzi promocijas darba rezultāti neapstiprina, jo saistība starp heteroforijas veidu un darba attālumu netika novērota nevienā no uzdevumu veidiem ($p = 0,26$). Tomēr jāņem vērā, ka pētījuma dalībnieku izlasei bija relatīvi nelielas heteroforijas pakāpes (vidējais eksoforijas lielums: $5 \pm 3 \Delta$ BIE, vidējais ezoforijas lielums: $2 \pm 2 \Delta$ BĀ). Būtu nepieciešams veikt papildus pētījumus, lai izvērtētu iespējamo saistību starp augstākas pakāpes heteroforijām un darba attālumu.

Mūsu iegūtie rezultāti pieaugušajiem ne-presbiopijas vecuma grupā neparādīja saistību starp tuvuma darba attālumu un vecumu, kas skaidrojams ar šī pētījuma izvēlētajā dalībnieku grupas salīdzinoši nelielo vecuma diapazonu, kurā acs akomodācijas funkcijas ir jau nostabilizējušās (salīdzinot ar bērniem un jauniešiem) un vēl ir pilnībā saglabātas (salīdzinot ar presbiopijas vecuma dalībniekiem). Balstoties uz citu autoru veiktajiem pētījumiem, ir iespējams izprast sagaidāmo dalībnieku vecuma ietekmi uz tuvuma darba attālumu, piemēram, *Drobe* un kolēģu (2006) pētījumā tika parādīts, ka ne-presbiopijas dalībnieku tuvuma darba attālums, veicot rakstīšanu ar roku vai drukāta teksta lasīšanu, ir būtiski tuvāks nekā dalībniekiem ar koriģētu presbiopiju ($33,2 \pm 5,3$ cm un $38,4 \pm 4,8$ cm, $p < 0,001$). Mūsu

pētījumā iegūtā sakarība, kas parāda, ka gados jaunāki dalībnieki rakstīšanas uzdevumu viedtālrunī veic ātrāk nekā gados vecāki cilvēki, ir saskaņā ar iepriekš veikto pētījumu novērojumiem (Palin et al., 2019; Rodrigues et al., 2016). Tomēr vidējais mūsu pētījumā iegūtais 13 ± 4 v/min rakstīšanas ātrums ir gandrīz 3 reišu zemāks nekā *Palin* un kolēģu (2019) pētījumā iegūtais vidējais rakstīšanas ātrums 33 ± 11 v/min. Tas skaidrojams ar to, ka mūsu pētījumā tika izmantots teksts ar sarežģītiem un gariem vārdiem, kas satur latviešu valodas mīkstinājuma zīmes un tāpēc novērots laikietilpīgāks rakstīšanas process nekā iepriekšminētajā pētījumā, kur tika izmantots vienkāršs teksts, kas satur īsus vārdus un rakstīšana noritēja angļu valodā. Iepriekšminētie faktori un tas, ka teksts jālasa skaļi ir ietekmējuši arī mūsu pētījumā iegūto vidējo lasīšanas ātrumu, kas līdzīgām vecuma grupām citos pētījumos novērots augstāks (Liu et al., 2017; Radner, 2016). Ir pierādīts, ka lasīšana skaļi ir būtiski lēnāka nekā lasīšana klusībā pie sevis (Burge, 1983; Hasbrouck & Tindal, 2006; Trainin et al., 2015) un nodrošina labāku (Trainin et al., 2015) vai līdzvērtīgu izpratni par izlasīto (Margolin et al., 2013).

Šī pētījuma ietvaros tika analizēta arī zemas pakāpes aditīva ietekme uz tuvuma darba attālumu, kur sagaidāmais zema aditīva pielietojums ne-presbiopijas gadījumā saistīts ar akomodācijas slodzes mazināšanu, kas, savukārt, sekundāri varētu ietekmēt izvēlēto darba attālumu. Mūsu pētījuma rezultāti parāda, ka zemas pakāpes aditīvs nepalīdz kontrolēt tuvuma darbu attālumu, tomēr tas var būtiski uzlabot tuvuma darbu veikšanas ātrumu (lasīšanas ātrums pieaug vidēji par 5 v/min un rakstīšanas ātrumu par 1 v/min). Iegūtās izmaiņas vērtējamas kā nozīmīgas ikdienas kontekstā – ja pieņem, ka viena A4 lappuse datorrakstā satur vidēji 350 vārdus, tad vienas stundas laikā ar zemas pakāpes aditīvu iespējams izlasīt par vienu A4 lappusi vairāk nekā tad, ja zemas pakāpes aditīvs netiek lietots. Mūsu pētījumā izmantotā ziņa saturēja 23 vārdus jeb 200 rakstzīmes, kur vidēji viens vārds atbilstoši veido ap 4% no kopējās ziņas, tāpēc iegūtais rakstīšanas ātruma pieaugums par 1 v/min ar zemas pakāpes aditīvu var tikt uzskatīts kā nozīmīgs tad, ja tiek veikta ilgstoša, garāku tekstu rakstīšana.

3.3.1.6 Secinājumi

1. Vidējais viedtālruņa lietošanas attālums jaunu pieaugušo grupā ir $30,5 \pm 1,6$ cm.
2. Netika novērota refrakcijas kļūdas veida vai heteroforijas veida ietekme uz tuvuma darba attālumu, rakstīšanas un lasīšanas ātrumu darbā ar digitālu vai drukātu tekstu.
3. Lasīšanas attālums viedtālrunī ir būtiski tuvāks acīm nekā drukāta teksta lasīšanas gadījumā, radot vidēji 0,19 D lielāku akomodācijas pieprasījumu darbā ar viedtālruni.
4. Aktīvs darbs viedtālrunī tiek veikts būtiski tuvākā attālumā nekā pasīvs, radot vidēji 0,31 D augstāku akomodācijas pieprasījumu aktīvam uzdevumam.
5. Zemas pakāpes aditīvs neietekmē darba attālumu, bet uzlabo lasīšanas ātrumu vidēji par 5 v/min un rakstīšanas ātrumu par 1 v/min.

Pirmais, otrais un ceturtais secinājums izmantoti ceturtais tēzes formulēšanā.

3.3.2 Redzes sistēmas izvērtējums pēc darba ar 3D vizuālo saturu

3.3.2.1 Aktualitāte

Pēdējā gadu desmitē parādās aizvien jauni inovatīvi trīsdimensiju attēlatveides tehnoloģiju veidi, kas sniedz daudzsoļas iespējas, sākot no izklaides un mākslas industrijas un beidzot ar pielietojumu drošības un medicīnas sfērā (Karako et al., 2014). Trīsdimensiju attēlatveides pielietojumam veselības aprūpē ir ļoti augsts potenciāls, it īpaši tajās medicīnas apakšnozarēs, kur pamata diagnostika balstīta uz dažādu patoloģisku strukturālu izmaiņu pamanīšanu (Farahani et al., 2017). Virtuālās 3D attēlatveides iespējas ir plaši pieejamas, tomēr vairāki pētījumi parādījuši, ka ilgstoša virtuālo 3D attēlu aplūkošana rada diskomforta sajūtu un astenopiska tipa sūdzības (Bando et al., 2012; Yano et al., 2002), kas, galvenokārt, tiek skaidrotas ar virtuālā attēla radīto akomodācijas-verģences konfliktu (Hoffman et al., 2008; Shibata et al., 2011). Dabiskā akomodācijas un verģences sistēmas sadarbība virtuālu, stereoskopisku attēlu gadījumā tiek izjaukta, jo acs akomodācijas sistēma reaģē un atbild uz reālo stimulu jeb ekrāna atrašanās vietu, savukārt, verģences sistēma atbild uz virtuālā attēla atrašanās pozīciju, kas var atrasties vai nu pirms vai aiz ekrāna, atkarībā no tā vai stereoskopiskais attēls tiek iegūts ar krustotās vai nekrušotās disparitātes palīdzību (Bando et al., 2012).

Latviešu uzņēmums *LightSpace Technologies* radījis inovatīvu 3D attēlatveides tehnoloģiju – volumetrisko ekrānu (Osmanis et al., 2018), kas ļauj iegūt reālu, trīsdimensionālu attēlu, kas potenciāli atrisina akomodācijas-verģences konfliktu (Zabels et al., 2019). Šīs pētījuma daļas aktualitāti veido nepieciešamība praksē pārbaudīt inovatīvās volumetriskā ekrāna tehnoloģijas ietekmi uz redzes sistēmu, kas reizē mijas arī ar darba novitātes izklāstu, jo detalizēta tuvuma triādes analīze, kas aprakstītu redzes sistēmas atbildi pēc darba ar volumetrisko ekrānu līdz šim nav veikta, tāpat kā divu dažādu trīsdimensiju attēlatveides salīdzināšana pielāgotos eksperimenta apstākļos. Šīs pētījuma daļas **mērķis** bija veikt detalizētu redzes sistēmas izvērtējumu pēc darba ar Volumetriskā 3D un Anaglifa 3D vizuālo saturu, lai novērtētu, kā refrakcijas kļūdas nobīde, akomodācijas atpalikšana, akomodācijas mikrofluktuācijas un zīlītes izmērs mainās pēc darba ar īstu vai virtuālu 3D uzdevumu.

3.3.2.2 Uzdevumi

1. Izvērtēt, kā atšķiras refrakcijas nobīdes apjoms un veids pēc darba ar Volumetriskā un Anaglifa 3D vizuālo saturu.
2. Novērtēt, kā mainās acs akomodācijas atpalikšana pēc darba ar Volumetriskā 3D un Anaglifa 3D vizuālo saturu.
3. Novērtēt, kā mainās acs akomodācijas mikrofluktuācijas pēc darba ar Volumetriskā 3D un Anaglifa 3D vizuālo saturu.
4. Izvērtēt, zīlītes izmēra izmaiņas pēc darba ar Volumetriskā 3D un Anaglifa 3D vizuālo saturu un saistību ar uzdevuma grūtības pakāpi.

3.3.2.3 Dalībnieki

Šajā pētījuma daļā piedalījās 38 jauni pieaugušie ar emetropiju un vidējo vecumu 24 ± 3 gadi. Pētījuma dalībnieku atlases kritēriji iekļāva nekoriģēto redzes asumu vismaz 0,8 vai vairāk (decimālās vienības) gan tālumā, gan tuvumā. Objektīvi noteiktās refrakcijas SE lielums nepārsniedza +0,50 D vai -0,50 D un fizioloģiskais astigmātisms bija <0,75 D. Pētījumā tika iekļauti tikai tādi dalībnieki, kuriem nav šķielēšana un stereoredze ir vismaz 80" vai labāka (*Titmus tests*). Visi dalībnieki mutiski apstiprināja, ka nelieto medikamentus, kas varētu ietekmēt acs akomodācijas vai zīlītes atbildi. Visi dalībnieki parakstīja informētās piekrišanas veidlapu par dalību pētījumā, kas tika saskaņota ar LU EKMI Zinātniskās izpētes ētikas komisiju un noritēja saskaņā ar Helsinku deklarācijā noteiktajiem pamatprincipiem.

Dalībnieki pēc nejaušības principa tika iedalīti 2 grupās: 19 dalībnieki, kas pētījuma uzdevumus veica uz Volumetriskā 3D ekrāna, un 19 dalībnieki, kas uzdevumus veica uz standarta monitora, izmantojot Anaglifa 3D metodi. Dalībnieki abās grupās tika atlasīti tā, lai vecums, stereoredze, pamata refrakcija un zīlītes izmērs būtu līdzvērtīgi (Tabula 3.14.).

Tabula 3.14.

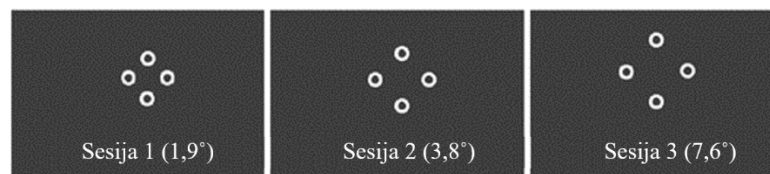
Abu pētījuma dalībnieku grupu raksturojošie parametri, kur p vērtība noteikta pēc savstarpēji neatkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metode *t-Test: Independent-Samples*

	Volumetriskais 3D (n = 19)	Anaglifa 3D (n = 19)	p vērtība
Vecums, gadi (\pm SD)	24 \pm 4	23 \pm 3	0,15
Stereoredze, arcsec (\pm SD)	42" \pm 9"	44" \pm 14"	0,30
Pamata refrakcija, D (\pm SD)	+0,30 \pm 0,48	+0,22 \pm 0,40	0,50
Pamata zīlītes izmērs, mm (\pm SE)	5,90 \pm 0,10	6,14 \pm 0,12	0,13

3.3.2.4 Metode

3.3.2.4.1 Uzdevums un stimuli

Dalībnieki izpildīja četru iespēju piespiedu izvēles psihofizikālo procedūru, kuras uzdevums bija saskatīt atšķirību starp četriem apliem, atrast mērķa apli, kas izskatījās tuvāk (krustotās disparitātes efekts), un sniegt atbildi, nospiežot atbilstošo bultiņas taustiņu uz klaviatūras (pa kreisi, pa labi, uz augšu vai uz leju).



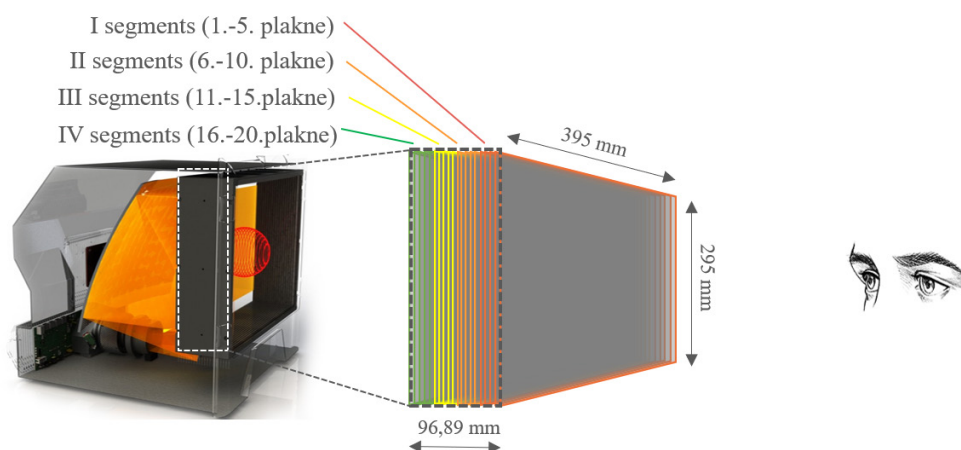
Att. 3.33. Pētījuma uzdevums ar 4 apliem, kas katrā no sesijām novietoti atšķirīgā attālumā viens no otra: Sesija 1 – 1,9°, Sesija 2 – 3,8°, Sesija 3 – 7,6° attālumā.

Uzdevuma stimuluss satur 4 ahromātiskus (RGB 255,255,255) apļus (apļa diametrs 0,5°, līnijas biezums 20 % no izmēra), kas savstarpēji novietoti 1,9°, 3,8° vai 7,6° attālumā (skat. Att. 3.33.) un viens no tiem atrodas tuvāk nekā pārējie trīs. Tika nodrošināts konstants apļu leņķiskais izmērs neatkarīgi no to novietošanas attāluma, lai izvairītos no monokulāro pazīmju iesaistes telpiska attēla atpazīšanā. Tiklīdz dalībnieks ir sniedzis atbildi par to, kurš no apliem atrodas vistuvāk, uz 1 sekundi tiek parādīts fiksācijas krusts 0,5° izmērā, kas palīdz nodrošināt

vienādu starta pozīciju pirms katras stimula prezentēšanas reizes. Uzdevuma stimuli tika prezentēti 3 secīgās sesijās (no Sesijas 1 līdz Sesijai 3), palielinot attālumu starp apliem no 1,9° līdz 7,6°. Katrā no sesijām uzdevums tika prezentēts 4 ekrāna segmentos (katrā segmentā vismaz 20 dažādas novietojuma kombinācijas), kas savā starpā atšķīrās ar vidējo stimula atrašanās attālumu līdz dalībnieka acīm. Uzdevumu prezentācija 4 segmentos Volumetriskā 3D un Anaglifa 3D gadījumos tika realizēti atšķirīgos veidos, tāpēc tālāk tiks aprakstīti atsevišķi.

Volumetriskais 3D

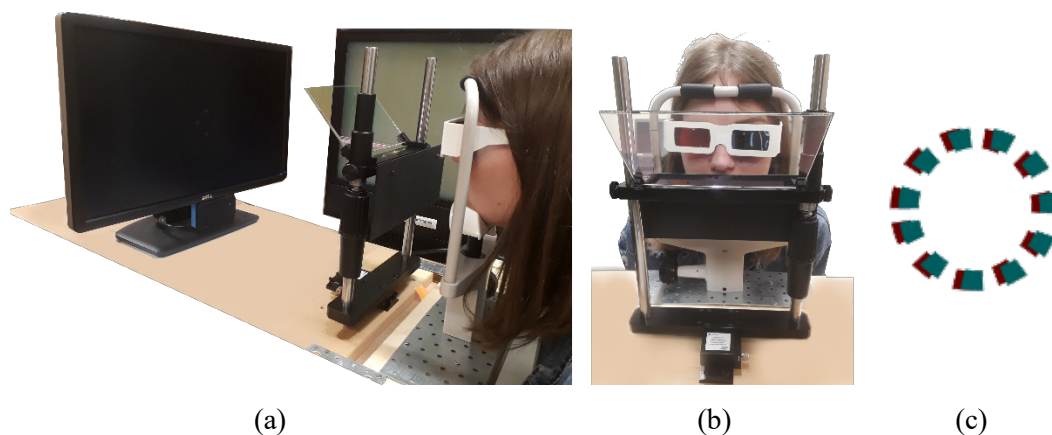
Volumetriskā 3D grupai stimuli tika rādīti uz Latvijā ražota daudzplakņu volumetriskā ekrāna (*LightSpace Technologies*), kas ļauj iegūt reālu, telpisku attēlu, prezentējot attēlu uz dažādām ekrāna plaknēm, neizmantojot abu acu attēlu atdalīšanas metodes telpiskuma radīšanai. Ekrāns sastāv kopā no divdesmit 1,1 mm biežām šķidro kristālu plaknēm, kas viena no otras novietotas 5,04 mm attālumā un veido kopējo ekrāna optiskā elementa biezumu ap 96,86 mm. Optiskā elementa plaknes garums ir 395 mm un augstums 295 mm, kas spēj nodrošināt 1024 x 768 pikseļu izšķirtspēju katrā no ekrāna slāņiem, nodrošinot kopējo ekrāna izšķirtspēju 15 miljonu vokseļu apjomā ar 60 Hz attēla atjaunošanās frekvenci. Volumetriskā ekrāna 4 uzdevuma segmenti tika iedalīti ik pa 5 ekrāna plaknēm, sākot no plaknes, kas atrodas vistuvāk pētījuma dalībnieka acīm: 1. līdz 5. plakne (I segments), 6. līdz 10. plakne (II segments), 11. līdz 15. plakne (III segments) un 16. līdz 20. plakne (IV segments) (skat. Att. 3.34.). Ekrāna pirmā plakne atradās 45 cm attālumā no dalībnieka acīm un radīja maksimālo acs akomodācijas pieprasījumu 2,22 D apjomā.



Att. 3.34. Volumetriskā ekrāna uzbūve, kurā shematiski attēlots 20 šķidro kristālu plakņu sadalījums pa eksperimentā izmantotajiem četriem plakņu segmentiem.

Anaglifa 3D

Lai iegūtu Anaglifa 3D jeb stereoskopiskās metodes telpisko attēlu, tika izmantots standarta monitors (LED-Lit Dell™ UltraSharp U2312H) un sarkani-zilo filtru brilles, kas atdala labās un kreisās acs attēlu (skat. Att. 3.35.(b)). Stimuli tika pielāgoti sarkani-zilo briļļu filtru caurlaidībai, tāpēc sastāvēja no sarkana (RGB 105, 0, 0) un zila (RGB 0,93,93) raustītu līniju apliem, kas savā starpā bija nobīdīti par 0,2 mm (skat. Att. 3.35.(c)). Ekrāna izmērs ir 53 cm garumā un 30 cm augstumā, kas spēj nodrošināt 1920 x 1080 pikseļu izšķirtspēju ar 76 Hz attēla atjaunošanās frekvenci. Lai nodrošinātu pēc iespējas līdzvērtīgākus Volumetriskā 3D un Anaglifa 3D eksperimentālos apstākļus, Anaglifa 3D gadījumā tika simulēti četri uzdevuma prezentēšanas segmenti, kas tika panākti mainot standarta monitora novietojuma attālumu tā, lai tas atrastos attālumā, kādā atrodas Volumetriskā 3D katra segmenta vidējā plakne: I segments (3. plakne) = 46,22 cm, II segments (8. plakne) = 49,29 cm, III segments (13. plakne) = 52,36 cm un IV segments (18. plakne) = 55,43 cm. Neskatoties uz to, ka pielāgotais attālums nodrošināja aptuveni līdzvērtīgu akomodācijas pieprasījumu, Anaglifa 3D nodrošināšanai nav iespējams izmantot ahromatiskus stimulus kādi tika izmantoti Volumetriskā 3D gadījumā.



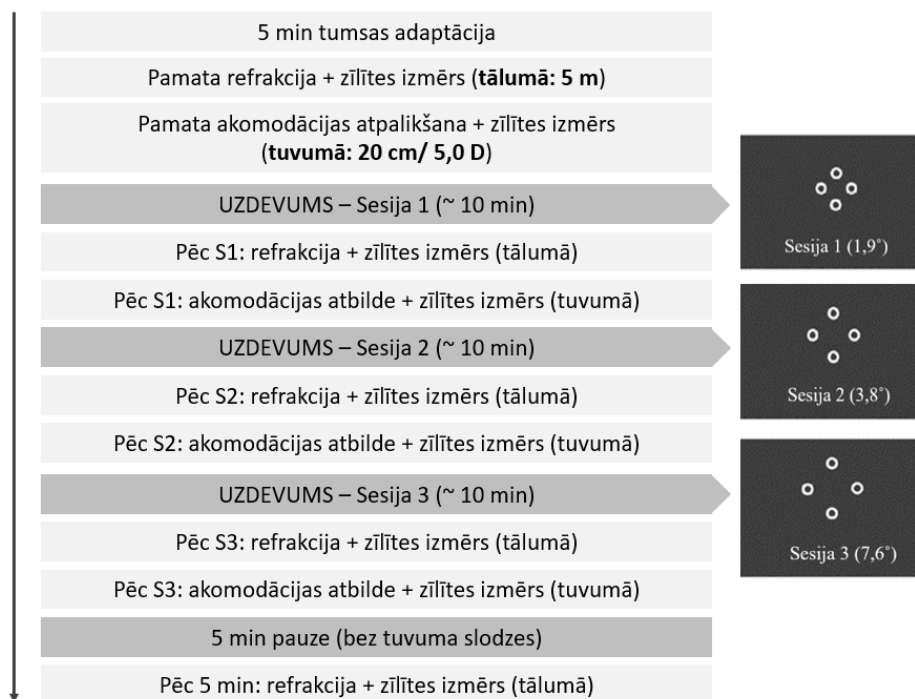
Att. 3.35. Pētījuma izkārtojums Anaglifa 3D gadījumā – (a) skats no sāna, (b) skats no priekšas, (c) palielinājumā parādīta telpiskā riņķa iegūšana, nobīdot labās (sarkanais) un kreisās acs (zilais) stimulus.

Dalībniekiem, kas veica uzdevumu ar Anaglifa 3D metodi, pirms eksperimenta tika palūgts subjektīvi samazināt monitora spilgtumu tā, lai tas vizuāli izskatītos pēc iespējas vienādi ar volumetriskā 3D ekrāna spilgtumu.

3.3.2.4.2 Pētījuma gaita

Pirms darba ar ekrānu visiem pētījuma dalībniekiem tika nodrošināta 5 minūšu ilga adaptācija mezopiskiem tumsas apstākļiem (4 lx, *Konica Minolta T-10*). Dalībnieki sēdēja vertikālā stāvoklī ar zodu un pieri atbalstītu pielāgojamā balstā 45 cm attālumā no volumetriskā ekrāna priekšējās virsmas. Anaglifa 3D metodē attālums mainījās atbilstoši simulētajam segmentam, kas tika testēts.

Pētījuma gaita shematiski attēlota Att. 3.36. Akomodācijas mērījumu laikā dalībniekam bija jāskatās Malta krusta centrā (izmērs 2° , tāluma mērījumiem 5 m un tuvuma mērījumiem 20 cm attālumā) un jācenšas izvairīties no acu mirkšķināšanas. Akomodācijas un zīlītes mērījumi pēc katras sesijas tika mērīti nepārtrauktā 10 sekunžu intervālā ar 50 Hz frekvenci, atļaujot iegūt līdz pat 480 ± 20 datu punktus katram mērījumam. Mērījumi tika veikti binokulāri ar ekscentriskā skata fotorefraktometru *PowerRef 3* iekārtu.



Att. 3.36. Pētījuma gaitas shematisks attēlojums, kur redzama secība, kādā tika veiktas uzdevumu sesijas un atbilstošie akomodācijas un zīlītes mērījumi tuvumā un tālumā.

Acs akomodācijas un refrakcijas, kā arī zīlītes izmērs tika mērīts gan pirms eksperimenta sākuma, lai novērtētu pamata stāvokli jeb *baseline* situāciju, gan pēc katras no trim sesijām. Eksperimenta beigās dalībnieki atpūtās 5 minūtes tumšā telpā, neveicot nekādus tuvuma darbus, un pēc tam tika veikti pēc-uzdevuma (*post-task*) mērījumi, lai novērtētu uzdevuma

radītā efekta noturību. Pēc katra segmenta pabeigšanas, tika veikts subjektīvs uzdevuma sarežģītības novērtējums ar 5 punktu *Likerta* skalu. Katras sesijas iegūtie uzdevuma grūtības vērtējumi no četriem segmentiem tika vidējoti un tālāk izmantoti, lai raksturotu konkrētās sesijas sarežģītības pakāpi.

3.3.2.4.3 Datu analīze

Datu analīzē tika pielietotas 2.7.1. un 3.2.3.2. nodaļā aprakstītās vispārīgās dinamisko akomodācijas mērījumu datu apstrādes stratēģijas. Kopumā šajā pētījuma daļā tika analizēti četri dinamiski iegūtie parametri, kas savā starpā tika salīdzināti pēc darba ar Volumetrisko 3D un Anaglifa 3D uzdevumiem:

- 1) refrakcijas kļūdas nobīdes lielums, kas raksturo intensīva tuvuma darba izraisītu, relatīvi īslaicīgu akomodācijas pamata stāvokļa izmaiņu (Arunthavaraja et al., 2010; Iribarren et al., 2001), kas iepriekšējos pētījumos biežāk saistīts ar refrakcijas kļūdas nobīdi miopijas virzienā (Ciuffreda & Wallis, 1998; Ong & Ciuffreda, 1995; Owens & Wolf-Kelly, 1987); tas tika aprēķināts sekojoši:

$$\text{Refrakcijas nobīde} = PRS_n - PPR \quad (3.14.)$$

kur PRS_n – objektīvā refrakcija mērīta ar *PowerRef 3* skatoties tālumā, pēc attiecīgās sesijas (S_n jeb Sesijas n no 1 līdz 3) (D), PPR – pamata objektīvā refrakcija mērīta ar *PowerRef 3* skatoties tālumā pirms tuvuma darbu uzsākšanas (D).

- 2) akomodācijas atpalikšana, kas raksturo akomodācijas darbības precizitāti, kas detalizētāk aprakstīts nodaļā 2.6.2.1., tika aprēķināta sekojoši:

$$\text{Akomodācijas atpalikšana} = \frac{1}{d} - (ARPR - PPR) \quad (3.15.)$$

kur d – stimula attālums (m), $ARPR$ – objektīvi iegūtā akomodācijas atbilde ar *PowerRef 3* tuvumā (D), PPR – pamata objektīvā refrakcija mērīta ar *PowerRef 3* skatoties tālumā pirms tuvuma darbu uzsākšanas (D).

- 3) akomodācijas mikrofluktuācijas, kas raksturo akomodācijas atbildes stabilitāti, kas detalizētāk aprakstīts nodaļā 2.6.2.2., tika aprēķinātas pēc vienādojuma 3.12.

4) zīlītes izmēra izmaiņas tika aprēķināta sekojoši:

$$\Delta Z = ZS_n - ZPR \quad (3.16.)$$

kur ΔZ – zīlītes izmaiņa (mm), ZS_n – zīlītes izmērs pēc sesijas n (S_n jeb Sesijas n no 1 līdz 3) (mm), ZPR – pamata zīlītes izmērs pirms tuvuma darbu uzsākšanas (mm).

3.3.2.4.4 Datu statistiskās apstrādes metodes

Statistiskā analīze tika veikta izmantojot statistiskās analīzes programmu R 3.5.1. versiju (*Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria). Akomodācijas mikrofluktuāciju un zīlītes izmēra izmaiņas tika novērtētas, izmantojot trīsfaktoru jaukto dispersijas analīzi ANOVA (*three-way mixed design ANOVA*) ar kopīgajām grupēšanas pazīmēm (*within-subjects factors*) attālums (Tuvums un Tālums) un sesija (Pamata stāvoklis, Sesija 1, Sesija 2 un Sesija 3), savukārt, par atšķirīgo grupēšanas pazīmi (*between-subjects factor*) tika definēts 3D veids (Volumetriskais 3D un Anaglifa 3D). Lai salīdzinātu pamatsāvokli un stāvokli pēc 5 min pauzes, tika pielietota divfaktoru jauktā dispersijas analīze ANOVA (*two-way mixed design ANOVA*). Kopējais nozīmības līmenis tika noteikts pēc *Bonferroni* metodes un savstarpēji atkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metodes *t-Test: Paired Samples*. Tā kā refrakcijas nobīde bija vienīgais faktors, kas tika mērīts tālumā, tad atšķirības starp sesijām tika analizētas atsevišķi, izmantojot vienfaktora dispersijas analīzi ANOVA. Lai izvērtētu refrakcijas nobīdes veida sadalījumu, tika izmantots neparametriskais Hī-kvadrāta (*Chi-squared*) tests. Lai aprakstītu akomodācijas atpauzes un zīlītes izmēra atšķirības starp labo un kreiso aci, tika veikta trīsfaktoru jauktā dispersijas analīze ANOVA ar atšķirīgo grupēšanas pazīmi (*between-subjects factor*) 3D veids (Volumetriskais 3D un Anaglifa 3D) un kopīgajām grupēšanas pazīmēm (*within-subjects factors*) sesija (Pamata stāvoklis, Sesija 1, Sesija 2, Sesija 3 un Pēc-uzdevuma stāvoklis) un acs (labā un kreisā).

3.3.2.5 Rezultāti

3.3.2.5.1 Refrakcijas nobīde

Atšķirības starp refrakcijas kļūdas nobīdi pēc Sesijas 1, Sesijas 2 un Sesijas 3 nebija statistiski nozīmīgi atšķirīgas ($F(2,150)=0,32, p = 0,73$), tāpēc tālākajā analīzē dati tika vidējoti un turpmāk aprakstīti, raksturojot refrakcijas stāvokli pēc darba ar visām sesijām kopā (S1–S3). Tika nedefinēti trīs iespējamie refrakcijas kļūdas nobīdes virzieni jeb veidi – miopiska nobīde ($\leq -0,05 D$), hipermetropiska nobīde ($\geq 0,05 D$) un klīniski nebūtiska nobīde ($> -0,05 D$ un $< 0,05$

D). Katras nobīdes veids tika analizēts gan pēc tās lieluma dioptrijās, gan arī pēc novērošanas biežuma %, kas raksturo, cik procentiem no grupas šāda tipa refrakcijas nobīde tika novērota (skat. Tabula 3.15.).

Tabula 3.15.

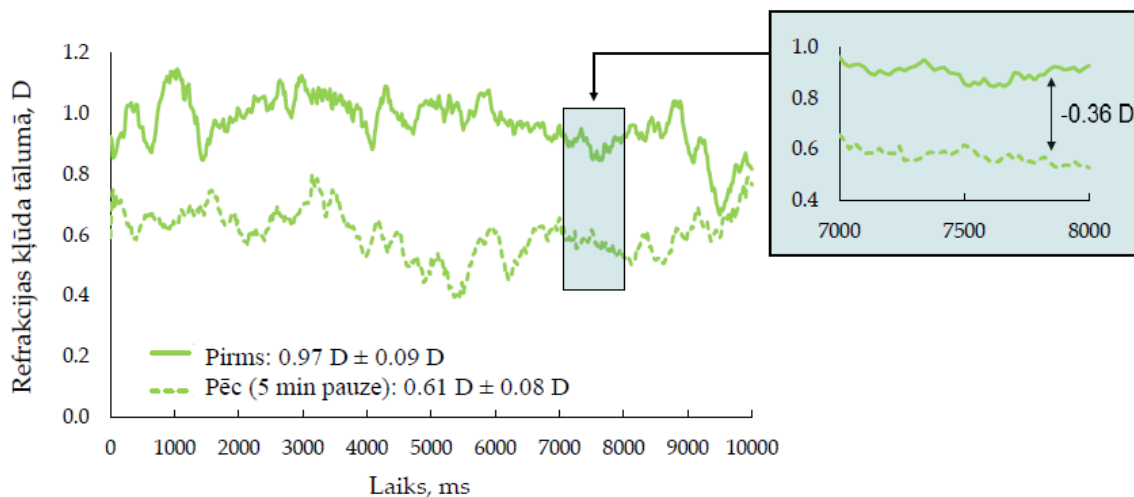
Refrakcijas nobīdes lielums (D) ± SD un novērošanas biežums (%) ± SD atkarībā no nobīdes veida un 3D veida.

VOLUMETRISKAIS 3D	Miopiska nobīde, D ± SD (%)	Hipermetropiska nobīde, D ± SD (%)	Nav izmaiņas*, %
Pēc S1–S3, D	-0,19 ± 0,17 (34 %)	0,22 ± 0,14 (42 %)	24 %
Pēc 5 min, D	-0,20 ± 0,15 (32 %)	0,26 ± 0,23 (47 %)	21 %
ANAGLIFA 3D	Miopiska nobīde ± SD (%)	Hipermetropiska nobīde ± SD (%)	Nav izmaiņas*, %
Pēc S1–S3, D	-0,16 ± 0,06 (32 %)	0,22 ± 0,15 (47 %)	21 %
Pēc 5 min, D	-0,24 ± 0,14 (39 %)	0,27 ± 0,35 (34 %)	27 %

* ja izmaiņu apjoms <0,05 D un >-0,05 D, tad tas netika uzskatīts kā klīniski būtisks

Ja salīdzina uzdevuma izraisīto refrakcijas kļūdas nobīdi (S1–S3) ar pamata stāvokli (χ^2 , $N = 59 = 0,14$, $p = 0,71$) vai pamata stāvokli ar stāvokli pēc 5 min pauzes (χ^2 , $N = 58 = 1,07$, $p = 0,30$), tad hipermetropiskas vai miopiskas refrakcijas nobīdes sadalījums ir līdzvērtīgs. Tomēr, ja salīdzina uzdevuma izraisīto refrakcijas kļūdas nobīdi (S1–S3) ar nobīdi, kas turpina pastāvēt pēc 5 min pauzes, tad iegūtie rezultāti parāda, ka Volumetriskā 3D gadījumā biežāk tika novērotas hipermetropiskas nobīdes, bet Anaglifa 3D gadījumā biežāk novēroja miopiska tipa nobīdes un hipermetropisko nobīžu īpatsvars samazinās (χ^2 , $N=54 = 5,47$, $p = 0,02$).

Visas nobīdes, kuru izmaiņu apjoms bija <0,05 D un >-0,05 D, tika nodefinētas kā klīniski nebūtiskas un pēc uzdevuma (S1–S3) sesijām Anaglifa 3D un Volumetriskā 3D gadījumā bija attiecīgi 24 % un 21 % un pēc 5 min pauzes saglabājās līdzīgas (21 % un 27 %). Tālākajā analizē tiks aplūkots miopiskās un hipermetropiskās refrakcijas nobīdes lielums. Kā piemērs Att. 3.37. attēlots viena Anaglifa 3D grupas dalībnieka 10 sekunžu mērījums pamatstāvoklī (pirms uzdevuma) un 5 min pēc uzdevuma pabeigšanas, kur redzamas gan akomodācijas mikrofluktuācijas, gan vidējā refrakcijas kļūdas nobīde, kas no 0,97 D hipermetropijas novirzījusies miopijas virzienā par 0,36 D.



Att. 3.37. Viena Anaglifa 3D grupas dalībnieka 10 sekunžu laikā iegūtie refrakcijas dati pamatstāvoklī un 5 min pēc uzdevuma pārtraukšanas.

Salīdzinātas tika refrakcijas nobīdes absolūtās vērtības starp pamata stāvokli, pēc Sesijām (S1–S3) un pēc 5 min pauzes, kur nozīmīgas atšķirības netika novērotas ne faktoram 3D veids (pamatstāvoklis un Sesijas: $F(1,56)=0,102$, $p = 0,75$; sesijas un pēc 5 min pauzes: $F(1,51)=0,827$, $p = 0,37$; pamatstāvoklis un pēc 5 min pauzes: $F(1,55)=0,155$, $p = 0,67$), ne pašam refrakcijas nobīdes lielumam (pamatstāvoklis un Sesijas: $F(1,56)=1,275$, $p = 0,26$; sesijas un pēc 5 min pauzes: $F(1,51)=0,161$, $p = 0,69$; pamatstāvoklis un pēc 5 min pauzes: $F(1,55)=0,504$, $p = 0,48$), kas ļauj secināt, ka gan hipermetropiskā nobīde ($+0,22 \pm 0,14$ D un $+0,22 \pm 0,15$ D), gan miopiskā nobīde ($-0,19 \pm 0,17$ D un $-0,16 \pm 0,06$ D) pēc darba ar Volumetrisko 3D un Anaglifa 3D ir līdzīgas un nepārsniedz mazāko 0,25 D soli, kāds tiek izmantots brillu korekcijas nozīmēšanā.

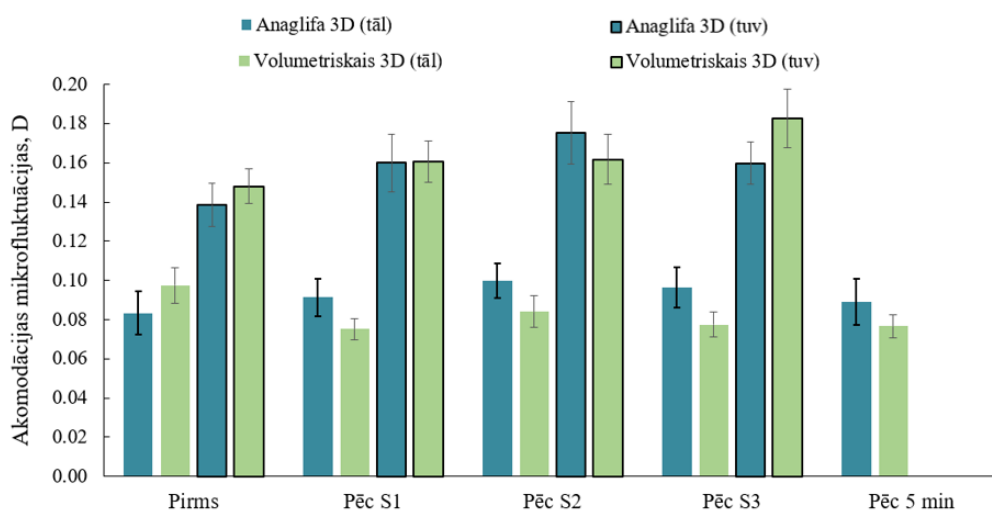
3.3.2.5.2 Akomodācijas atpalikšana

Akomodācijas atpalikšana nebija būtiski atšķirīga starp Sesijām ($F(1,36)=1,86$, $p = 0,18$). Tika novērota tendence, ka pēc darba ar Anaglifa 3D akomodācijas atpalikšana starp labo un kreiso aci atšķiras. Pēc darba ar Anaglifa 3D uzdevumu vidējā labās acs akomodācijas atpalikšana \pm SD 5,00 D stimulam bija $2,90 \pm 0,47$ D, kas ir par 0,13 D augstāka atpalikšana nekā kreisajā acī novērotā $2,77 \pm 0,55$ D akomodācijas atpalikšana. Neskatoties uz to, ka novērotā efekta statistiskās nozīmības līmenis $\alpha = 0,05$ netiek sasniegts ($F(1,36)=2,71$, $p = 0,1$), vidējā atšķirība ir $0,13 \pm 0,05$ D liela, kas vērtējama kā klīniski būtiska, jo sasniedz mazākās klīniski pielietotās proves lēcas vērtību, kas ir 0,12 D. Pēc darba ar Volumetrisko 3D uzdevumu

asimetriska akomodācijas atpalikšanas atbilde netika novērota – vidējā labās acs atpalikšana bija $2,77 \pm 0,57$ D un kreisās acs $2,77 \pm 0,53$ D. Pētījumā iegūtās akomodācijas atpalikšanas vērtības ir augstākas nekā sagaidāmās normas vērtības 20 cm jeb 5,00 D akomodācijas pieprasījumam, kas varētu būt skaidrojams ar salīdzinoši zemajiem eksperimenta apgaismojuma apstākļiem (Day et al., 2009; McClelland & Saunders, 2004) un objektīvās metodikas pielietojumu (León et al., 2017; Yeo et al., 2006). Neatkarīgi no 3D veida, kurā uzdevums tika izpildīts, tika novērots, ka, palielinoties zīlītes izmēram, akomodācijas atpalikšana bija mazāka ($\rho = -0,20, p < 0,001$, *Spīrmena* korelācija). Tas tika novērots gan labās acs ($\rho = -0,19, p = 0,017$), gan kreisās acs gadījumā ($\rho = -0,22, p = 0,006$).

3.3.2.5.3 Mikrofluktuācijas

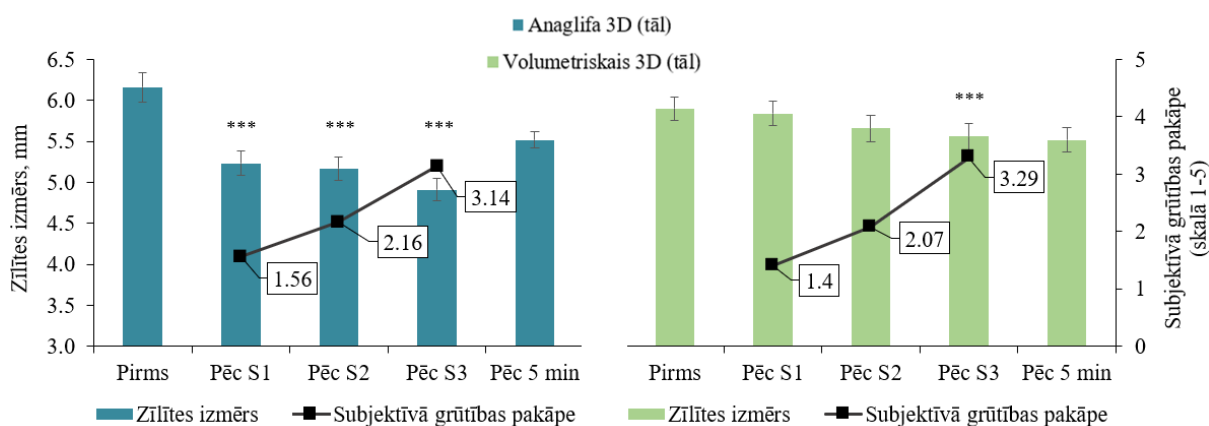
Neatkarīgi no 3D veida ($F(1,74)=0,05, p = 0,82$), mikrofluktuāciju lielums pēc visām uzdevuma veikšanas sesijām bija līdzvērtīgs ($F(2,67;196,7)=2,02, p = 0,12$) un tuvumā novērotās mikrofluktuācijas bija aptuveni divas reizes lielākas nekā tālumā novērotās ($F(1,74)=128,0, p < 0,001$). Mikrofluktuāciju lielumi, skatoties tālumā un tuvumā, atkarībā no 3D veida katrā no sesijām apkopoti Att. 3.38.



Att. 3.38. Akomodācijas mikrofluktuācijas \pm SD atkarībā no sesijas (horizontālā ass), attāluma (bez kontūras: tālumā, ar kontūru: tuvumā) un 3D veida (zilā krāsā: Anaglifa 3D, zaļā krāsā: Volumetriskais 3D).

3.3.2.5.4 Zīlītes izmēra izmaiņas

Iegūtie rezultāti parāda, ka zīlītes izmērs tuvumā ir būtiski šaurāks nekā tālumā ($F(1,38)=4,7, p = 0,036$) un samazinās līdz ar uzdevuma Sesiju ($F(3,114)=40,7, p < 0,001$). Turpmākajā analizē aprakstītas tāluma zīlītes izmēra izmaiņas atkarībā no faktoriem Sesija un 3D veids, kas vizuāli attēlotas Att. 3.39. Pamata zīlītes izmērs pirms eksperimenta uzsākšanas Volumetriskā 3D un Anaglifa 3D grupām bija līdzvērtīgs ($F(1,38)=1,85, p = 0,18$). Tika novērota sakarība starp 3D veidu un Sesiju ($F(3,114)=17,50, p < 0,001$), kas parādīja, ka zīlītes izmēra izmaiņas pēc darba sesijām ar Volumetrisko 3D iestājās būtiski vēlāk, nekā pēc darba ar Anaglifa 3D. Volumetriskā 3D gadījumā būtiski šaurāks zīlītes izmērs salīdzinot ar pamata stāvokli novērots tikai pēc Sesijas 3 ($p = 0,003$), savukārt, Anaglifa 3D gadījumā šaurāks zīlītes izmērs novērojams jau pēc Sesijas 1 un tas saglabājās līdz pat Sesijai 3 ($p < 0,001$).



Att. 3.39. Zīlītes izmēra izmaiņas ± SD pēc katras no sesijām darbā ar Anaglifa 3D (pa kreisi, zilās stabiņu diagrammas) un Volumetriskā 3D (pa labi, zaļās stabiņu diagrammas) uzdevumiem. Subjektīvās grūtības pakāpes novērtējums 5 punktu *Likerta* skalā attēlots ar melnu līniju. Būtiskuma līmenis apzīmēts ar *** $p < 0,001$.

Iepriekš veiktie pētījumi ir parādījuši, ka zīlītes izmērs var tikt izmantots kā netiešs noguruma indikators (Gislén et al., 2008; Lowenstein et al., 1963). Ņemot vērā to, ka mūsu pētījumā veiktais subjektīvais uzdevuma grūtības pakāpes novērtējums būtiski pieaug līdz ar katru uzdevuma sesiju (skat. Att. 3.39.) ($F(1,5; 57)=104,5, p < 0,001$), neatkarīgi no 3D veida, bet zīlītes izmēra samazināšanās daudz straujāk notiek pēc darba ar Anaglifa 3D uzdevumu, varam secināt, ka Anaglifa 3D gadījumā iespējamais noguruma efekts izpaužas ātrāk nekā Volumetriskā 3D gadījumā.

Zīlītes izmēra izmaiņām tuvumā tika novērota saistība starp faktoriem 3D veids un Acs, kur pēc *Bonferroni* metodes un savstarpēji atkarīgu izlašu vidējo vērtību salīdzināšanas metodes *t-Test: Paired Samples* pielietošanas tika novērots atšķirīgs labās un kreisās acs zīlītes izmērs pēc darba ar Anaglifa 3D uzdevumu (labā acs: $5,70 \pm 1,06$ mm un kreisā acs: $5,56 \pm 1,06$ mm, $p = 0,002$). Pēc darba ar Volumetrisko 3D uzdevumu statistiski nozīmīgas atšķirības starp labās un kreisās acs zīlītes izmēriem netika novērotas (labā acs: $5,94 \pm 0,80$ mm un kreisā acs: $6,02 \pm 0,78$ mm, $p = 0,18$).

3.3.2.6 Diskusija

Ong & Ciuffreda (1995) apkopojusi 16 pētījumus, kuros pēc tuvuma darba ar standarta divdimensiju stimulu (lielākajā daļā darbs datora ekrānā) novērota refrakcijas kļūdas nobīde miopiskā virzienā un 6 pētījumus, kur tuvuma darbu izraisīta refrakcijas kļūdas nobīde nav novērota (*Ong & Ciuffreda*, 1995). Šis pētījums ir devis nozīmīgu ieguldījumu izpratnē par refrakcijas kļūdas nobīdi pēc darba ar trīsdimensiju stimulu, jo, mūsu zināšanu ietvaros, refrakcijas kļūdas nobīde pēc darba ar trīsdimensiju stimulu iepriekš aprakstīta tikai Japāņu valodā un laikā, kad tikko parādījās virtuālie 3D stimuli (*Fujikado*, 1997), kur pēc *Maeda* un kolēģu (2011) un *Yum* un kolēģu (2014) publikācijās aprakstītā var secināt, ka *Fujikado* (1997) pēc darba ar virtuālu 3D stimulu novērojis refrakcijas kļūdas nobīdi miopijas virzienā. Šī pētījuma iegūtie rezultāti parāda, ka pēc darba ar virtuālu (Anaglifa 3D) vai reālu (Volumetriskais 3D) trīsdimensiju attēlu gandrīz pusei dalībnieku novērojama iepriekš literatūrā neaprakstīta, hipermetropiska veida refrakcijas kļūdas nobīde, kas var liecināt par akomodācijas sistēmas atslābināšanos pēc darba ar 3D stimulu. Ja aplūkojam pētījumā iegūtās vidējās refrakcijas nobīdes lielumus dioptrijās pēc darba ar trīsdimensiju stimulu, tad tās ir salīdzinoši mazākas vai līdzvērtīgas tām refrakcijas kļūdas nobīdēm, kas asimptomātiskiem dalībniekiem iegūtas pēc darba ar divdimensiju stimuliem (robežās no 0,11 D līdz 0,90 D, vidēji ap 0,30 D) (*Arunthavaraja et al.*, 2010; *Ciuffreda & Vasudevan*, 2008; *Owens & Wolf-Kelly*, 1987). Šī pētījuma rezultāti var tikt skaidroti ar trīsdimensionāli projicētā attēla specifiku, kur, piemēram, Volumetriskā 3D ekrāna gadījumā, stimuli tiek projicēti uz dažādām ekrāna plaknēm, kas fiziskajā telpā veido akomodācijas sistēmas pieprasījuma atšķirību no 2,22 D ekrāna priekšējā plaknē līdz 1,83 D ekrāna mugurējā plaknē – tādejādi nenoslogojot acs akomodāciju ilgstoši vienā, konstantā attālumā. Kā vēl viens ietekmējošais faktors, kāpēc šī pētījuma ietvaros miopiska tipa refrakcijas kļūdas nobīdes tika novērotas salīdzinoši maz

dalībniekiem, var tikt saistīts ar to, ka visi dalībnieki bija ar emetropiju. Iepriekšējie pētījumi ir parādījuši, ka tuvuma darbu izraisīta miopiska refrakcijas kļūdas nobīde novērojama 85 % līdz 91 % dalībniekiem ar miopiju, 27 % dalībniekiem ar emetropiju un tikai 11 % dalībniekiem ar hipermetropiju (Ciuffreda & Wallis, 1998).

Ja salīdzinām šajā pētījumā aplūkotās abas trīsdimensiju attēlatveides tehnoloģijas, tad iegūtie rezultāti parāda, ka Anaglifa 3D metode, kur stereoattēla iegūšanai tiek izmantota abu acu attēla atdalīšanas tehnika ar sarkani-zilo filtru brillēm, rada konfliktējošu labās un kreisās acs akomodācijas un zīlītes atbildi. Mūsu rezultāti parāda tendenci, ka sarkanais filtrs ir ierosinājis par 0,13 D lielāku acs akomodācijas atpauzīšanu nekā zilais filtrs, kas var tikt skaidrots ar acs akomodācijas atbildes atšķirībām dažādu hromatisko stimulu gadījumā, kur teorētiskie aprēķini paredz, ka akomodācijas atbilde starp zilo un sarkano gaismas viļņu stimuliem var atšķirties līdz pat 1,50 D (Mandelman & Sivak, 1983). Eksperimentālie novērojumi šos aprēķinus apstiprina – akomodācijas atbildes atšķirība starp 480 nm stimulu un 655 nm stimulu tika iegūta $0,81 \pm 0,17$ D apjomā (Seidemann & Schaeffel, 2002). Attiecībā uz zīlītes izmēru, mūsu pētījums parādīja Anaglifa 3D izraisītu, īslaicīgu asimetrisku zīlītes izmēru, kur acij, kas skatījās caur sarkano filtru novēroja par 0,14 mm šaurāku zīlīti nekā acij, kas skatījās caur zilo filtru. Tas sakrīt ar Baritz un kolēģu (2013) pētījumā novēroto, ka īso viļņu garuma gaismas spektrā ($3,35 \pm 0,45$ mm) zīlītes izmērs ir mazāks nekā garo gaismas viļņu spektrā ($2,99 \pm 0,49$ mm). Jāpiemin, ka šajā pētījumā iegūtā 0,14 mm izmaiņa nav uzskatāma kā klīniski būtiska, ņemot vērā to, ka fizioloģiski normāla asimetrija starp abu acu zīlīšu izmēriem 70 % gadījumu sagaidāma līdz pat 0,4 mm (Steck et al., 2018).

Acs akomodācijas mikrofluktuāciju atšķirības darba laikā un pēc darba ar Volumetrisko 3D un Anaglifa 3D ekrānu netika novērotas, kas ir saskaņā ar iepriekš veiktajiem pētījumiem, kur mikrofluktuāciju izmaiņas netika novērotas pēc darba ar 3D stimuliem, kas iegūti pēc anaglifa metodes (Iwasaki & Tawara, 2002; Maeda et al., 2011) un daudzplakņu 3D vizualizācijas metodes (MacKenzie et al., 2010). Līdzīgi kā iepriekš veiktajos pētījumos ar 2D stimuliem (Charman & Heron, 2015; Day et al., 2006; Harb et al., 2006), mūsu pētījums parāda, ka arī pēc darba ar 3D stimuliem, skatoties tuvumā, novērojamas lielākas akomodācijas mikrofluktuācijas nekā skatoties tālumā.

Lai arī šajā pētījumā izmantotā metodika pirmo reizi ļāvusi salīdzināt akomodācijas un zīlītes atbildi pēc darba ar divu atšķirīgu 3D tehnoloģiju attēlatveides veidiem, ir jāpiemin vienlīdzīgu apstākļu nodrošināšanas ierobežojošie faktori – atšķirīgi stimulu spektrālie

parametri. Pirmkārt, Volumetriskā 3D gadījumā tika izmantots ahromatisks baltas krāsas stimul, ko Anaglifa 3D metodikā nav iespējams nodrošināt, jo nepieciešams izmantot divu pretēju, hromatisku krāsu salikumu. Otrkārt, Volumetriskā 3D ekrānā iegūstamā izšķirtspēja, kontrasts un spožums ir salīdzinoši zemāki nekā Anaglifa 3D metodē. Ekrāna spožums no šiem faktoriem ir ļoti būtisks, jo var ietekmēt zīlītes izmēru, tāpēc dalībnieki no Anaglifa 3D grupas pirms darba ar ekrānu veica Anaglifa 3D ekrāna subjektīvo kalibrēšanu, samazinot ekrāna spožumu tā, lai tas izskatītos līdzvērtīgs Volumetriskā 3D ekrāna apstākļiem. Lai arī akomodācijas atbildes izmaiņu dokumentēšanā faktiskā akomodācijas atbildes vērtība nav būtiska, ir jāpiemin, ka eksperimenta vides zemais apgaismojuma līmenis, kas bija jānodrošina, lai iegūtu zīlītes izmēru vismaz 4 mm lielumā un varētu iegūt kvalitatīvus fotorefraktometra mērījumus, radīja būtiski augstāku akomodācijas atpalikšanu nekā citos iepriekš veiktajos pētījumos (Momeni-Moghaddam et al., 2014; Penisten et al., 2004; B. Wang & Ciuffreda, 2006). Pētījumi, kas aplūkojuši apgaismojuma ietekmi uz acs akomodācijas atbildi rāda, ka akomodācijas amplitūda zema apgaismojuma apstākļos ir sagaidāma par 1,22 D zemāka nekā augsta apgaismojuma apstākļos (Mhairi Day, Seidel, et al., 2009; McClelland & Saunders, 2004) un objektīvā akomodācijas atbildes atpalikšana LED apgaismojuma apstākļos novērojama par 0,50 D līdz 1,00 D augstāka nekā OLED apgaismojumā (Yang et al., 2019). Šī pētījuma ietvaros novēroto paaugstināto akomodācijas atpalikšanu var saistīt arī ar objektīvās akomodācijas atbildes metodikas pielietošanu, jo iepriekš veiktie pētījumi parāda, ka vienas dalībnieku grupas ietvaros, dinamiskā retinoskopijā novēro līdz pat 1,00 D zemāku akomodācijas atpalikšanu nekā izmantojot objektīvo metodiku (Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the Pediatric Eye Disease Investigator Group, 2009).

3.3.2.7 Secinājumi

1. Refrakcijas nobīdes lielums nav atkarīgs no refrakcijas nobīdes veida (miopisks vai hipermetropisks) un 3D veida (Volumetriskais 3D vai Anaglifa 3D), tomēr, strādājot ar Volumetrisko 3D ekrānu, biežāk novēro noturīgāku hipermetropiskā tipa nobīdi.
2. Pēc darba ar Anaglifa 3D veidojas asimetriska acs akomodācijas atpalikšanas un zīlītes atbilde, kas ir pretrunā ar fizioloģiski sagaidāmo – simetrisku acs akomodācijas darbību abās acīs.
3. Darbs ar 3D vizuālo saturu neietekmē acs akomodācijas mikrofluktuācijas ne pēc darba ar Volumetrisko 3D, ne Anaglifa 3D veidiem.
4. Pieaugot uzdevuma grūtības pakāpei, zīlītes izmērs samazinās, turklāt strādājot ar Anaglifa 3D šis efekts parādās ātrāk nekā Volumetriskā 3D gadījumā.

Pirmais un trešais secinājums ir izmantots darba piektās tēzes formulēšanā. Otrais un daļēji ceturtais secinājums izmantots darba sestās tēzes formulēšanā.

NOBEIGUMS

Šī promocijas darba ietvaros ir aktualizēts individualizētas pieejas nozīmīgums tuvuma aditīva noteikšanā un piedāvāts efektīvāks modelis tuvuma aditīva noteikšanā, balstoties uz indivīda vecumu un redzes asumu bez aditīva, kas var tālāk tikt pielietots gan optometrista praksē darbā ar pacientiem, gan esošo vai topošo optometrisko un oftalmisko iekārtu algoritmu uzlabošanai. Iegūtie rezultāti ir snieguši izpratni par nekoriģēta aditīva ietekmi uz tuvuma darbu veiktspēju un ir nodefinēts kritiskais aditīva lielums, kuru nekoriģējot var samazināties presbiopijas vecuma cilvēku dzīves kvalitāte un padarīto darbu efektivitāte. Ir izvērtēta dinamisko akomodācijas un zīlītes mērījumu metodika, definēti metodes ierobežojošie faktori un piedāvāts rezultātu izklāsts, kas parāda tehniku, kas ļauj papildināt klīnisko akomodācijas rezervju mērījumus ar objektīvās akomodācijas atbildes komponenti. Pamatojoties uz promocijas darba pētījuma rezultātiem, ir iegūta dziļāka izpratne par to, kā digitālās tehnoloģijas ietekmē redzes funkcijas. Ir izpētīts, kuri faktori ietekmē viedtālruņa lietošanas attālumu un demonstrēta uzdevuma tipa loma tuvuma attāluma izvēlē. Ir demonstrēta metode tuvuma funkciju izvērtēšanai pēc darba ar inovatīvu trīsdimensiju volumetrisko attēlu, kuru pielietojot tika iegūta iepriekš neaprašīta hipermetropiska tipa refrakcijas nobīde, kas liecina par reāla trīsdimensiju attēla iespējamu pozitīvu ietekmi uz acs atslābināšanos. Būtu nepieciešams turpināt izpētīt šo efektu, jo tas var potenciāli tikt pielietots redzes treniņu realizēšanā, kā arī tas ļauj izvērtēt, kuras no trīsdimensiju tehnoloģijām ir redzes sistēmai labvēlīgākas.

AIZSTĀVĀMĀS TĒZES

1. Izveidotais daudzfaktoru regresijas modelis ar 76 % efektivitāti prognozē aditīva lielumu pēc indivīda vecuma un redzes asuma bez aditīva (*Proc. SPIE 11207, paper 112070Y*).
2. Nekoriģētas daļējas presbiopijas gadījumā tuvuma darbu veikspēja tiek negatīvi ietekmēta, ja nepieciešamais aditīvs ir $>1,25$ D, savukārt, pilnas presbiopijas gadījumā tuvuma darbu veikspēja būtiski krītas pie katra neizkoriģētā 0,50 D aditīva soļa.
3. Izveidotā metodika papildina klīnisko akomodācijas rezervju mērījumu ar objektīvās akomodācijas atbildes komponenti, sniedz būtisku papildus informāciju par akomodācijas sistēmas darbību binokulāros un monokulāros apstākļos un var tikt pielietota akomodācijas un vergences traucējumu izpētē (Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2019. gadā, ISBN 978-9934-19-775-8).
4. Viedtālruņa lietošanas attālums neatkarīgi no refrakcijas kļūdas veida vai heteroforijas veida ir būtiski tuvāks, ja tiek veikts aktīvs uzdevums salīdzinājumā ar pasīvu uzdevumu, atbilstoši radot lielāku akomodācijas pieprasījumu (*Proc. SPIE 11207, paper 1120714*).
5. Acs mikrofluktuāciju un refrakcijas nobīdes apjoms ir līdzvērtīgs pēc Volumetriskā 3D un Anaglifa 3D metožu lietošanas, tomēr, pēc darba ar Volumetrisko 3D ekrānu, biežāk novēro īslaicīgi noturīgu hipermetropiskā tipa nobīdi (*Photonics* 2019, 6(4)).
6. Ir nodemonstrēts, ka strādājot ar Volumetrisko 3D attēlu, kur trīsdimensiju attēla iegūšanā netiek atdalīti abu acu attēli, nenovēro akomodācijas un zīlītes atbildes atšķirības starp abām acīm pretēji darbam ar Anaglifa 3D attēlu (*ACM International Conference Proceedings: Application of Intelligent Systems 2019, paper 14*).

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

- Abraham, L. M., Kuriakose, T., Sivanandam, V., Venkatesan, N., Thomas, R., & Muliyl, J. (2005). Amplitude of accommodation and its relation to refractive errors. *Indian Journal of Ophthalmology*, 53, 105–108.
- Adnan, Efron, N., Mathur, A., Edwards, K., Pritchard, N., Suheimat, M., & Atchison, D. A. (2014). Amplitude of accommodation in type 1 diabetes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 55(10), 7014–7018.
- Aggarwala, K. R., Kruger, E. S., Mathews, S., & Kruger, P. B. (1995). Spectral bandwidth and ocular accommodation. *Journal of the Optical Society of America A*, 12(3), 450.
- Alpern, M. (1958). Variability of accommodation during steady fixation at various levels of illuminance. *Journal of the Optical Society of America*, 48(3), 193.
- Anderson, H. A., Glasser, A., Manny, R. E., & Stuebing, K. K. (2010). Age-related changes in accommodative dynamics from preschool to adulthood. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 51(1), 614–622.
- Anderson, H. A., Glasser, A., Manny, R. E., & Stuebing, K. K. (2014). Subjective versus objective accommodative amplitude: Preschool to presbyopia. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 51(11), 614–622.
- Anderson, H. A., Glasser, A., Stuebing, K. K., & Manny, R. E. (2009). Minus lens stimulated accommodative lag as a function of age. *Optometry and Vision Science*, 86(6), 685–694.
- Anderson, H. A., Manny, R. E., Glasser, A., & Stuebing, K. K. (2011). Static and dynamic measurements of accommodation in individuals with down syndrome. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 52(1), 310–317.
- Andreassi, J. L. (1980). Pupillary response and behavior. *Psychophysiology: Human Behavior and Physiological Response*, 289–304.
- Antona, B., Barra, F., Barrio, A., Gutierrez, A., Piedrahita, E., & Martin, Y. (2008). Comparing methods of determining addition in presbyopes. *Clinical and Experimental Optometry*, 91(3), 313–318.
- Arunthavaraja, M., Vasudevan, B., & Ciuffreda, K. J. (2010). Nearwork-induced transient myopia (NITM) following marked and sustained, but interrupted, accommodation at near. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 30(6), 766–775.
- Atchison, D. a, Markwell, E. L., Kasthurirangan, S., Pope, J. M., Smith, G., & Swann, P. G. (2008). Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes. *Journal of Vision*, 8(4), 29.1-20.
- Bababekova, Y., Rosenfield, M., Hue, J. E., & Huang, R. R. (2011). Font size and viewing distance of handheld smart phones. *Optometry and Vision Science*, 88(7), 795–797.
- Bando, T., Iijima, A., & Yano, S. (2012). Visual fatigue caused by stereoscopic images and the search for the requirement to prevent them: A review. *Displays*, 33(2), 76–83.
- Bao, J., Drobe, B., Wang, Y., Chen, K., Seow, J., || F. L., & || B. (2015). Influence of near tasks on posture in myopic chinese schoolchildren. *Optometry and Vision Science*, 92(8), 908–915.
- Baritz, M., Cotoros, D., & Singer, C. (2013). Study of pupil reflex under chromatic light radiation incidence. *E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, 1–3.
- Benjamin, W. J. (2006). Borish's Clinical Refraction. In *Borish's clinical refraction* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Bharadwaj, S. R., & Schor, C. M. (2005). Acceleration characteristics of human ocular accommodation. *Vision Research*, 45(1), 17–28.
- Bharadwaj, S. R., Sravani, N. G., Little, J.-A., Narasaiah, A., Wong, V., Woodburn, R., &

- Candy, T. R. (2013). Empirical variability in the calibration of slope-based eccentric photorefraction. *Optics and Image Science, and Vision*, 30(5), 923–931.
- Bharadwaj, S. R., Wang, J., & Candy, T. R. (2011). *Pupil responses to near visual demand during human visual development*. 11, 1–14.
- Bittencourt, L. C., Alves, M. R., Dantas, D. O., Rodrigues, P. F., & dos Santos-Neto, E. (2013). An evaluation of estimation methods for determining addition in presbyopes. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 76(4), 218–220.
- Björnsson, C. H. (1968). *Läsbarhet*. Liber.
- Blade, P. J., & Candy, T. R. (2006). Validation of the PowerRefractor for measuring human infant refraction. *Optometry and Vision Science*, 83(6), 346–353.
- Bobier, W. R., Campbell, M. C. W., McCreary, C. R., Power, A. M., & Yang, K. C. (1992). Coaxial photorefractive methods: an optical analysis. *Applied Optics*, 31(19), 3601.
- Borish, I. . (1970). *Clinical Refraction* (3rd ed.). Professional Press.
- Bourne, R. R. A., Flaxman, S. R., Braithwaite, T., Cicinelli, M. V., Das, A., Jonas, J. B., Keeffe, J., Kempen, J., Leasher, J., Limburg, H., Naidoo, K., Pesudovs, K., Resnikoff, S., Silvester, A., Stevens, G. A., Tahhan, N., Wong, T., Taylor, H. R., Ackland, P., ... Zheng, Y. (2017). Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Global Health*, 5(9), e888–e897.
- Braun, C. I., Benson, W. E., Remaley, N. A., Chew, E. Y., & Ferris, F. L. (1995). Accommodative amplitudes in the Early Treatment Diabetic Retinopathy Study. *Retina (Philadelphia, Pa.)*, 15(4), 275–281.
- Brodsky, M. C., & Jung, J. (2015). Intermittent exotropia and accommodative esotropia: Distinct disorders or two ends of a spectrum? *Ophthalmology*, 122(8), 1543–1546.
- Brown, N. (1974). The change in lens curvature with age. *Experimental Eye Research*, 19(2), 175–183.
- Bruce, A. S., Atchison, D. A., & Bhoola, H. (1995). Accommodation-convergence relationships and age. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 36(2), 406–413.
- Brysbaert, M. (2019). How many words do we read per minute? A review and meta-analysis of reading rate. *Journal of Memory and Language*, 109, 104047.
- Buehren, T., & Collins, M. J. (2006). Accommodation stimulus–response function and retinal image quality. *Vision Research*, 46(10), 1633–1645.
- Bullimore, M. A., & Gilmartin, B. (1989). The measurement of adaptation of tonic accommodation under two open-loop conditions. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 9(1), 72–75.
- Burge, P. D. (1983). Comprehension and rate: Oral vs. silent reading for low achievers. *Reading Horizons*, 23(3), 201–206.
- Burns, D. H., Evans, B. J. W., & Allen, P. M. (2014). Clinical measurement of amplitude of accommodation : a review. *Optometry in Practice*, 15(3), 75–86.
- Cacho-martínez, P., García-muñoz, Á., & Ruiz-cantero, M. T. (2013). *Diagnostic Validity of Clinical Signs Associated with a Large Exophoria at Near*. 2013.
- Cacho-Martínez, P., García-Muñoz, Á., & Ruiz-Cantero, M. T. (2014). Is there any evidence for the validity of diagnostic criteria used for accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions? *Journal of Optometry*, 7(1), 2–21.
- Cacho, P., García, A., Lara, F., & Seguí, M. M. (2002). Diagnostic signs of accommodative insufficiency. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 79(9), 614–620.
- Calabrèse, A., Cheong, A. M. Y., Cheung, S.-H., He, Y., Kwon, M., Mansfield, J. S.,

- Subramanian, A., Yu, D., & Legge, G. E. (2016). Baseline MNREAD measures for normally sighted subjects from childhood to old age. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 57(8), 3836–3843.
- Callens, M., Tops, W., & Brysbaert, M. (2012). Cognitive profile of students who enter higher education with an indication of dyslexia. *PLoS ONE*, 7(6), e38081.
- Campbell, F.W. (1960). Correlation of accommodation between the two eyes. *Journal of the Optical Society of America*, 50, 738.
- Campbell, F.W. (1957). The depth of field of the human eye. *Optica Acta: International Journal of Optics*, 4(4), 157–164.
- Campbell, M. C., Bobier, W. R., & Roorda, A. (1995). Effect of monochromatic aberrations on photorefractive patterns. *Journal of the Optical Society of America*, 12(8), 1637–1646.
- Carver, R. P. (1992). Reading rate: Theory, research, and practical implications. *Journal of Reading*, 36(2), 84–95.
- Charman, W. N. (1989). The path to presbyopia: straight or crooked? *Ophthalmic & Physiological Optics*, 9(4), 424–430.
- Charman, W. Neil. (2008). The eye in focus: Accommodation and presbyopia. *Clinical and Experimental Optometry*, 91(3), 207–225.
- Charman, W. Neil, & Heron, G. (2015). Microfluctuations in accommodation: An update on their characteristics and possible role. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 35(5), 476–499.
- Chaudhary, N. P., Gautam, P. S., Dahal, S., & Acharya, D. (2018). Study of the amplitude of accommodation and its relation to errors of refraction: A hospital based study. *Journal of Nobel Medical College*, 7(2)(13), 20–24.
- Chen, A. H., Ahmad, A., Kearney, S., & Strang, N. (2019). The influence of age, refractive error, visual demand and lighting conditions on accommodative ability in Malay children and adults. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 257(9), 1997–2004.
- Chen, M., Wu, A., Zhang, L., Wang, W., Chen, X., Yu, X., & Wang, K. (2018). The increasing prevalence of myopia and high myopia among high school students in Fenghua city, eastern China: A 15-year population-based survey. *BMC Ophthalmology*, 18(1), 1–10.
- Chen, Y.-L., Tan, B., & Lewis, J. (2003). Simulation of eccentric photorefractive images. *Optics Express*, 11(14), 1628–1642.
- Chen, Y. F., Lee, Y. Y., Chen, T., Semmlow, J. L., & Alvarez, T. L. (2010). Behaviors, models, and clinical applications of vergence eye movements. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 30(1), 1–15.
- Cheung, R., Duong, S., Asper, L., Paynter, R., & Long, J. (2016). Viewing distance and eyestrain symptoms with prolonged viewing of smartphones. *Clinical and Experimental Optometry*, 100(2), 133–137.
- Chirre, E., Prieto, P., & Artal, P. (2015). Dynamics of the near response under natural viewing conditions with an open-view sensor. *Biomedical Optics Express*, 6(10), 4211.
- Choi, M., Weiss, S., Schaeffel, F., Seidemann, A., Howland, H. C., Wilhelm, B., & Wilhelm, H. (2000). Laboratory, clinical, and kindergarten test of a new eccentric infrared photorefractor (Powerrefractor). *Optometry and Vision Science*, 77(10), 537–548.
- Ciuffreda, K. J. (2006). Accommodation, the pupil, and presbyopia. In *Borish's Clinical Refraction* (2nd ed., pp. 93–144). Butterworth-Heinemann.
- Ciuffreda, K. J., & Kenyon, R. V. (1983). Accommodative vergence and accommodation in normals, amblyopes, and strabismics. In C. M. Schor & K. J. Ciuffreda (Eds.), *Vergence Eye Movements: Basic and Clinical Aspects* (pp. 101–173). Butterworths.

- Ciuffreda, K. J., & Vasudevan, B. (2008). Nearwork-induced transient myopia (NITM) and permanent myopia - is there a link? *Ophthalmic and Physiological Optics*, 28(2), 103–114.
- Ciuffreda, K. J., & Wallis, D. M. (1998). Myopes show increased susceptibility to nearwork aftereffects. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 39(10), 1797–1803.
- Ciuffreda, K. J., Wang, B., & Vasudevan, B. (2007). Conceptual model of human blur perception. *Vision Research*, 47(9), 1245–1252.
- Cole, T. D. (1991). Multimetric photorefraction: a technique for the detection of visual defects in infants and preverbal children. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 12(2), 166–175.
- Collins, M. J., Buehren, T., & Iskander, D. R. (2006). Retinal image quality, reading and myopia. *Vision Research*, 46, 196–215.
- Cop, U., Drieghe, D., & Duyck, W. (2015). Eye movement patterns in natural reading: A comparison of monolingual and bilingual reading of a novel. *PLOS ONE*, 10(8), e0134008.
- Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the Pediatric Eye Disease Investigator Group. (2009). Accommodative lag by autorefractometry and two dynamic retinoscopy methods. *Optometry and Vision Science*, 86(3), 233–243.
- Cufflin, M. P., & Mallen, E. A. H. (2008). Dynamic accommodation responses following adaptation to defocus. *Optometry and Vision Science*, 85(10), 982–991.
- Cufflin, M. P., Mankowska, A., & Mallen, E. A. H. (2007). Effect of blur adaptation on blur sensitivity and discrimination in emmetropes and myopes. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 48(6), 2932–2939.
- Cutler, A., Norris, D., & Sebastián-Gallés, N. (2004). Phonemic repertoire and similarity within the vocabulary. *Interspeech - ICSLP*, 65–68.
- Davson, H. (1990). *Physiology of the eye*. Macmillan Education.
- Day, M., Gray, L. S., Seidel, D., & Strang, N. C. (2009). The relationship between object spatial profile and accommodation microfluctuations in emmetropes and myopes. *Journal of Vision*, 9(10), 5–5.
- Day, Mhairi, Gray, L. S., Seidel, D., & Strang, N. C. (2009). The relationship between object spatial profile and accommodation microfluctuations in emmetropes and myopes. *Journal of Vision*, 9(10), 1–13.
- Day, Mhairi, Seidel, D., Gray, L. S., & Strang, N. C. (2009). The effect of modulating ocular depth of focus upon accommodation microfluctuations in myopic and emmetropic subjects. *Vision Research*, 49(2), 211–218.
- Day, Mhairi, Strang, N. C., Seidel, D., & Gray, L. S. (2008). Technical Note: Effect of contact lenses on measurement of the accommodation microfluctuations. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 28(1), 91–95.
- Day, Mhairi, Strang, N. C., Seidel, D., Gray, L. S., & Mallen, E. A. H. H. (2006). Refractive group differences in accommodation microfluctuations with changing accommodation stimulus. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 26(1), 88–96.
- Del Águila-Carrasco, A. J., Esteve-Taboada, J. J., Papadatou, E., Ferrer-Blasco, T., & Montés-Micó, R. (2017). Amplitude, latency, and peak velocity in accommodation and disaccommodation dynamics. *BioMed Research International*, 2017.
- Dhallu, S. K., Sheppard, A. L., Drew, T., Mihashi, T., Zapata-Díaz, J. F., Radhakrishnan, H., Iskander, D. R., & Wolffsohn, J. S. (2019). Factors influencing pseudo-accommodation—the difference between subjectively reported range of clear focus and objectively measured accommodation range. *Vision (Switzerland)*, 3(3).

- Diao, K., Xu, J. J., Zheng, Z. L., Bao, J. H., & Chen, H. (2013). A comparative study on accommodative microfluctuation between emmetropic and myopic school-aged children. *Chinese Journal of Experimental Ophthalmology*, 31(6), 555–558.
- Dilans, G. (2009). Russian in Latvia: An outlook for bilingualism in a post-Soviet transitional society. *International Journal of Bilingual Education and Bilingualism*, 12(1), 1–13.
- Dorothy M. Win-Hall, J. H. and A. G. (2010). Static and dynamic accommodation measured. *Optometry and Vision Science*, 87(11), 873–882.
- Drobe, B., Lombo, I., & Marié, S. (2006). Working distance in non-presbyopes and progressive lens wearing presbyopes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 47(13), 5861–5861.
- Drobe B., Seow, E. J., & Tang, F. L. (2007). Clinical evaluation of working distance in Caucasian and Chinese adults: A comparison study in France and Singapore. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 48(13), 962–962.
- Du Toit, R. (2006). How to prescribe spectacles for presbyopia. *Community Eye Health Journal*, 19(57), 12–13.
- Duane, A. (1912). Normal values of the accommodation at all ages. *Journal of the American Medical Association*, 12(9), 1010–1013.
- Duane, A. (1922). Studies in monocular and binocular accommodation with their clinical applications. *American Journal of Ophthalmology*, 5(11), 865–877.
- Duarte, W. R., Barros, A. J. D., Dias-da-Costa, J. S., & Cattán, J. M. (2003). Prevalence of near vision deficiency and related factors: a population-based study. *Cadernos de Saude Publica*, 19(2), 551–559.
- Dubbelman, M., & Van Der Heijde, G. L. (2001). The shape of the aging human lens: Curvature, equivalent refractive index and the lens paradox. *Vision Research*, 41(14), 1867–1877.
- Dušek, J., & Dostálek, M. (2004). Image analysis of eccentric photorefracton. *Acta Polytechnica*, 44(2), 68–71.
- El-Sayyad, H. (2014). Biochemical and ultrastructural changes in lens during aging of wistar albino rats. *British Journal of Medicine and Medical Research*, 2(1), 105–121.
- Espinosa, J., Domenech, B., Vázquez, C., Pérez, J., & Mas, D. (2018). Blinking characterization from high speed video records. Application to biometric authentication. *PLOS ONE*, 13(5), e0196125.
- Esteve-Taboada, J. J., Del Águila-Carrasco, A. J., Bernal-Molina, P., López-Gil, N., Montés-Micó, R., Kruger, P., & Marín-Franch, I. (2017). Dynamic accommodation without feedback does not respond to isolated blur cues. *Vision Research*, 136, 50–56.
- Eupedia. (2014). *Number of phonemes (vowels, consonants) by language in Europe*. https://www.eupedia.com/linguistics/number_of_phonemes_in_european_languages.shtml
- Eurostat. (2018). *Population by age group*.
- Farahani, N., Braun, A., Jutt, D., Huffman, T., Reder, N., Liu, Z., Yagi, Y., & Pantanowitz, L. (2017). Three-dimensional imaging and scanning: Current and future applications for pathology. *Journal of Pathology Informatics*, 8(36).
- Fasih, U., Rais, M., Rahman, A., Shaikh, A., & Fahmi, M. S. (2014). Early presbyopia a psychosomatic disorder. *Pakistan Journal of Ophthalmology*, 30(3), 161–165.
- Feizabadi, M., Jafarzadehpur, E., & Akrami, M. (2018). Accommodation, convergence, and stereopsis in dyslexic schoolchildren. *Middle East African Journal of Ophthalmology*, 25(1), 14–18.
- Fincham, E. F., & Walton, J. (1957). The reciprocal actions of accommodation and

- convergence. *The Journal of Physiology*, 137(3), 488–508.
- Fogt, N., Toole, A. J., & Rogers, D. L. (2016). A review of proximal inputs to the near response. *Clinical and Experimental Optometry*, 99(1), 30–38.
- Fong, Y., Huang, Y., Gilbert, P. B., & Permar, S. R. (2017). Chngpt: Threshold regression model estimation and inference. *BMC Bioinformatics*, 18(1), 1–7.
- Fricke, T. R., Tahhan, N., Resnikoff, S., Papas, E., Burnett, A., Ho, S. M., Naduvilath, T., & Naidoo, K. S. (2018). Global prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia: Systematic review, meta-analysis, and modelling. *Ophthalmology*, 125(10), 1492–1499.
- Fujikado, T. (1997). Asthenopia from the viewpoint of visual information processing. Effect of watching 3D images. *Journal of the Eye (in Japanese)*, 14(9), 1295–1299.
- Gabriel, G. M., & Mutti, D. O. (2009). Evaluation of infant accommodation using retinoscopy and photoretinoscopy. *Optometry and Vision Science*, 86(3), 208–215.
- García-Muñoz, Á., Carbonell-Bonete, S., & Cacho-Martínez, P. (2014). Symptomatology associated with accommodative and binocular vision anomalies. In *Journal of Optometry* (Vol. 7, Issue 4, pp. 178–192). Spanish Council of Optometry.
- Gąsior, K. E. (2019). E-texts or p-texts? Evidence from reading comprehension tasks for Polish teenage learners of English. *Lublin Studies in Modern Languages and Literature*, 43(4), 146.
- Ghahghaei, S., Reed, O., Candy, T. R., & Chandna, A. (2019). Calibration of the PlusOptix PowerRef 3 with change in viewing distance, adult age and refractive error. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 39(4), 253–259.
- Gislén, A., Gustafsson, J., & Kröger, R. H. H. (2008). The accommodative pupil responses of children and young adults at low and intermediate levels of ambient illumination. *Vision Research*, 48(8), 989–993.
- Glasser, A. (2006). Accommodation: Mechanism and measurement. *Ophthalmology Clinics of North America*, 19(1), 1–12.
- Glasser, A. (2011). Accommodation. In P. L. Kaufman, A. Alm, L. A. Levin, S. F. E. Nilsson, J. Ver Hoeve, & S. Wu (Eds.), *Adler's Physiology of the eye* (11th ed., pp. 40–70). Saunders.
- Glasser, A., & C.W. Campbell, M. (1999). Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia. *Vision Research*, 39(11), 1991–2015.
- Goertz, A. D., Stewart, W. C., Burns, W. R., Stewart, J. A., & Nelson, L. A. (2014). Review of the impact of presbyopia on quality of life in the developing and developed world. *Acta Ophthalmologica*, 92(6), 497–500.
- Goss, D. A. (2012). Accommodative Response/Stimulus by Dynamic Retinoscopy: Near Add Guidelines. *Optometry and Vision Science*, 89(10), 1497–1506.
- Goss, D. A. (2016). Studies comparing tests for presbyopic add power : A literature review. *Optometry & Visual Performance Visual Performance*, 4(4), 139–145.
- Gould, J. D., & Grischkowsky, N. (1986). Does visual angle of a line of characters affect reading speed? *Human Factors*, 28(2), 165–173.
- Gould, John D., & Grischkowsky, N. (1984). Doing the same work with hard copy and with Cathode-Ray Tube (CRT) computer terminals. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 26(3), 323–337.
- Gray, L. S., Winn, B., & Gilmartin, B. (1993a). Effect of target luminance on microfluctuations of accommodation. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 13(3), 258–265.
- Gray, L. S., Winn, B., & Gilmartin, B. (1993b). Accommodative microfluctuations and pupil

- diameter. *Vision Research*, 33(15), 2083–2090.
- Guillon, M., Dumbleton, K., Theodoratos, P., Gobbe, M., Wooley, C. B., & Moody, K. (2016). The effects of age, refractive status, and luminance on pupil size. *Optometry and Vision Science*, 93(9), 1093–1100.
- Gustafsson, E., Thomée, S., Grimby-Ekman, A., & Hagberg, M. (2017). Texting on mobile phones and musculoskeletal disorders in young adults: A five-year cohort study. *Applied Ergonomics*, 58, 208–214.
- Gwiazda, J., Bauer, J., Thorn, F., & Held, R. (1995). Shifts in tonic accommodation after near work are related to refractive errors in children. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 15(2), 93–97. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7659414>
- Ham, W. T., Mueller, H. A., Ruffolo, J. J., & Clarke, A. M. (1979). Sensitivity of the retina to radiation damage as a function of wavelength. *Photochemistry and Photobiology*, 29(4), 735–743.
- Hanlon, S. D., Nakabayashi, J., & Shigezawa, G. (1987). A critical view of presbyopic add determination. *Journal of the American Optometric Association*, 58, 468–472.
- Harb, E., Thorn, F., & Troilo, D. (2006). Characteristics of accommodative behavior during sustained reading in emmetropes and myopes. *Vision Research*, 46(16), 2581–2592.
- Harmon, D. B. (1958). *Notes On A Dynamic Theory of Vision* (1st ed.). Optometric Extension Program Foundation.
- Haro, C., Poulain, I., & Drobe, B. (2000). Investigation of working distance in myopic and nonmyopic children. *Optometry and Vision Science*, 77, 189.
- Hartwig, A., Charman, W. N., & Radhakrishnan, H. (2011). Accommodative response to peripheral stimuli in myopes and emmetropes. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 31(1), 91–99.
- Hartwig, A., Gowen, E., Charman, W. N., & Radhakrishnan, H. (2011). Working distance and eye and head movements during near work in myopes and non-myopes. *Clinical and Experimental Optometry*, 94(6), 536–544.
- Hartwig, A., Gowen, E., Neil Charman, W., & Radhakrishnan, H. (2011). Analysis of head position used by myopes and emmetropes when performing a near-vision reading task. *Vision Research*, 51(14), 1712–1717.
- Hasbrouck, Jan; Tindal, A. G. (2006). Oral reading fluency norms: A valuable assessment tool for reading teachers. *Reading Teacher*, 59(7), 636–644.
- Hasebe, S., Nonaka, F., & Ohtsuki, H. (2005). Accuracy of accommodation in heterophoric patients: testing an interacontion model in a large clinical sample. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 25, 582–591.
- Heath, G. G. (1956). Components of accommodation. *Am J Optom Arch Am Acad Optom*, 33, 569–579.
- Heron, G., Charman, W. N., & Schor, C. (2001). Dynamics of the accommodation response to abrupt changes in target vergence as a function of age. *Vision Research*, 41(4), 507–519.
- Hickenbotham, A., Roorda, A., Steinmaus, C., & Glasser, A. (2012). Meta-analysis of sex differences in presbyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 53(6), 3215–3220.
- Hirsch, M. J., & Ditmas, D. L. (1947). Refraction of young myopes and their parents - a re-analysis. *Am J Optom*, 24, 601–608.
- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 33.

- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., & Banks, M. S. (2015). Vergence – accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(2008), 1–30.
- Hofstetter, H. W. (1947). Useful age-amplitude formula. *Optom World*, 38, 42–45.
- Hofstetter, H. W. (1949). A survey of practices in prescribing presbyopic adds. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 26(4), 144–160.
- Holden, B. A., Fricke, T. R., Ho, S. M., Wong, R., Schlenker, G., Cronjé, S., Burnett, A., Papas, E., Naidoo, K. S., & Frick, K. D. (2008). Global vision impairment due to uncorrected presbyopia. *Archives of Ophthalmology*, 126(12), 1731–1739.
- Horwood, A. M., & Riddell, P. M. (2008). The use of cues to convergence and accommodation in naïve, uninstructed participants. *Vision Research*, 48(15), 1613–1624.
- Horwood, A. M., & Riddell, P. M. (2012). Evidence that convergence rather than accommodation controls intermittent distance exotropia. *Acta Ophthalmologica*, 90(2).
- Howland, H. C. (2009). Photorefraction of eyes: History and future prospects. *Optometry and Vision Science*, 86(6), 603–606.
- Howland, H. C., Braddick, O., Atkinson, J., & Howland, B. (1983). Optics of photorefraction: orthogonal and isotropic methods. *Journal of the Optical Society of America*, 73(12), 1701.
- Huang, H. M., Chang, D. S. T., & Wu, P. C. (2015). The association between near work activities and myopia in children - A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 10(10).
- Huang, P. C., Hsiao, Y. C., Tsai, C. Y., Tsai, D. C., Chen, C. W., Hsu, C. C., Huang, S. C., Lin, M. H., & Liou, Y. M. (2019). Protective behaviours of near work and time outdoors in myopia prevalence and progression in myopic children: A 2-year prospective population study. *British Journal of Ophthalmology*, 0, 1–6.
- Hughes, A. (1967). AC/A ratio. *British Journal of Ophthalmology*, 51, 786–787.
- Hulvej, N., Id, R., Dissing, A. S., Clark, A., Gerds, T. A., & Lund, R. (2018). Overnight smartphone use: A new public health challenge? A novel study design based on high-resolution smartphone data. *PLoS ONE*, 13(10), e0204811.
- Hung, G K, Zhu, H., & Ciuffreda, K. J. (1997). Convergence and divergence exhibit different response characteristics to symmetric stimuli. *Vision Research*, 37(9), 1197–1205.
- Hung, George K., Ciuffreda, K. J., & Rosenfield, M. (1996). Proximal contribution to a linear static model of accommodation and vergence. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 16, 31–41.
- Hung, George K., & Semmlow, J. L. (1980). Static behavior of accommodation and vergence: Computer simulation of an interactive dual-feedback system. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 27(8), 439–447.
- Hunt, O. A., Wolffsohn, J. S., & Gilmartin, B. (2003). Evaluation of the measurement of refractive error by the PowerRefractor: A remote, continuous and binocular measurement system of oculomotor function. *British Journal of Ophthalmology*, 87(12), 1504–1508.
- Inagaki, Y. (1986). The rapid change of corneal curvature in the neonatal period and infancy. *Archives of Ophthalmology*, 104(7), 1026–1027.
- Inomata, T., Iwagami, M., Hiratsuka, Y., Fujimoto, K., Okumura, Y., Shiang, T., & Murakami, A. (2018). Maximum blink interval is associated with tear film breakup time: A new simple, screening test for dry eye disease. *Scientific Reports*, 8(1), 13443.
- Ip, J., Saw, S.-M., Rose, K. A., Morgan, I. G., Kifley, A., Wang, J. J., & Mitchell, P. (2008). Role of near work in myopia: Findings in a sample of Australian school children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 49(7), 2903.
- Iribarren, R., Fornaciari, A., & Hung, G. K. (2001). Effect of cumulative nearwork on

- accommodative facility and asthenopia. *International Ophthalmology*, 24(4), 205–212.
- Iwasaki, T., & Tawara, A. (2002). Effects of viewing distance on accommodative and pupillary responses following a three-dimensional task. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 22(2), 113–118.
- Jainta, S., Hoormann, J., & Jaschinski, W. (2008). Ocular accommodation and cognitive demand: An additional indicator besides pupil size and cardiovascular measures? *Journal of Negative Results in BioMedicine*, 7(1), 1–14.
- Jainta, S., Jaschinski, W., & Hoormann, J. (2004). Measurement of refractive error and accommodation with the photorefractor PowerRef II. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 24(6), 520–527.
- 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. *Clinical and Experimental Optometry*, 102(5), 463–477.
- Jeng, W.-D., Ouyang, Y., Huang, T.-W., Duann, J.-R., Chiou, J.-C., Tang, Y.-S., & Ou-Yang, M. (2014). Research of accommodative microfluctuations caused by visual fatigue based on liquid crystal and laser displays. *Applied Optics*, 53(29), H76.
- Johns, H. A., Manny, R. E., & Glasser, A. (2006). Dynamic measurements of accommodative lag and latency in children and adults. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 47(13), 5888.
- Jones, C. E., Atchison, D. A., & Pope, J. M. (2007). Changes in lens dimensions and refractive index with age and accommodation. *Optometry and Vision Science*, 84(10), 990–995.
- Kaakinen, K., & Tommila, V. (1979). A clinical study on the detection of strabismus, anisometropia or ametropia of children by simultaneous photography of the corneal and the fundus reflexes. *Acta Ophthalmologica*, 57(4), 600–611.
- Karako, K., Wu, Q., & Gao, J. (2014). Three-dimensional imaging technology offers promise in medicine. *Drug Discoveries & Therapeutics*, 8(2), 96–97.
- Kasthurirangan, S., & Glasser, A. (2005a). *Characteristics of pupil responses during far-to-near and near-to-far accommodation*. 328–339.
- Kasthurirangan, S., & Glasser, A. (2005b). Influence of amplitude and starting point on accommodative dynamics in humans. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 46(9), 3463–3472.
- Kasthurirangan, S., & Glasser, A. (2006). Age related changes in the characteristics of the near pupil response. *Vision Research*, 46(8–9), 1393–1403.
- Kaufman, P. L. (1994). Accommodation and presbyopia: Neuromuscular and biophysical aspects. In Hart W. M. (Ed.), *Adler's Physiology of the eye* (9th ed., pp. 391–411). CV Mosby.
- Kenney, E. L., & Gortmaker, S. L. (2017). United States adolescents' television, computer, videogame, smartphone, and tablet use: Associations with sugary drinks, sleep, physical activity, and obesity. *Journal of Pediatrics*, 182, 144–149.
- Khan, A., Pope, J. M., Verkicharla, P. K., Suheimat, M., & Atchison, D. A. (2018). Change in human lens dimensions, lens refractive index distribution and ciliary body ring diameter with accommodation. *Biomedical Optics Express*, 9(3), 281–289.
- Kim, H.-Y. (2015). Statistical notes for clinical researchers: Effect size. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 40(4), 328.
- Kim, S.-Y., Moon, B.-Y., & Cho, H. G. (2014). Individual difference in the decrease of visual acuity and the change in contrast threshold according to the level of optically induced retinal defocus. *Journal of Korean Ophthalmic Optics Society*, 19(1), 93–98.
- Kong, Y., Seo, Y. S., & Zhai, L. (2018). Comparison of reading performance on screen and on

- paper: A meta-analysis. *Computers and Education*, 123, 138–149.
- Köpper, M., Mayr, S., & Buchner, A. (2016). Reading from computer screen versus reading from paper: does it still make a difference? *Ergonomics*, 59(5), 615–632.
- Kruger, P. B., & Pola, J. (1986). Stimuli for accommodation: Blur, chromatic aberration and size. *Vision Research*, 26(6), 957–971.
- Kurniawan, S. H., & Zaphiris, P. (2001). Reading online or on paper: Which is faster? *Computer*, 43(August), 220–222.
- Labhishetty, V., Bobier, W. R., & Lakshminarayanan, V. (2019). Is 25 Hz enough to accurately measure a dynamic change in the ocular accommodation? *Journal of Optometry*, 12(1), 22–29.
- Lafuma, A., & Berdeaux, G. (2009). Modelling lifetime cost consequences of ReSTOR for presbyopia in four European countries. *Eye*, 23, 1072–1080.
- Lan, M., Rosenfield, M., & Liu, L. (2018). Cell phone viewing distance and age in a Chinese population. *Optometry & Visual Performance*, 6(5), 203–205.
- Lapierre, M. A., Zhao, P., & Custer, B. E. (2019). Short-term longitudinal relationships between smartphone use/dependency and psychological well-being among late adolescents. *Journal of Adolescent Health*, 65(5), 607–612.
- Lara, F., Cacho, P., García, Á., & Megías, R. (2001). General binocular disorders: prevalence in a clinic population. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 21(1), 70–74.
- Larsen, J. S. (1971). The sagittal growth of the eye: Ultrasonic measurement of the axial length of the eye from birth to puberty. *Acta Ophthalmologica*, 49(6), 873–886.
- Leahy, C., Leroux, C., Dainty, C., & Diaz-Santana, L. (2010). Temporal dynamics and statistical characteristics of the microfluctuations of accommodation: Dependence on the mean accommodative effort. *Optics Express*, 18(3), 2668–2681.
- León, A., Estrada, J. M., & Rosenfield, M. (2016). Age and the amplitude of accommodation measured using dynamic retinoscopy. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 36(1), 5–12.
- León, A., Rosenfield, M., Estrada, J. M., & Math, B. (2017). Lag of accommodation between 5 and 60 years of age. In *Optometry & Visual Performance* (Vol. 5).
- Lin, H., & Jiang, B. (2013). Accommodative responses under different stimulus conditions. *Optometry and Vision Science*, 90(12), 1406–1412.
- Liu, C., Drew, S. A., Borsting, E., Escobar, A., Stark, L., & Chase, C. (2016). Tonic accommodation predicts closed-loop accommodation responses. *Vision Research*, 129, 25–32.
- Liu, R., Patel, B. N., & Kwon, M. (2017). Age-related changes in crowding and reading speed. *Scientific Reports*, 7(1), 8271.
- Liu, Y., Liu, H., & Hau, K. tai. (2016). Reading ability development from kindergarten to junior secondary: Latent transition analyses with growth mixture modeling. *Frontiers in Psychology*, 7, 1659.
- Lockhart, T. E., & Shi, W. (2010). Effects of age on dynamic accommodation. *Ergonomics*, 53(7), 892–903.
- Lowenstein, O., Feinberg, R., & Loewenfeld, I. (1963). Pupillary movements during acute and chronic fatigue. In *Investigative Ophthalmology & Visual Science* (Vol. 2, pp. 138–157).
- Luo, B. P., Brown, G. C., Luo, S. C., & Brown, M. M. (2008). The quality of life associated with presbyopia. *American Journal of Ophthalmology*, 145(4), 618–622.
- Lupón, N., Gispets, J., Cardona, G., Tàpia, A., & Abril, H. (2019). Role of microfluctuations in accommodation: a novel approach to reduce non-accommodative noise. *International Journal of Ophthalmology*, 12(4), 681–684.
- MacKenzie, K. J., Hoffman, D. M., & Watt, S. J. (2010). Accommodation to multiple-focal-

- plane displays: Implications for improving stereoscopic displays and for accommodation control. *Journal of Vision*, 10(8), 22–22.
- Maeda, F., Tabuchi, A., & Kani, K. (2011). Influence of three-dimensional image viewing on visual function. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 5(3), 175–182.
- Mak, M., & Willems, R. M. (2019). Mental simulation during literary reading: Individual differences revealed with eye-tracking. *Language, Cognition and Neuroscience*, 34(4), 511–535.
- Mandelman, T., & Sivak, J. G. (1983). Longitudinal chromatic aberration of the vertebrate eye. *Vision Research*, 23(12), 1555–1559.
- Mangen, A., Olivier, G., & Velay, J.-L. (2019). Comparing comprehension of a long text read in print book and on Kindle: Where in the text and when in the story? *Frontiers in Psychology*, 10(FEB), 38.
- Margolin, S. J., Driscoll, C., Toland, M. J., & Kegler, J. L. (2013). E-readers, computer screens, or paper: Does reading comprehension change across media platforms? *Applied Cognitive Psychology*, 27(4), 512–519.
- Marran, L. F., De Land, P. N., & Nguyen, A. L. (2006). Accommodative insufficiency is the primary source of symptoms in children diagnosed with convergence insufficiency. *Optometry and Vision Science*, 83(5), 281–289.
- 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).
- Mathur, A., Gehrmann, J., & Atchison, D. A. (2014). Influences of luminance and accommodation stimuli on pupil size and pupil center location. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 55(4), 2166–2172.
- Mazow, M. L., France, T. D., Finkleman, S., Frank, J., & Jenkins, P. (1989). Acute accommodative and convergence insufficiency. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 87, 158–168; discussion 168-73.
- McClelland, J. F., & Saunders, K. J. (2004). Accommodative lag using dynamic retinoscopy: age norms for school-age children. *Optometry and Vision Science : Official Publication of the American Academy of Optometry*, 81(12), 929–933.
- McDougal, D. H., & Gamlin, P. D. (2015). Autonomic control of the eye. *Compr Physiol*, 5(1), 439–473.
- Millodot, M. (2015). The effect of refractive error on the accommodative response gradient: A summary and update. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 35(6), 607–612.
- Ming-Leung Ma, M., Chwee Hong Yeo, A., Scheiman, M., & Chen, X. (2019). Vergence and Accommodative Dysfunctions in Emmetropic and Myopic Chinese Young Adults. *Journal of Ophthalmology*.
- Mira-Agudelo, A., Lundströ, L., & Artal, P. (2009). Temporal dynamics of ocular aberrations: monocular vs binocular vision. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 29(3), 256–263.
- Miranda, A. M., Nunes-Pereira, E. J., Baskaran, K., & Macedo, A. F. (2018). Eye movements, convergence distance and pupil-size when reading from smartphone, computer, print and tablet. *Sjovs*, 11(1), 1.
- Miranda, M. N. (1979). The geographic factor in the onset of presbyopia. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 77, 603–621.
- Moffat, B. A., Atchison, D. A., & Pope, J. M. (2002). Explanation of the lens paradox. *Optometry and Vision Science*, 79(3), 148–150.
- Momeni-Moghaddam, H., Goss, D. A., & Sobhani, M. (2014). Accommodative response under monocular and binocular conditions as a function of phoria in symptomatic and

- asymptomatic subjects. *Clinical and Experimental Optometry*, 97(1), 36–42.
- Monticone, P. P., & Menozzi, M. (2011). A review on methods used to record and analyze microfluctuations of the accommodation in the human eye. *Journal of the European Optical Society*, 6(April 2010).
- Mordi, J. A., & Ciuffreda, K. J. (1998). Static aspects of accommodation: Age and presbyopia. *Vision Research*, 38(11), 1643–1653.
- Mordi, John A., & Ciuffreda, K. J. (2004). Dynamic aspects of accommodation: Age and presbyopia. *Vision Research*, 44(6), 591–601.
- Moulakaki, A. I., Recchioni, A., Águila-Carrasco, A. J. Del, Esteve-Taboada, J. J., & Montés-Micó, R. (2017). Assessing the accommodation response after near visual tasks using different handheld electronic devices. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 80(1), 9–13.
- Mutti, D. O., Zadnik, K., Fusaro, R. E., Friedman, N. E., Sholtz, R. I., & Adams, A. J. (1998). Optical and structural development of the crystalline lens in childhood. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 39(1), 120–133.
- Noorden, G. K., & Campos, Emilio, C. (2001). The near vision complex. In *Binocular Vision and Ocular Motility Theory and Management of Strabismus* (6th ed., pp. 85–101). Mosby.
- Nyquist, H. (1928). Certain topics in telegraph transmission theory. *Trans. AIEE*, 47, 617–644.
- Ohtsuka, K., Maeda, S., & Oguri, N. (2002). Accommodation and convergence palsy caused by lesions in the bilateral rostral superior colliculus. *American Journal of Ophthalmology*, 133(3), 425–427.
- Ong, E., & Ciuffreda, K. J. (1995). Nearwork-induced transient myopia: A critical review. *Documenta Ophthalmologica*, 91(1), 57–85.
- Osmanis, K., Valters, G., Zabels, R., Gertners, U., Osmanis, I., Kalnins, L., Kandere, U., & Ozols, A. (2018). Advanced multiplanar volumetric 3D display. *Proc. SPIE 10555: Emerging Liquid Crystal Technologies XIII*, 1055510, 36.
- Ostrin, L. A., & Glasser, A. (2004). Accommodation measurements in a prepresbyopic and presbyopic population. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 30(7), 1435–1444.
- Owens, D. A., & Wolf-Kelly, K. (1987). Near work, visual fatigue, and variations of oculomotor tonus. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 28(4), 743–749.
- Palin, K., Feit, M. A., Kim, S., Ola Kristensson, P., & Oulasvirta, A. (2019). How do people type on mobile devices? Observations from a study with 37,000 volunteers. *Proceedings of ACM MobileHCI Conference (MOBILEHCI'19)*, 12.
- Panke, K., Svede, A., Jaschinski, W., & Krumina, G. (2017). Usage of CISS and Conlon surveys in eye accommodation studies. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 10453.
- Paquette, C., & Fung, J. (2011). Old age affects gaze and postural coordination. *Gait and Posture*, 33(2), 227–232.
- Park, M., Ahn, Y. J., Kim, S. J., You, J., Park, K. E., & Kim, S. R. (2014). Changes in accommodative function of young adults in their twenties following smartphone use. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*, 19(2), 253–260.
- Penisten, D. K., Goss, D. A., Philpott, G., Pham, A., & West, R. W. (2004). Comparisons of dynamic retinoscopy measurements with a print card, a video display terminal, and a PRIO System Tester as test targets. *Optometry (St. Louis, Mo.)*, 75(4), 231–240.
- Plainis, B. S., D, P., & Charman, W. N. (2014). The physiologic mechanism of accommodation. *Cataract & Refractive Surgery Today*, April, 23–29.
- Pointer, J. S. (1995). The presbyopic add. II. Age-related trend and a gender difference. In *Ophthalmic and Physiological Optics* (Vol. 15, Issue 4, pp. 241–248).
- Priyambada, S. (2019). Premature presbyopia and its risk factors - A hospital based study.

- International Journal of Contemporary Medical Research*, 6(3), 1–4.
- Radhakrishnan, H., Allen, P. M., & Charman, W. N. (2007). Dynamics of accommodative facility in myopes. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 48(9), 4375–4382.
- Radner, W. (2016). Near vision examination in presbyopia patients: Do we need good homologated near vision charts? *Eye and Vision*, 3(1), 29.
- Roberts, T. L., Stevenson, S. B., Benoit, J. S., Manny, R. E., & Anderson, H. A. (2018). Blur detection, depth of field, and accommodation in emmetropic and hyperopic children. *Optometry and Vision Science*, 95(3), 212–222.
- Rodrigues, É., Carreira, M., & Gonçalves, D. (2016). Enhancing typing performance of older adults on tablets. *Universal Access in the Information Society*, 15(3), 393–418.
- Roorda, A., Bobier, W. R., & Campbell, M. C. W. (1998). An infrared eccentric photometer. *Vision Research*, 38(13), 1913–1924.
- Roorda, A., Campbell, M. C. W., & Bobier, W. R. (1997). Slope-based eccentric photorefraction: theoretical analysis of different light source configurations and effects of ocular aberrations. *Journal of the Optical Society of America A*, 14(10), 2547.
- Rosenfield, M., Ciuffreda, K. J., & Hung, G. K. (1991). The linearity of proximally induced accommodation and vergence. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 32, 2985–2991.
- Rosenfield, M., Ciuffreda, K. J., & Rosen, J. (1992). Accommodative response during distance optometric test procedures. *Journal of the American Optometric Association*, 63(9), 614–618. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1430751>
- Rosenfield, Mark., Logan, N., & Edwards, K. (Keith H. . (2009). Objective refraction. In *Optometry : science techniques and clinical management* (2nd ed., p. 555). Butterworth Heinemann Elsevier.
- Rosenfield, Mark, Ciuffreda, K. J., Hung, G. K., & Gilmartin, B. (1993). Tonic accommodation: a review I. Basic aspects. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 13, 266–284.
- Rouse, M. W., Hutter, R. F., & Shiftlett, R. (1984). A normative study of the accommodative lag in elementary school children. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 61(11), 693–697.
- Salmi, L. (2010). ‘Translations around us’ – the amount of translated text in everyday life. *Electronic Proceedings of the KäTu Symposium on Translation and Interpreting Studies*, 1–15.
- Schaeffel, F., Wilhelm, H., & Eberhart Zrenner. (1993). Inter-individual variability in the dynamics of natural accommodation in humans: relation to age and refractive errors. *Journal of Physiology*, 32(461), 301–320.
- Scheiman, M., & Wick, B. (2019). *Clinical management of binocular vision : Heterophoric, accommodative, and eye movement disorders* (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins (LWW).
- Schnider, C. M., Ciuffreda, K. J., Cooper, J., & Kruger, P. B. (1984). Accommodation dynamics in divergence excess exotropia. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 25(4), 414–418.
- Seassau, M., & Bucci, M. P. (2013). Reading and visual search: A developmental study in normal children. *PLoS ONE*, 8(7), e70261.
- Seidel, D., Gray, L. S., & Heron, G. (2003). Retinotopic accommodation responses in myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 44(3), 1035–1041.
- Seidel, D., Gray, L. S., & Heron, G. (2005). The effect of monocular and binocular viewing on the accommodation response to real targets in emmetropia and myopia. *Optometry and*

- Vision Science*, 82(4), 279–285.
- Seidemann, A., & Schaeffel, F. (2002). Effects of longitudinal chromatic aberration on accommodation and emmetropization. *Vision Research*, 42(21), 2409–2417.
- Seidemann, A., & Schaeffel, F. (2003). An evaluation of the lag of accommodation using photorefractive. *Vision Research*, 43(4), 419–430.
- Shibata, T., Kim, J., Hoffman, D. M., & Banks, M. S. (2011). Visual discomfort with stereo displays: Effects of viewing distance and direction of vergence-accommodation conflict. *Proceedings of SPIE*, 7863, 78630P1--78630P9.
- Simmons, J. M., & Firth, A. Y. (2014). Convergence accommodation to convergence CA/C ratio: Convergence versus divergence. *Strabismus*, 22(3), 120–124.
- Simpson, T. L., Barbeito, R., & Bedell, H. E. (1986). The effect of optical blur on visual acuity for targets of different luminances. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 6(3), 279–281.
- Smith, G. T. H., Smith, R. C., Brown, N. A. P., Bron, A. J., & Harris, M. L. (1992). Changes in light scatter and width measurements from the human lens cortex with age. *Eye*, 6(1), 55–59.
- Sravani, N. G., Nilagiri, V. K., & Bharadwaj, S. R. (2015). Photorefractive estimates of refractive power varies with the ethnic origin of human eyes. *Scientific Reports*, 5, 1–8.
- Sreenivasan, V., Irving, E. L., & Bobier, W. R. (2012). Effect of heterophoria type and myopia on accommodative and vergence responses during sustained near activity in children. *Vision Research*, 57, 9–17.
- Steck, R. P., Kong, M., McCray, K., Quan, V., & Gunvant Davey, P. (2018). Physiologic anisocoria under various lighting conditions. *Clinical Ophthalmology*, 12, 85–89.
- Suryakumar, R., Kwok, D., Fernandez, S., & Bobier, W. R. (2009). Dynamic photorefractive system: An offline application for the dynamic analysis of ocular focus and pupil size from photorefractive images. *Computers in Biology and Medicine*, 39(3), 195–205.
- Suryakumar, R., Meyers, J. P., Irving, E. L., & Bobier, W. R. (2007a). Application of video-based technology for the simultaneous measurement of accommodation and vergence. *Vision Research*, 47(2), 260–268.
- Suryakumar, R., Meyers, J. P., Irving, E. L., & Bobier, W. R. (2007b). Vergence accommodation and monocular closed loop blur accommodation have similar dynamic characteristics. *Vision Research*, 47(3), 327–337.
- Sweeney, L. E., Seidel, D., Day, M., & Gray, L. S. (2014). Quantifying interactions between accommodation and vergence in a binocularly normal population. *Vision Research*, 105, 121–129.
- Tang, Y., & Zhou, Y. (2009). Age-related decline of contrast sensitivity for second-order stimuli: Earlier onset, but slower progression, than for first-order stimuli. *Journal of Vision*, 9(7), 18–18.
- Tassinari, J. T. (2002). Monocular estimate method retinoscopy: central tendency measures and relationship to refractive status and heterophoria. *Optometry and Vision Science*, 79(11), 708–714.
- Theophanous, C., Modjtahedi, B. S., Batech, M., Marlin, D. S., Luong, T. Q., & Fong, D. S. (2018). Myopia prevalence and risk factors in children. *Clinical Ophthalmology*, 12, 1581–1587.
- Thiagarajan, P., & Ciuffreda, K. J. (2013). Visual fatigue and accommodative dynamics in asymptomatic individuals. *Optometry and Vision Science*, 90(1), 57–65.
- Thorn, F., & Thorn, S. (1996). Television captions for hearing-impaired people: a study of key factors that affect reading performance. *Human Factors*, 38(3), 463.
- Toor, S., Horwood, A. M., & Riddell, P. (2018). Asymmetrical accommodation in hyperopic

- anisometric amblyopia. *British Journal of Ophthalmology*, 102(6), 772–778.
- Tosha, C., Borsting, E., Ridder, W. H., & Chase, C. (2009). Accommodation response and visual discomfort. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 29(6), 625–633.
- Trainin, G., Hiebert, E. H., & Wilson, K. M. (2015). A comparison of reading rates, comprehension, and stamina in oral and silent reading of fourth-grade students. *Reading Psychology*, 36(7), 595–626.
- Uchino, M., Kawashima, M., Uchino, Y., Tsubota, K., & Yokoi, N. (2018). Association between tear film break up time and blink interval in visual display terminal users. *International Journal of Ophthalmology*, 11(10), 1691–1697.
- Usui, S., & Stark, L. (1978). Sensory and motor mechanisms interact to control amplitude of pupil noise. *Vision Research*, 18(4), 505–507.
- Van Den Berg, T. J. T. P., Van Rijn, L. J. (René), Michael, R., Heine, C., Coeckelbergh, T., Nischler, C., Wilhelm, H., Grabner, G., Emesz, M., Barraquer, R. I., Coppens, J. E., & Franssen, L. (2007). Straylight effects with aging and lens extraction. *American Journal of Ophthalmology*, 144(3), 358–363.
- Vargas, V., Radner, W., Allan, B. D., Reinstein, D. Z., Burkhard Dick, H., & Alió, J. L. (2019). Methods for the study of near, intermediate vision, and accommodation: an overview of subjective and objective approaches. *Survey of Ophthalmology*, 64(1), 90–100.
- Vasudevan, B., Bradley, A., Thibos, L. N., Martin, J., Nam, J., & Himebaugh, N. L. (2010). Impact of positive and negative defocus on visual acuity. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51(13), 3955.
- Voke, J. (1999). Radiation effects on the eye Part I- Infrared radiation effects on ocular tissue. *Optometry Today*, 22–28.
- Wajuihian, S. O. (2019). Normative values for clinical measures used to classify accommodative and vergence anomalies in a sample of high school children in South Africa. *Journal of Optometry*, 12(3), 143–160.
- Wang, B., & Ciuffreda, K. J. (2006). Depth of focus of the human eye: Theory and clinical implications. *Survey of Ophthalmology*, 51(1), 75–85.
- Wang, J., & Rowan Candy, T. (2010). The sensitivity of the 2 to 4 month old human infant accommodation system. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 51(6), 3309–3317.
- Wang, Yanfang, Toor, S. S., Gautam, R., & Henson, D. B. (2011). Blink frequency and duration during perimetry and their relationship to test–retest threshold variability. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(7), 4546.
- Wang, Yuwen, Bao, J., Ou, L., Thorn, F., & Lu, F. (2013). Reading behavior of emmetropic schoolchildren in China. *Vision Research*, 86, 43–51.
- Wee, S. H., Yu, D. S., Moon, B. Y., & Cho, H. G. (2010). Comparison of presbyopic additions determined by the fused cross-cylinder method using alternative target background colours. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 30(6), 758–765.
- Weeber, H. A., Eckert, G., Pechhold, W., & van der Heijde, R. G. L. (2007). Stiffness gradient in the crystalline lens. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 245(9), 1357–1366.
- Werner, D. L., & Press, J. L. (2002). *Clinical pearls in refractive care*. Butterworth-Heinemann.
- Wesner, M. F., & Miller, R. J. (1986). Instrument myopia conceptions, misconceptions, and influencing factors. *Documenta Ophthalmologica*, 62(3), 281–308.
- Wilkinson, R. T., & Robinschaw, H. M. (1987). Proof-reading: VDU and paper text compared for speed, accuracy and fatigue. *Behaviour & Information Technology*, 6(2), 125–133.

- Win-Hall, D. M., & Glasser, A. (2008). Objective accommodation measurements in prepresbyopic eyes using an autorefractor and an aberrometer. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 34(5), 774–784.
- Win-Hall, D. M., Ostrin, L. A., Kasthurirangan, S., & Glasser, A. (2007). Objective accommodation measurement with the Grand Seiko and Hartinger coincidence refractometer. *Optometry and Vision Science*, 84(9), 879–887.
- Winn, B., Whitaker, D., Elliott, D. B., & Phillips, N. J. (1994). Factors affecting light-adapted pupil size in normal human subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 35(3), 1132–1137.
- Wood, I. C., Mutti, D. O., & Zadnik, K. (1996). Crystalline lens parameters in infancy. *Ophthalmic Physiol Opt*, 16(4), 310–317. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8796200>
- Wurmser, Y. (2019, May). *US Time Spent with Mobile 2019*. EMarketer - Reports, Statistics & Marketing Trends. <https://www.emarketer.com/content/us-time-spent-with-mobile-2019>
- Yang, S., Jang, M., Sheedy, J., & Seo, Y. (2019). Effects of light illumination on ocular responses and visual comfort. *VPI Research (Technical Report)*, 7, 1–37.
- Yano, S., Ide, S., Mitsuhashi, T., & Thwaites, H. (2002). A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images. *Displays*, 23(4), 191–201.
- Yazdani, N., Khorasani, A. A., Moghadam, H. M., Yekta, A. A., Ostadimoghaddam, H., & Shandiz, H. J. (2016). Evaluating three different methods of determining addition in presbyopia. *Journal of Ophthalmic and Vision Research*, 11(3), 277–281.
- Yekta, A. A., Hashemi, H., Ostadimoghaddam, H., Jafarzadehpur, E., Salehabadi, S., Sardari, S., Norouzirad, R., & Khabazkhoob, M. (2013). Amplitude of accommodation and add power in an adult population of Tehran, Iran. *Iranian Journal of Ophthalmology*, 25(3), 182–189.
- Yeo, A. C. H., Kang, K. K., & Tang, W. (2006). Accommodative stimulus response curve of emmetropes and myopes. *Annals of the Academy of Medicine Singapore*, 35(12), 868–874.
- Yum, H. R., Park, S. H., Kang, H. B., & Shin, S. Y. (2014). Changes in ocular factors according to depth variation and viewer age after watching a three-dimensional display. *British Journal of Ophthalmology*, 98(5), 684–690.
- Zabels, R., Osmanis, K., Narels, M., Gertners, U., Ozols, A., Rūtenbergs, K., & Osmanis, I. (2019). AR displays: Next-generation technologies to solve the vergence–accommodation conflict. *Applied Sciences*, 9(3147), 1–17.
- Zeri, F., Naroo, S. A., Zoccolotti, P., & De Luca, M. (2018). Pattern of reading eye movements during monovision contact lens wear in presbyopes. *Scientific Reports*, 8(1), 1–9.

AUTORES PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

Disertācijā izmantotās publikācijas:

1. **Panke, K.**, Pladere, T., Velina, M., Svede, A., Krumina, G. (2019) "Objective User Visual Experience Evaluation When Working with Virtual Pixel-Based 3D System and Real Voxel-Based 3D System" *Photonics*, 6 (106), pp.1-13, DOI:10.3390/photonics6040106
2. **Panke, K.**, Kassaliete, E., Ikaunieks, G., Svede, A., Krumina, G. (2019) "Limitation of tables indication the relation between age and reading addition for presbyopia correction" *Proc. SPIE* 11207, paper 112070Y, pp.1-6. DOI:10.1117/12.2527291
3. **Panke, K.**, Jakobsons, L., Svede, A., Krumina, G. (2019) "Smartphone viewing distance during active or passive tasks and relation to heterophoria" *Proc. SPIE*, paper 1120714, pp.1-6. DOI:10.1117/12.2527313
4. **Panke, K.**, Pladere, T., Vēliņa, M., Švede, A., Ikaunieks, G., Krūmiņa, G. (2019) "Ocular performance evaluation - how prolonged near work with virtual and real 3D image modifies our visual system", *ACM International Conference Proceedings: Application of Intelligent Systems 2019*, paper 14: pp.1-5, DOI:10.1145/3309772.3309786
5. **Panke, K.**, Švede, A., Krūmiņa, G. (2019) "Akomodācijas un vergēnces sistēmas balansa diagnostika: akomodācijas mērījumu iespējas un pielietojums redzes ergonomikas pētījumos" Rakstu krājums: Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2019. gadā, 133-144 lpp. ISBN 978-9934-19-775-8

Citas publikācijas:

6. Pladere, T., Delesa-Velina, M., V., Konosonoka, V., **Panke, K.**, Krumina, G. (2020) "Assessment of spatial perception for a multi-layer volumetric display: the effect of exocentric and egocentric distance on relative depth judgements" *Proc. SPIE* 11304, paper 113041F, pp. 1-8. DOI: 10.1117/12.2560251
7. Pladere, T., Delesa-Velina, M., V., Konosonoka, V., **Panke, K.**, Krumina, G. (2020) "Assessment of spatial perception for a multi-layer volumetric display: the effect of exocentric and egocentric distance on relative depth judgements" *Proc. SPIE* 11304, paper 113041F, pp. 1-8. DOI: 10.1117/12.2560251
8. Pladere, T., Delesa-Velina, M., Andriksone, V., Pitura, R., **Panke, K.**, Krumina, G. (2019) "Visual Search Performance and Strategy for Three-Dimensional Visualization System: Impact of Radiologist Experience" *Applied Sciences* 9 (4929), pp.1-17 DOI:10.3390/app9224929
9. Pladere, T., Andriksone, V., Pitura, R., Velina, M., **Panke, K.**, Krumina, G. (2019) "Visual search in three-dimensional non-medical images: visual-motor performance of radiologists" *Proc. SPIE* 11207, paper 1120708. DOI:10.1117/12.2526385

10. Pladere, T., Velina, M., Konošonoka, V., Klava, K., Selezņova, M., **Panke, K.**, Krumina, G. (2019) “Visual Search Performance Depending on Target-Distractor Difference on Volumetric Display and Flat Panel Display” *Frontiers in Optics + Laser Science APS/DLS*, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2019), paper JTU4A.96., DOI:10.1364/FIO.2019.JTU4A.96
11. Pladere, T., Vēliņa, M., **Panke, K.**, Krūmiņa, G. (2019) “Redzes ergonomika un redzes uztvere” Rakstu krājums: Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2019. gadā, 4-22 lpp. ISBN 978-9934-19-775-8
12. Jankovska, G., Pladere, T., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Krūmiņa, G. (2019) “Dziļuma uztvere atkarībā no stimula atrašanās vietas uz volumetriskā ekrāna” Rakstu krājums: Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2019. gadā, 29-34 lpp. ISBN 978-9934-19-775-8
13. Andriksone, V., Pladere, T., Pitura, R., **Panke, K.**, Krūmiņa, G. (2019) “Vizuālās meklēšanas novērtējums radiologiem darbā ar volumetrisko ekrānu” Rakstu krājums: Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2019. gadā, 23-28 lpp. ISBN 978-9934-19-775-8
14. **Panke, K.**, Štokmane, V., Pladere, T., Švede, A., Krūmiņa, G. (2018) “Focusing in depth: Post-task accommodation shifts after sustained near work with volumetric multi-planar display” *Imaging and Applied Optics 2018*, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2018), paper 3Tu5G.3., DOI:10.1364/3D.2018.3Tu5G.3
15. Pladere, T., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Krūmiņa, G. (2018) “Looking in depth: Visual distance perception of stimuli on volumetric multi-planar display” *Imaging and Applied Optics 2018*, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2018), paper 3Tu5G.4., DOI:10.1364/3D.2018.3Tu5G.4
16. Pladere, T., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Krūmiņa, G. (2018) “Visual search efficiency depending on spatial layout of stimuli in volumetric image” *Proc. SPIE 10711*, Biomedical Imaging and Sensing Conference, 1071121, paper 1071121, DOI:10.1117/12.2318677
17. Pladere, T., Kļava, K., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Selezņova, M., Krūmiņa, G. (2018) “Capabilities and limitations of visual search in volumetric images: the effect of target discriminability” *Proc. SPIE 10752*, paper 1075235-4, DOI:10.1117/12.2502369
18. **Panke, K.**, Švede, A., Jaschinski, W., Krūmiņa, G. (2017) “Usage of CISS and Conlon surveys in eye accommodation studies” *Proc. SPIE 10453*, paper 104533A, DOI:10.1117/12.2276618
19. Ikaunieks, G., **Panke, K.**, Segliņa, M., Švede, A., Krūmiņa, G. (2017) “Accommodative Amplitude in School-Age Children” *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences*, Vol. 71(5), pp. 387-391, DOI:10.1515/prolas-2017-0065
20. Ikaunieks, G., Petrova, A., **Panke, K.**, Krūmiņa, G. (2017). “Visual acuity in myopes with standard and reversed contrast optotypes”, *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences*, Vol. 71 (706/707), pp.22-26, DOI:10.1515/prolas-2017-0004
21. **Panke, K.**, Švede, A., Jaschinski, W., Krūmiņa, G. (2016). “Relationship between heterophoria and accommodative lag at distances closer than 40 cm”, *Perception*, 45(6), p.704, DOI:10.1177/0301006616632431
22. Ikaunieks, G., Kapteine, L., Segliņa, M., **Panke, K.**, & Krūmiņa, G. (2015). “Changes in amplitude of accommodation for school-age children during the day”, *Perception*, 44(1), p.335, DOI:10.1177/0301006615598674

DALĪBA KONFERENCĒS

Starptautiskās konferences

1. SPIE OPTO (San Francisko, ASV, 2020. gada 1.-6. februāris) “Assessment of spatial perception for a multi-layer volumetric display: the effect of exocentric and egocentric distance on relative depth judgements” Pladere, T., Delesa-Velina, M., V., Konosonoka, V., **Panke, K.**, Krumina, G. – mutisks referāts
2. OSA Frontiers in Optics + Laser Science (Vašingtona, ASV, 2019. gada 15.-19. septembris) “Visual Search Performance Depending on Target-Distractor Difference on Volumetric Display and Flat Panel Display” Pladere, T., Velina, M., Konosonoka, V., Klava, K., Seleznova, M., **Panke, K.**, Krumina, G. – stenda referāts
3. Optics + Photonics 2019: Optical Engineering + Applications (San Diego, ASV, 2019. gada 11.-15. augusts) “Impact of viewing distance on relative depth judgements for stimuli in physical space” Pladere, T., Jankovska, G., **Panke, K.**, Krumina, G.
4. IV International Conference on Applications of Optics and Photonics (Portugāle, Lisabona, 2019. gada 31.maijs - 4. jūnijs), “Limitation of tables indication the relation between age and reading addition for presbyopia correction” **Panke, K.**, Kassaliete, E., Ikaunieks, G., Svede, A., Krumina, G., p.52. – mutisks referāts
5. IV International Conference on Applications of Optics and Photonics (Portugāle, Lisabona, 2019. gada 31.maijs - 4. jūnijs), “Smartphone viewing distance during active or passive tasks and relation to heterophoria” **Panke, K.**, Jakobsone, L., Svede, A., Krumina, G. - mutisks referāts, p.57. – mutisks referāts
6. IV International Conference on Applications of Optics and Photonics (Portugāle, Lisabona, 2019. gada 31.maijs - 4. jūnijs), “Visual search in three-dimensional non-medical images: visual-motor performance of radiologists” Pladere, T., Andriksone, V., Pitura, R., Velina, M., **Panke, K.**, Krumina, G., p.31. – stenda referāts
7. The 15th International Young Scientist Conference “Developments in Optics and Communications 2019” (Latvija, Rīga, 2019.gada 11.-12.aprīlis) “Fixation disparity and accommodation response in various contrast conditions” Vinogradova, P., Berklava, L., **Panke, K.**, Ikaunieks, G., Karitāns, V., Svede, A., Krumina, G., p.29. – mutisks referāts
8. The 15th International Young Scientist Conference “Developments in Optics and Communications 2019” (Latvija, Rīga, 2019.gada 11.-12.aprīlis), “Relative depth estimation depending on spatial layout of stimuli on a volumetric display” Jankovska, G., Pladere, T., **Panke, K.**, Krūmiņa, G., p.25. – stenda referāts
9. The 15th International Young Scientist Conference “Developments in Optics and Communications 2019” (Latvija, Rīga, 2019.gada 11.-12.aprīlis), “Interactive three-dimensional visual search by radiologists and residents” Andriksone, V., Pladere, T., **Panke, K.**, Krūmiņa, G., p.33. – stenda referāts
10. The 15th International Young Scientist Conference “Developments in Optics and Communications 2019” (Latvija, Rīga, 2019.gada 11.-12.aprīlis), “Visual stimuli eccentricity affects depth perception for a volumetric display” Konosonoka, V., Pladere, T., **Panke, K.**, Krūmiņa, G., p.35. – stenda referāts
11. Applications of Intelligent Systems 2019 (Spānija, Gran Canaria, 2019.gada 7.-12. janvāris), “Ocular performance evaluation - how prolonged near work with virtual and real 3D image modifies our visual system” **Panke, K.**, Pladere, T., Vēliņa, M., Švede, A., Ikaunieks, G., Krūmiņa, G. – mutisks referāts

12. 10th Conference of the Lithuanian Neuroscience Association and 2nd International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception (Viļņa, Lietuva, 2018.gada 30. novembris -1. decembris) "Changes in eye accommodation and pupil size after prolonged near work with volumetric 3D image compared to anaglyph 3D image" **Panke, K.**, Pladere, T., Vēliņa, M., Švede, A., Krūmiņa, G., p.24 – mutisks referāts
13. 10th Conference of the Lithuanian Neuroscience Association and 2nd International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception (Viļņa, Lietuva, 2018.gada 30. novembris-1. decembris) "Age-related differences in visual search performance through volumetric images" Pladere, T., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Krūmiņa, G., p.66 – mutisks referāts
14. 10th Conference of the Lithuanian Neuroscience Association and 2nd International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception (Viļņa, Lietuva, 2018.gada 30. novembris-1. decembris) "Accommodative response in various contrast conditions" Berklava, L., Vinogradova, P., **Panke, K.**, Ikaunieks, G., Karitāns, V., Švede, A., Krūmiņa, G., p.66 – stenda referāts
15. 10th Conference of the Lithuanian Neuroscience Association and 2nd International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception (Viļņa, Lietuva, 2018.gada 30. novembris-1. decembris) "Age-related differences in visual search performance through volumetric images" Pladere, T., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Krūmiņa, G., p.32 – stenda referāts
16. 10th Conference of the Lithuanian Neuroscience Association and 2nd International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception (Viļņa, Lietuva, 2018.gada 30. novembris-1. decembris) "Effect of disparity and viewing distance on depth perception for a volumetric display" Jankovska, G., Pladere, T., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Krūmiņa, G., p.44 – stenda referāts
17. 10th Conference of the Lithuanian Neuroscience Association and 2nd International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception (Viļņa, Lietuva, 2018.gada 30. novembris-1. decembris) "Visual search performance depending on a type of display" Konošonoka, V., Pladere, T., Selezņova, M., Kļava, K., **Panke, K.**, Krūmiņa, G., p.49 – stenda referāts
18. 10th Conference of the Lithuanian Neuroscience Association and 2nd International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception (Viļņa, Lietuva, 2018.gada 30. novembris-1. decembris) "Accommodative microfluctuations after near visual stress" Pikuļina, D., **Panke, K.**, Švede, A., Krūmiņa, G., p.65 – stenda referāts
19. 10th Conference of the Lithuanian Neuroscience Association and 2nd International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception, (Viļņa, Lietuva, 2018.gada 30. novembris-1. decembris) "Fixation disparity in various contrast conditions" Vinogradova, P., Berklava, L., **Panke, K.**, Ikaunieks, G., Karitāns, V., Švede, A., Krūmiņa, G., p.76 – stenda referāts
20. SPIE Optics + Photonics (San Diego, ASV, 2018.gada 19.-23.augusts) "Capabilities and limitations of visual search: the effect of target discriminability" Pladere, T., Klava, K., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Selezneva, M., Krūmiņa, G. – stenda referāts
21. OSA Imaging and Applied Optics Congress (Orlando, ASV, 2018.gada 25.-28. jūnijs) "Focusing in Depth: Post-Task Accommodation Shifts After Sustained Near Work with Volumetric Multi-Planar Display" **Panke, K.**, Stokmane, V., Pladere, T., Švede, A., Krūmiņa, G., p.53 – mutisks referāts

22. OSA Imaging and Applied Optics Congress (Orlando, ASV, 2018.gada 25.-28. jūnijs) “Looking in Depth: Visual Distance Perception of Stimuli on Volumetric Multi-Planar Display” Pladere, T., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Krūmiņa, G. – mutisks referāts p.53
23. World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering (Prāga, Čehija, 2018.gada 3.-8. jūnijs) “Mobile device for skin screening”, Lange, M., Zeidaks, M., Ploriņa, E. V., Lācis, M., **Panke, K.**, p.12 – mutisks referāts
24. World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering (Prāga, Čehija, 2018.gada 3.-8. jūnijs) “Variability of the eye accommodation response after sustained work with volumetric image” **Panke, K.**, Štokmane, V., Pladere, T., Švede, A., Krūmiņa, G., pp. 250-251 – stenda referāts
25. 4th Optometry Conference of Central and South-Eastern Europe (Pula, Horvātija, 2018.gada 9.-13. maijs) “Review of biometric changes with presbyopia as explanation for differences in near addition among equal age groups” **Panke, K.**, Zeidaks, M., Švede, A., p.55 – mutisks referāts
26. Biomedical Imaging and Sensing Conference (Yokohama, Japāna, 2018.gada 23.-27. aprīlis) “Visual search efficiency depending on spatial layout of stimuli in volumetric image”, Pladere, T., Konošonoka, V., **Panke, K.**, Krūmiņa, G. – stenda referāts
27. III International Conference on Applications in Optics and Photonics (AOP 2017) (Faro, Portugāle, 2017.gada 8.-12.maijs) “Usage of CISS and Conlon surveys in eye accommodation studies” **Panke, K.**, Švede, A., Jaschinski, W., Krūmiņa, G., p.47. – mutisks referāts
28. 1st International Symposium on Visual Physiology, Environment and Perception – VisPEP 2016 (Rīga, Latvija, 2016.gada 6.-8.oktobris) “Open-view system for measurements of accommodation and vergence” Švede, A., Sobczak, M., **Panke, K.**, Fomins, S., Trukša, R., & Krūmiņa, G., p.41. – stenda referāts
29. SPIE. Optics+Photonics 2016 (Sandjogo, ASV, 2016.gada 28.augusts-1.septembris) „Changes in physiologic astigmatism with accommodation in emmetropes” **Panke, K.**, Švede, A., Jaschinski, W., Krūmiņa, G., pp.621.-622. – mutisks referāts
30. 12th International Young Scientist Conference „Developments in Optics and Communications 2016” (Rīga, Latvija, 2016.gada 21.-23.marts) „Changes in physiologic astigmatism with accommodation in emmetropes” **Panke, K.**, Švede, A., Jaschinski, W., & Krūmiņa, G., p.44. – stenda referāts
31. AVA Christmas meeting 2015 (Londona, Apvienotā Karaliste, 2015.gada 21.decembris) “Relationship between heterophoria and accommodative lag at distances closer than 40 cm” **Panke, K.**, Švede, A., Jaschinski, W., & Krūmiņa, G., p.704. – stenda referāts
32. 38th European Conference on Visual Perception (Liverpūle, Apvienotā Karaliste, 2015.gada 24.-27.augusts) „Changes in amplitude of accommodation for school-age children during the day” Ikaunieks, G., Kapteine, L., Seglina, M., **Panke, K.**, Krūmiņa, G., p.335. – stenda referāts
33. 58th Scientific Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences (Viļņa, Lietuva, 2015.gada 24.-27.marts) „Accommodation lag under monocular and binocular conditions in symptomatic and asymptomatic emmetropes” **Panke, K.**, Švede, A., Jaschinski, W., Krūmiņa, G., p.298. – mutisks referāts
34. 11th International Young Scientist Conference „Developments in Optics and Communications 2015” (Rīga, Latvija, 2015.gada 8.-10.aprīlis) „Accommodation lag under monocular and binocular conditions in symptomatic and asymptomatic emmetropes” **Panke, K.**, Švede, A., Jaschinski, W., Krūmiņa, G., p.60. – stenda referāts

35. 56th Scientific Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences (Viļņa, Lietuva, 2013.gada 20.-23.marts) „A Influence of optical aberrations induced in one eye and the accommodative response in the fellow eye” **Panke, K.**, & Karitans, V., p.216. – mutisks referāts
36. 9th International Young Scientist Conference „Developments in Optics and Communications 2013” (Rīga, Latvija, 2013.gada 10.-12.aprīlis) „Influence of optical aberrations induced in one eye and the accommodative response in the fellow eye” **Panke, K.**, Karitans, V., p.169. – stenda referāts

Vietējā mēroga konferences

1. Latvijas Universitātes 77.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2019.gada 15.februāris) “Simulēta apmieglojuma un dabīga presbiopijas radīta apmieglojuma ietekme uz tuvuma darbu veikšanas izpildi” Šperliņa, A., Panke, K., Švede, A., Krūmiņa, G., 9. lpp. – mutisks referāts
2. Latvijas Universitātes 77.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2019.gada 15.februāris) “Dziļuma uztvere atkarībā no stimula atrašanās vietas uz volumetriskā ekrāna” Jankovska, G., Pladere, T., Panke, K., K., Krūmiņa, G., 15. lpp. – stenda referāts
3. Latvijas Universitātes 77.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2019.gada 15.februāris) “3D vizuālās meklēšanas uzdevuma izpilde medicīnas speciālistiem” Andriksone, V., Pladere, T., Panke, K., K., Krūmiņa, G., 16. lpp. – stenda referāts
4. Latvijas Universitātes 77.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2019.gada 15.februāris) “Vizuālās meklēšanas stratēģija darbā ar dažāda veida ekrāniem” Konošonoka, V., Pladere, T., Seļežņova, M., Panke, K., Krūmiņa, G., 21. lpp. – stenda referāts
5. Latvijas Universitātes 77.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2019.gada 17.februāris) “Subjektīvo klīnisko akomodācijas testu atveidošana, izmantojot objektīvus akomodācijas mērījumus” Štokmane, V., Panke, K., Švede, A., Krūmiņa, G., 24. lpp. – mutisks referāts
6. Latvijas Universitātes 76.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2018.gada 18.februāris) “Pētījumu pārskats – akomodācijas darbība pirms un pēc tuvuma darba slodzes” Štokmane, V., Panke, K., Pladere, T., Krūmiņa, G., 43.-44. lpp. – mutisks referāts
7. Latvijas Universitātes 76.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2018.gada 16.februāris) “Vizuālā attāluma uztvere uz volumetriska daudzplakņu ekrāna” Konošonoka, V., Pladere, T., Panke, K., Krūmiņa, G., 37.-38. lpp. – stenda referāts
8. Latvijas Universitātes 75.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2017.gada 19.februāris) “Presbiopijas radītās akomodācijas un biometrijas rādījumu izmaiņas” Panke, K., Švede, A., 57.-60. lpp. – mutisks referāts
9. Latvijas Universitātes 75.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2017.gada 19.februāris) “Presbiopijas terapijas iespējas izmantojot redzes treniņus” Pikuļina, D., Panke, K., Švede, A., 61.-62. lpp. – mutisks referāts
10. Latvijas Universitātes 75.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2017.gada 17.februāris) “Vadošās acs stabilitāte un binokulārā konkurence” Maslobojeva, A., Panke, K., 32.-33. lpp. – stenda referāts
11. Latvijas Universitātes 74.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2016.gada 12.februāris) “Svarīgi un interesanti faktori, kurus vērts ņemt vērā, izstrādājot pētījumu redzes zinātnē” Panke, K., Švede, A., 14.-15. lpp. – mutisks referāts
12. Latvijas Universitātes 73.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2015.gada 20.februāris) “Akomodācijas atbilde binokulāri un monokulāri simptomātiskiem un asimptomātiskiem

emetropiem” Panke, K., Švede, A., Jaschinski, W., Krūmiņa, G., 9.-10. lpp. – mutisks referāts

13. Latvijas Universitātes 71.zinātniskā konference (Rīga, Latvija, 2013.gada 15.februāris)
„Pūļa efekts perifērijā pieaugušajiem un skolas vecuma bērniem” Biukšāne, I., Ikaunieks. G., Panke, K., 55.-56. lpp. – stenda referāts

PATEICĪBAS

Vēlos izteikt lielu pateicību darba vadītājai docentei Aigai Švedei par atbalstu darba tapšanas laikā un vērtīgiem padomiem grūtākajos brīžos. Paldies visiem Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas kolēģiem par līdzās būšanu un atsaucību, ja bija nepieciešams padoms vai cita veida atbalsts. Paldies kolēģei Mārai Delesai-Vēliņai par palīdzību un konsultācijām saistībā ar rezultātu statistiskās apstrādes risinājumiem. Liels paldies Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas šobrīd jau absolvējušajām maģistrantūras studentēm Annijai Šperliņai un Vitai Štokmanei, kas veltīja īpaši daudz laika un atbildības datu ievākšanas procesā. Paldies arī studentēm Līvai Jākobsonei un Marinai Seļežņovai, kas veltīja daudz klātienes laika ar pētījuma dalībniekiem, kā arī paldies par palīdzību Žaklīnai Hermanei pētījuma īstenošanā. Paldies visiem 443 pētījuma dalībniekiem, kas brīvprātīgi iesaistījās un veltīja savu laiku dalībai eksperimentos.

Liels paldies jāsaka LU Fonda un SIA “*Mikrotīkls*” projektam Nr. 2184 „Redzes ergonomikas pētījumu vides attīstība”, kura ietvaros bija iespēja iegādāties *PowerRef 3* iekārtu, kas bija būtiski, lai veiktu darba 3.2. un 3.3.2. nodaļās aprakstītos pētījumus. Paldies nodaļas vadītājai, profesorei Guntai Krūmiņai un kolēģei Tatjanai Pladerei par iespēju promocijas darba 3.3.2. nodaļā aprakstīto pētījumu izstrādāt LU un SIA „*LightSpace Technologies*” ESP projekta „3D volumetriskais ekrāns un redzes sistēmas funkcionalitāte” ietvaros.

Paldies Optometrijas un redzes zinātnes nodaļai un Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātes doktorantūras studiju programmai par finansiālo atbalstu konferenču apmeklēšanā. Paldies Latvijas Zinātņu akadēmijai par projekta “Vispusīga redzes sistēmas funkcionalitātes izpēte darbā ar Latvijā izstrādātu inovatīvu volumetrisko 3D ekrānu” novērtējumu un balvas “Latvijas zinātnes nozīmīgākā sasnieguma lietišķajā zinātnē 2019.gadā” piešķiršanu.

Īpašs paldies Mārtiņam, kas ir pacietīgi bijis blakus ikdienā, atbalstījis gan pamatotās grūtībās, gan vienkārši noguruma brīžos. Paldies arī par joku nopietnībā svarīga filozofiska jautājuma formulēšanu “vai nevarētu būt tā, ka Tev ir grūti pabeigt, jo Tu baidies no tā, kas būs pēc tam, kad būsi pabeigusi?”... Tad nu lai pierādītu pati sev, ka esmu ar pilnu sirdi atvērta visam, kas sekos pēc šī – darbs tika pabeigts.

Paldies maniem vecākiem, kas visā savā radošumā mani atbalstīja, uzklausi un ticēja, ka man viss izdosies. Paldies arī Mārtiņa ģimenei un mūsu draugiem, kas bija saprotoši un neļāva šaubīties par sevi.