

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE  
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**AKOMODĀCIJAS DARBĪBA DAŽĀDU KONTRASTU  
APSTĀKĻOS**

BAKALAURA DARBS

Darba autors: **Laura Berklava**

Studenta apliecības Nr.: lb13184

Darba vadītājs: docente, Dr.phys. Aiga Švede

RĪGA 2018

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 31 lapaspuses. Tas satur 14 attēlus, 2 tabulas un 28 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis ir izvērtēt kontrasta ietekmi uz akomodācijas atbildi. Pētījumā piedalījās 10 personas ar redzes asumu tuvumā un tālumā bez korekcijas vismaz 0,8 decimālās vienības, vecumā no 20 līdz 30 gadiem. Ar objektīvo refrakcijas mērīšanas iekārtu PowerRef-3 tika noteikta akomodācijas atbilde, aplūkojot dažāda kontrasta stimulus. Iegūtie rezultāti parāda, ka, aplūkojot baltus burtus uz melna fona, akomodācijas atbilde un zīlītes diametrs nedaudz pieaug, salīdzinot ar situāciju, ja apskata melnus burtus uz balta fona. Samazinoties negatīva (Vēbera) kontrasta pakāpei, akomodācijas atbilde palielinās tikai zemu kontrastu vērtību gadījumā.

**Atslēgas vārdi:** akomodācijas atbilde, kontrasts, stimuluss, vārdu lasīšana

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis is written in Latvian on 31 pages. It contains 14 figures, 2 tables, and 28 references.

The aim of the thesis is to evaluate the effect of contrast on the accommodative response. There were 10 participants (20 – 30 y.) with uncorrected visual acuity at least 0.8 in decimal units both for near and far distance. The objective refraction measuring device PowerRef-3 was used to measure the accommodative response looking at the stimuli with various contrasts. The results show that the accommodative response and the diameter of the pupil are slightly increasing looking at the white letters on a black background, compared to the black letters on a white background. If level of negative (Weber) contrast is decreasing, the accommodative response increases only for low contrast values.

**Key words:** accommodative response, contrast, stimulus, word reading

# SATURS

IEVADS .....	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS .....	2
1.1. Akomodācijas jēdziena skaidrojums un tā darbības mehānisms .....	2
1.1.1. Acs lēca .....	2
1.1.2. Stiklveida ķermenis .....	3
1.1.3. Acs zīlīte .....	4
1.2. Akomodācijas mikrofluktuācijas .....	6
1.3. Akomodācijas darbības ietekmējošie faktori .....	7
1.3.1. Kontrasts .....	7
1.3.2. Apgaismojums .....	8
1.3.3. Akomodācija, vergence un aberācijas .....	9
1.3.4. Akomodācija, refrakcijas lielums un vecums .....	9
1.3.5. Akomodācijas stimuli un to parametri .....	10
1.3.6. Citi ietekmējošie faktori .....	14
2. PĒTIJUMA DAĻA .....	15
2.1. Dalībnieki .....	15
2.2. Iekārta .....	16
2.3. Stimuli .....	16
2.3.1. Eksperimenta 1. daļas stimuli .....	17
2.3.2. Eksperimenta 2. daļas stimuli .....	18
2.4. Darba gaita .....	19
2.5. Datu analīze .....	21
2.6. Rezultāti un to analīze .....	22
2.6.1. Akomodācijas atbildes un zīlītes izmaiņas, mainoties kontrasta polaritātei .....	22
2.6.2. Akomodācijas atbildes un zīlītes izmaiņas, mainoties negatīva Vēbera kontrasta pakāpei .....	23
SECINĀJUMI .....	26
NOBEIGUMS .....	27
PATEICĪBA .....	28
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	29

## IEVADS

Skaidri vienlaicīgi nav iespējams apskatīt tuvumā un tālumā esošus objektus (*Donders*, 1864). Jaunam cilvēkam tam palīdz akomodācija – mehānisms, ar ko acs kopējā sistēma nodrošina skaidra attēla veidošanos uz tīklenes atkarībā no attāluma, kādā atrodas aplūkojamais objekts. Akomodācija nav gribai pakļauta (*Francis et al.*, 2003). Mehānisma darbībā tiek iesaistītas daudzas acs anatomiskās struktūras, taču galvenokārt ciliārais muskulis un lēca. Šī mehānisma ietekmējošie faktori ir daudz un dažādi, kas var būt saistīti gan ar psiholoģiskiem pārdzīvojumiem, gan ar fizioloģiskām izmaiņām (*Ward*, 1987).

Akomodācijas atbilde, viens no akomodācijas raksturojošiem parametriem, raksturo izmaiņas acs optiskajā sistēmā konkrētā attālumā. Pētot akomodācijas atbildes izmaiņas, svarīgi ir ņemt vērā tās saistību ar akomodatīvo stimulu, stimula kontrastu un spožumu, kā arī zīlītes lieluma izmaiņas (*Ward*, 1987a).

Kaut arī daudz par akomodāciju ir zināms, daži jautājumi vēl nav līdz galam skaidri, piemēram, kādi būtu optimālākie burtu stimuli, kuri ir veidoti kā vārdi, kas nodrošina akomodācijas darbības izmaiņas un tieši kādas tās ir, tāpat arī līdz šim veiktie pētījumi (*Niwa & Tokoro*, 1998) nav pierādījuši, kā darbojas redzes pārbažu kartes, ja stimulu un fona savstarpējais kontrasts ir zems. Kontrasts ir acīm redzama atšķirība starp stimulu un tā fonu. Akomodācijas atbildes rezultātus ietekmēt var arī akomodācijas sistēmas jutība uz objekta izplūšanu. Šīs izmaiņas tiek kontrolētas ar akomodācijas mikrofluktuācijām, kas uztur optimālu vidēju akomodācijas atbildes līmeni (*Niwa & Tokoro*, 1998). Izveidojot korektus stimulus, kuru kontrasts ar fonu ir optimāls, būtu iespējams izvērtēt akomodācijas atbildes izmaiņas atkarībā no stimula kontrasta.

Šī darba hipotēze ir, ka, samazinoties kontrastam starp stimulu un fonu, sagaidāma lielāka akomodācijas atbilde. Darba mērķis ir izvērtēt kontrasta ietekmi uz akomodācijas atbildi. Darba uzdevumi:

1. Izvērtēt akomodācijas atbildi, mainoties kontrasta polaritātei;
2. Izvērtēt zīlītes izmēra izmaiņas, mainoties kontrasta polaritātei;
3. Izvērtēt akomodācijas atbildi, mainoties negatīva (Vēbera) kontrasta pakāpei;
4. Izvērtēt zīlītes izmēra izmaiņas, mainoties negatīva (Vēbera) kontrasta pakāpei.

# 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

## 1.1. Akomodācijas jēdziena skaidrojums un tā darbības mehānisms

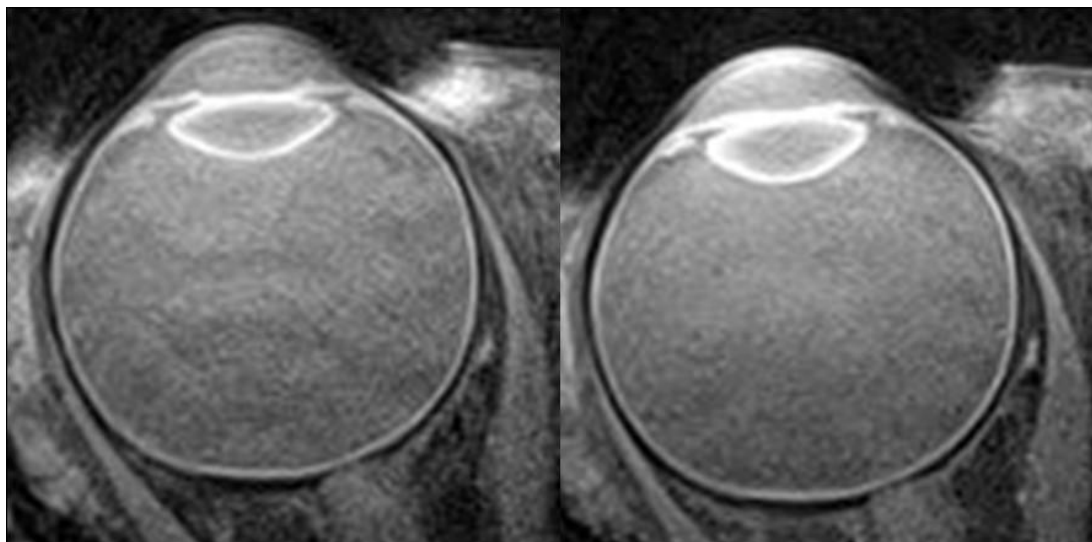
Akomodācijas sistēma balstās uz informāciju, kas tiek iegūta no tīklenes attēla, lai varētu veidot akomodācijas atbildes reakciju (Ward, 1987a). Lai izprastu kā darbojas šis mehānisms, no sākuma būtu jānoskaidro, kuras no acs anatomiskajām struktūrām tiek iesaistītas akomodācijas darbībā un kādā veidā tās tiek izmainītas akomodācijas laikā. Galvenās šī mehānisma sastāvdaļas ir ciliārais ķermenis (tieši ciliārais muskulis) un lēca. Lielu lomu spēlē arī Cinna saites, kas ir fibrotiskas saites starp ciliāro ķermeni un lēcu. Visām šīm struktūrām darbojoties kopā, tiek mainīts acs optiskais stiprums.

### 1.1.1. Acs lēca

Donders (1864) min Tomasu Jungu, kas vairāk nekā pirms 200 gadiem pierādīja pats sev un arī citiem, ka akomodācijas optiskais stiprums, galvenokārt, ir atkarīgs no acs lēcas. Lēca atrodas aiz zīlītes un varavīksnienes, un akomodācijas laikā maina savu biezumu, atkarībā no attāluma, kādā atrodas apskatāmais objekts. Lēcu noteiktā pozīcijās notur Cinna saites. Ciliārajam muskulim saspringstot vai atslābstot, tiek mainīts Cinna saišu spriegums, kas savukārt maina lēcas izliekumu (Mordi & Ciuffreda, 2004). Piemēram, apskatot objektu tuvumā, uz tīklenes izveidotais attēls tiek smadzenēs apstrādāts (izanalizēts) un tiek ģenerēta neironu komanda, kas tiek nosūtīta ciliārajam ķermenim, kas attiecīgi saspringst. Zonālais (Cinna saišu) spriegums samazinās, kā rezultātā lēca sabiezē un tās virsotņu izliekums palielinās, turpretim diametrs samazinās (skat. 1.1. att.). Jaunākā teorija (Jones et al., 2017) parāda, ka akomodācijas laikā priekšējās un mugurējās Cinna saites ir atslābinātas, savukārt ekvatoriālās ir nospriegotas. Lēcas diametra izmaiņas lielākoties nodrošina tās priekšējā virsma. Šādas darbības rezultātā acs optiskais stiprums palielinās.

Khan ar kolēģiem (2018) savā pētījumā apskatīja ciliārā ķermeņa un lēcas izmēra izmaiņas akomodācijas laikā 38 personām vecumā no 18 līdz 29 gadiem. Sākotnēji tika izmērīts lēcas ekvatoriālais biezums, ciliārā ķermeņa diametrs, lēcas augšējais un apakšējais aksiālais biezums neakomodētā stāvoklī visiem dalībniekiem. Vidēji grupā iegūtie rezultāti – ekvatoriālais diametrs:  $9,29 \pm 0,34$  mm; ciliārā ķermeņa diametrs:  $11,07 \pm 0,47$  mm; lēcas augšējais aksiālais biezums:  $1,29 \pm 0,15$  mm; lēcas apakšējais aksiālais biezums:  $2,26 \pm 0,19$  mm, kopējais lēcas biezums:  $3,55 \pm 0,21$  mm. Izmantojot akomodatīvus stimulus, tika apskatīts, kā šie parametri mainās grupas ietvaros akomodācijas laikā. Tika iegūti sekojoši rezultāti – ekvatoriālais diametrs:  $8,99 \pm 0,30$  mm; ciliārā ķermeņa diametrs:  $10,64 \pm$

0,44 mm; lēcas augšējais aksiālais biezums:  $1,54 \pm 0,16$  mm; lēcas apakšējais aksiālais biezums:  $2,35 \pm 0,18$  mm un kopējais lēcas biezums:  $3,89 \pm 0,21$  mm. Apkopojot iegūtos rezultātus, tika secināts, ka, lēcas aksiālajam biezumam akomodācijas laikā pieaugot, samazinās ekvatoriālais diametrs, savukārt gadījumā, ja lēcas aksiālais biezums akomodācijas laikā samazinās, ekvatoriālais diametrs palielinās.



**1.1. att.** Labās acs lēca 21 gadus jaunam vīrietim kreisajā pusē neakomodētā stāvoklī un labajā pusē akomodētā stāvoklī (*Khan et al.*, 2018).

Hemholcs formulēja, ka akomodācijas inervācijā iesaistītas tikai autonomās nervu sistēmas daļas. Ir atšķirība starp to, kas veicina akomodācijas darbību atkarībā no attāluma starp objektu un cilvēku. Ja tiek apskatīts objekts tuvumā, tad akomodāciju veicina parasimpātiskā nervu sistēma, savukārt, ja tiek apskatīts tālumā esošs objekts, tad akomodācijas atslābšanā tieši pretēji vairāk iesaistās simpātiskā nervu sistēma (*Ward*, 1987a).

### 1.1.2. Stiklveida ķermenis

Papildus akomodācijas nodrošināšanā piedalās arī stiklveida ķermenis. Tas atrodas starp lēcu un tīkleni, kā arī robežojas ar Cinna saitēm un ciliāro ķermeni. Šai anatomiskai struktūrai ir dažādas fizioloģiskās funkcijas, piemēram, aizsargfunkcija, tas ir, šī struktūra darbojas kā difūzijas barjera starp acs priekšējo un mugurējo daļu (*Kim et al.*, 2015).

Normālā, veselā acī stiklveida ķermenis ir dzidrs (caurspīdīgs) un tajā nepeld nekādas sīkas daļiņas, līdz ar to, caur šo struktūru netraucēti plūst cauri gaismas stari, kas fokusējas uz tīklenes. Stiklveida ķermeņa loma akomodācijas mehānismā ir tikai daļēja, piedaloties lēcas atbalsta mehānismā (*Kim et al.*, 2015).

### 1.1.3. Acs zīlīte

Akomodācijas procesa nodrošināšanā svarīga ir arī acs zīlīte. Zīlīte ir melna, centriska atvere varavīksnenes centrā, kura tiešā veidā netiek iesaistīta akomodācijas darbībā, tomēr akomodācijas laikā ir novērojamas izmaiņas zīlītes izmērā, jo zīlīte ir viena no tuvuma triādes sastāvdaļām, kur ietilpst akomodācija, konverģence (acs redzes asu virziena izmaiņa) un zīlīte (zīlītes diametra izmaiņa). Zīlītes galvenā funkcija ir acī ienākošās gaismas daudzuma regulācija, kas nonāk uz tīklenes (Orr *et al.*, 2015).

Atkarībā no apgaismojuma, fiksācijas attāluma un savienojumā ar cilvēka interesi par apskatāmo objektu zīlītes diametrs mainās. Pētījumu rezultāti parāda, ka ir novērojamas atšķirības, atkarībā no tā vai eksperiments tiek veikts monokulāri vai binokulāri. Zīdaiņiem un bērniem, akomodācijas laikā, izmaiņas zīlītes diametrā ir ievērojami mazāks nekā pieaugušiem cilvēkiem (Lara *et al.*, 2014). Par zīlītes lielumu ir atbildīgas divas nervu sistēmas un divi attiecīgās struktūras muskuļi, proti – parasimpātiskā nervu sistēma nodrošina acs zīlītes sašaurināšanos, ko nodrošina zīlītes sašaurinātājmuskulis (*m.sphinterpupillae*), savukārt simpātiskā nervu sistēma darbojas zīlītei paplašinoties, šo darbību nodrošina zīlītes paplašinātājmuskulis (*m.dilatatorpupillae*). Akomodācijas atbilde ir precīzāka, ja acs zīlītes diametrs ir lielāks, tātad zīlīte ir platāka (Ward, 1987a). Sava pētījuma ietvaros, Ward un Charman (1985) pierādīja, ka kopumā akomodācijas atbilde būtiski tiek ietekmēta atkarībā no zīlītes izmēra, tas ir, apskatot vienādus stimulus 3 mm platas zīlītes gadījumā salīdzinot ar 1 mm platu zīlīti novērojamas akomodācijas atbildes lieluma samazinājums. Mazākas acs zīlītes gadījumā, sagaidāmāka neprecīzāka akomodācijas atbilde. Pētījumu (Wang *et al.*, 2011) veikšanā papildus ir svarīgi ņemt vērā, ka liela diametra acu zīlīšu gadījumā, palielinās monohromatisko aberāciju ietekme uz redzes sistēmu, kas var ietekmēt akomodācijas atbildes rezultātus.

Apskatot zīlītes diametra izmaiņas atkarību no refrakcijas lieluma, Orr ar kolēģiem (2015) veica eksperimentu, kurā piedalījās 20 dalībnieki ar emetropiju, 23 dalībnieki ar miopiju un 17 dalībnieki ar hipermetropiju vecumā no 18 līdz 35 gadiem. Eksperimentālajā daļā tika rādīti stimuli ar 7 dažādām spožuma pakāpēm: 10, 100, 200, 400, 1000, 2000 un 4100 cd/m<sup>2</sup>. Iegūtie rezultāti parāda, ka refrakcijas kļūda neietekmē zīlītes diametra izmaiņas atkarībā no akomodācijas pieprasījuma lieluma dažādās spožuma intensitātēs.

Citā pētījumā Guillon ar saviem kolēģiem (2016) pētīja, kā zīlītes diametru ietekmē vecums un refrakcijas veids. Pētījumā piedalījās 304 dalībnieki, no kuriem 127 bija vīrieši un 177 bija sievietes vecumā no 18 līdz 78 gadiem. Dalībnieki tika sadalīti trīs attiecīgās vecuma grupās: pirms presbiopijas vecuma (18 – 39 gadi), jauni presbiopijas vecuma (40 – 54 gadi) un presbiopijas vecuma dalībnieki (55+ gadi), katrā no tām izdalot dalībniekus ar miopiju,

emetropiju un hipermetropiju. Pirms presbiopijas vecuma grupā piedalījās 140 dalībnieki ar miopiju, 24 dalībnieki ar emetropiju un 2 dalībnieki ar hipermetropiju. Jaunu presbiopijas vecumu grupā piedalījās 59 dalībnieki ar miopiju, 15 dalībnieki ar emetropiju un 9 dalībnieki ar hipermetropiju. Presbiopijas vecuma grupā piedalījās 19 dalībnieki ar miopiju, 6 dalībnieki ar emetropiju un 30 dalībnieki ar hipermetropiju. Vecuma diapazons bija tik liels, lai objektīvi varētu salīdzināt katru no grupām, novērtējot, kurā no tām ir vislielākās izmaiņas rezultātos. Visu dalībnieku zīlītes tika fotografētas trīs kontrolētu spožuma līmeņos: 250, 50 un 2,5 cd/m<sup>2</sup> (skat. 1.1. tab.).

### 1.1. tabula.

Zīlītes izmērs atkarībā no stimula spožuma, vecuma grupas un refrakcijas veida

(Guillon et al., 2016)

Spožums	Vecuma grupa	Zīlītes izmērs (mm)	Refrakcijas veids	Zīlītes izmērs (mm)
2,5 cd/m <sup>2</sup>	Pirms presbiopi	6,15 ± 1,13	Miopija	5,93 ± 1,11
	Jauni presbiopi	5,49 ± 0,94	Emetropija	5,46 ± 1,12
	Presbiopi	4,99 ± 0,96	Hipermetropija	5,15 ± 1,12
50 cd/m <sup>2</sup>	Pirms presbiopi	3,68 ± 0,61	Miopija	3,55 ± 0,09
	Jauni presbiopi	3,37 ± 0,49	Emetropija	3,53 ± 0,70
	Presbiopi	3,21 ± 0,62	Hipermetropija	3,26 ± 0,59
250 cd/m <sup>2</sup>	Pirms presbiopi	2,82 ± 0,37	Miopija	2,77 ± 0,37
	Jauni presbiopi	2,67 ± 0,34	Emetropija	2,69 ± 0,34
	Presbiopi	2,60 ± 0,32	Hipermetropija	2,55 ± 0,34

Kā jau no citiem literatūras avotiem (Ward, 1987a) zināms, mazāka spožuma intensitātes gadījumā sagaidāms lielāks zīlītes diametrs, savukārt lielāka spožuma intensitātes gadījumā zīlītes diametrs būs mazāks. Arī šajā pētījumā (Guillon et al., 2016) iegūtie dati visās vecuma grupās uzskatāmi parāda citos literatūras avotos (Ward, 1987a) minēto faktu, tas ir, zīlītes izmērs mazākā spožuma gadījumā (2,5 cd/m<sup>2</sup>) visu grupu ietveros ir vidēji 5,67 mm, kas salīdzinot rezultātus ar visspožāko gadījumu (vidējais rezultāts visās trijās grupās 2,73 mm) ir divas reizes lielāks. Apkopotie dati 1.1. tabulā parāda (Guillon et al., 2016), ka pilnīgi visos spožuma gadījumos pirms presbiopu vecuma grupas (18 – 39 gadi) pārstāvjiem ir vislielākās acu zīlītes. Tāpat vislielākā starpība ar pārējām vecuma grupām novērojama vismazākā spožuma intensitātes gadījumā, savukārt augstas intensitātes spožuma (250 cd/m<sup>2</sup>) gadījumā visu vecuma grupu rezultātu ir tuvi, tas ir, starpība starp dalībniekiem pirms presbiopijas vecumā ar dalībniekiem presbiopijas vecumā vidēji ir 0,22 ± 0,05 mm. Visu

spožuma intensitāšu gadījumā, dalībniekiem ar hipermetropiju novērojamas vismazākās acs zīlītes, salīdzinot ar dalībniekiem, kam ir emetopija vai miopija. Dalībniekiem ar miopiju acs zīlītes visos spožumu gadījumos ir vislielākās. Tika secināts, ka gan vecums, gan refrakcijas lielums ietekmē zīlītes izmēru dalībniekiem visās trijās vecuma grupās. Attiecībā uz refrakcijas ietekmi, vislielākās zīlītes izmēra izmaiņas novērojamas dalībniekiem ar miopiju.

## 1.2. Akomodācijas mikrofluktuācijas

Akomodācijas mikrofluktuācijas jeb fluktuācijas ir mazas acs refrakcijas spējas izmaiņas, tas ir, patvaļīgas, gribai nepakļautas acs lēcas stipruma variācijas. Tās mainās ap 0,1 D ar no 0,5 līdz 2 Hz lielu frekvenci. Pētījumi parāda (*Lin et al.*, 2016), ka šīs svārstības ir lielākas cilvēkiem ar miopiju salīdzinot ar cilvēkiem, kuriem ir emetropija. Tas nozīmē, ka akomodācijas atbilde ir stabilāka un precīzāka cilvēkiem ar emetropiju salīdzinot cilvēkus ar miopiju (*Xu et al.*, 2015). Mikrofluktuācijas ir saistītas ar akomodācijas sistēmas jutību uz objekta izplūšanu. Tiek uzskatīts (*Haigh et al.*, 2013), ka akomodācijas mikrofluktuācijas ir viens no ierosinātajiem tādiem vizuālajiem fenomeniem kā ilūzijas, dažāda veida attēla izkropļojumi, kas novēroti smalku režģu modeļos.

Akomodācijas mikrofluktuācijas ietekmē sekojoši parametri: akomodatīvais stimuls, stimula kontrasts un spožums, kā arī zīlītes anatomiskās struktūras izmaiņas, tas ir, tās lielums (diametrs) un forma. Tomēr, ja zīlītes diametrs ir lielāks par 2 mm, tad zīlītes ietekme uz akomodācijas mikrofluktuācijām kļūst nenozīmīga. Akomodācijas mikrofluktuācijas uztur optimālu vidēju akomodācijas atbildes līmeni, kontrolējot nelielas izmaiņas tīklenes attēla kontrastā. Piemēram, ja apskatāmais objekts nav skaidrs, tad tīklenes attēla kontrasta gradients un amplitūda samazinās (*Niwa & Tokoro*, 1998). Šīs svārstības notiek pat tādos gadījumos, ja akomodatīvā stimula parametri (spožums un kontrasts) ir konstanti un netiek mainīti laikā (*Toshida et al.*, 1998). Akomodācijas mikrofluktuāciju maksimums tiek iegūts zema izplūduma līmeņa gadījumā, kas rodas simbolu telpisko frekvenču palielināšanās rezultātā (*Niwa & Tokoro*, 1998).

Lēcas optiskā stipruma mikrofluktuācijas rada tīklenes attēla svārstības. Lai noteiktu jebkādas redzes sistēmas izmaiņas tīklenes attēlā, ko izraisa akomodācijas mikrofluktuācijas, pētījumos (*Ward*, 1987a) dalībniekus iepazīstina ar stimuliem, kuri svārstās ar noteiktu amplitūdu pa redzamības līniju, pie tam šajos eksperimentos akomodācija tiek apzināti paralizēta, kā arī svārstības variē līdz brīdim, kad dalībnieks sāk novērot izmaiņas apskatāmajā stimulā. *Ward* (1987a) secināja, ka mikrofluktuācijas abās acīs ir līdzīgas.

### 1.3. Akomodācijas darbības ietekmējošie faktori

Akomodācijas darbību, līdz ar to akomodācijas atbildi ietekmē dažādi faktori. Tie var būt gan ārēji faktori, gan saistīti ar psiholoģiskiem pārdzīvojumiem. Akomodācijas darbības kontrolē dominē centrālais fovejas reģions, līdz ar to pat vismazākās izmaiņas šajā reģionā var izraisīt lielas atšķirības iegūtajos rezultātos (Ward, 1987a).

Arvien aktuālāka kļūst pētījumu veikšana (Coates et al., 2013), kuru mērķis ir noskaidrot akomodācijas darbības ietekmējošos faktoros. Daži no tiem ir kontrasts, refrakcijas lielums, vecums, arī aberācijas. Ja rodas binokulārie vai akomodācijas darbības traucējumi, smadzenēm tiek ziņots par dažādiem specifiskiem simptomiem, piemēram, redzes dubultošanos vai miglošanos, galvassāpēm u.c. Šādu simptomu parādīšanās, savukārt, var novest pie negatīvas ietekmes tuva darba laikā, kā rezultātā tiek ietekmēta akomodācijas atbilde un iegūtie rezultāti nav precīzi, jo iegūti specifisku simptomu ietekmē (Daniel & Kapoula, 2015). Tieši šo iemeslu dēļ, pētot akomodācijas darbību, ir svarīgi ņemt vērā mehānisma ietekmējošos faktoros.

#### 1.3.1. Kontrasts

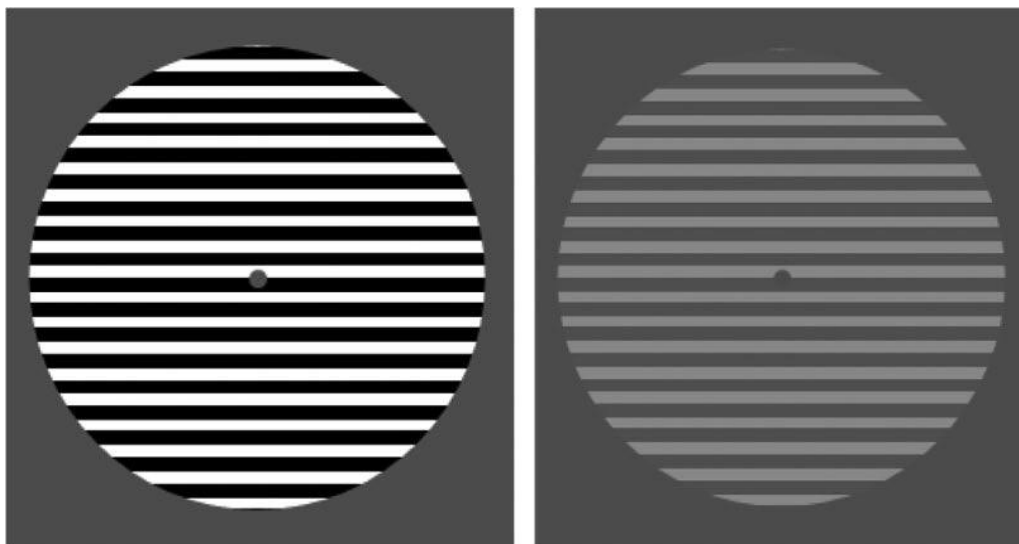
Viens no akomodācijas ietekmējošiem faktoriem ir kontrasts. Kontrasta intensitāte – tā spožuma uztvere ir būtiska vizuālās uztveres komponente. Stimulu veidošanā lielākoties tiek izmantoti divi kontrastu veidi: Vēbera un Maikelsona. Vēbera kontrastu aprēķina, pielietojot formulu:  $C_w = \frac{L_o - L_f}{L_f}$ , kur  $L_o$  ir spožums objektam un  $L_f$  ir spožums fonam. Saskaņā ar Vēbera kontrastu, tas var būt gan negatīvs, gan pozitīvs un tā lieluma amplitūda ir no – bezgalības līdz + bezgalībai. Veidojot stimulus, izmantojot Vēbera kontrastus, būtiski ir ņemt vērā to, ka iegūtos rezultātus var ietekmēt fona krāsa. Maikelsona kontrasta aprēķināšanas formula:  $C_M = \frac{(L_f - L_o)}{(L_f + L_o)}$ , kur apzīmējumi ir analogi Vēbera kontrasta aprēķina formulai, fona krāsa stimulu izveidē nav būtiska. No šīs formulas izriet sekojošais: kontrasts nekad nav negatīvs un tā lieluma amplitūda ir no 0 līdz 100 %. Abus kontrastu veidus ir problemātiski izmantot, ja stimuli ir kompleksi (Majaj et al., 2002; Hall et al., 2015). Pārsvārā Maikelsona kontrasts tiek izmantots režģu stimuliem, kur dažāda spožuma struktūras ir vienāda izmēra. Savukārt Vēbera kontrastu pārsvārā izmanto gadījumos, kad fona izmērs ir lielāks par fiksācijas stimula izmēru. Ward (1987b) savā eksperimentā izmantoja divas dažādas stimulu formas. Pirmo veidoja kvadrātveida modulēti vertikāli režģi ar vienāda platuma baltām un melnām joslām, bet ar atšķirīgu spožumu, savukārt otro formu veidoja sinusoidāli modulēti vertikāli režģi. Abos gadījumos stimulu izveidei tika izmantota Maikelsona formula. Izmantotās kontrasta vērtības: 100, 58, 46, 28, 14, 9, 6, 3 un 1,4 %. Eksperimentā piedalījās 10 dalībnieki un visi

uzrādīja vienādus rezultātus: akomodācijas atbilde ir stabilāka un konstantāka apskatot kvadrātveida vertikālu režģu stimulu, salīdzinot ar sinusoidāliem režģu stimuliem.

Smadzenēs kontrasta informāciju, tā pozitīvo un negatīvo daļu apstrādā paralēlie nervu ceļi (*Coates et al.*, 2013). Kontrasta ietekme uz akomodāciju ir kritiski nozīmīga, apskatot dažādus stimulus, ja apskatāmo stimulu detaļas ir ar samazinātu kontrastu. Tāpat telpiskais kontrasts nereti tiek izmantots kā akomodāciju stimulējošs faktors (*Ward*, 1987a). Akomodācijas optiskā stipruma izmaiņas ietekmē tīklenes attēlu, kas savukārt nodrošina akomodācijas kontroles sistēmas pareizu darbību (*Niwa & Tokoro*, 1998). *Ward* (1987a) apgalvo, ka, aplūkojot tuvumā esošus objektus, kontrasts būtiski neietekmē akomodācijas atbildes lielumu, tas nozīmē, ka sagaidāmie rezultāti vienādos (mezopiskos, skotopiskos vai fotopiskos) apstākļos ir līdzīgi, bet ne vienādi. Pretēji ir rezultāti, ja akomodatīvais stimuluss atrodas tālumā, tādā gadījumā kontrasts var būtiski ietekmēt akomodācijas atbildes lielumu.

### 1.3.2. Apgaismojums

Nākamais faktors, kas tiešā veidā ietekmē akomodācijas darbību, ir apgaismojums gan brīvā dabā, gan telpās (mākslīgais apgaismojums). Brīvā dabā aplūkojamus objektus kontrastainākus rada fons. Kā piemēram, ja fonā atrodas neizteiksmīgi, lielākoties vienkrāsaini koki, priekšā atrodošies objekti šķiet izteiksmīgāki.



**1.2. att.** Stimula spožuma ietekme uz stimula kontrastu. Attēlos telpiskā frekvence ir tuvu 3 cpd. Attēlā pa kreisi kontrasts un spožums ir augsts, savukārt labajā pusē attēlots 60 % liels kontrasts un zemāks spožums (*Haigh et al.*, 2013).

Tāpat ir nozīmīgs apgaismojuma intensitātes savienojums ar rādāmā stimula kontrasta spožumu. Ja apgaismojuma intensitāte ir augsta un spožums ir zems, tad aplūkojamā stimula

kontrasts šķiet zems, savukārt, ja spožums ir liels un apgaismojuma intensitāte ir zema, stimula kontrasts šķiet liels (skat. 1.2. att.). Variējot šos trīs parametrus savā starpā, iespējams iegūt atšķirīgus rezultātus (*Ward, 1987a*).

### **1.3.3. Akomodācija, vergence un aberācijas**

Vēl papildus jau apskatītajiem faktoriem, kas ietekmē akomodāciju, jāpievieno optiskās aberācijas. Dažas no tām: koma, distorsija, transversālā hromatiskā aberācijas. *Wang* un kolēģi (2011) pierādīja, ka longitudinālas hromatiskas aberācijas sniedz informāciju gadījumos, ja cilvēka acs zīlīte ir šaura. Liela diametra acu zīlītes palielina monohromatiskās aberācijas.

Augstas pakāpes monohromatiskās aberācijas ietekmē tīklenes attēla kvalitāti, mijiedarbojas ar hromatiskajām aberācijām, kā arī rada akomodācijas atbildē kļūdainu rezultātu. No tā seko jau iepriekš minētais, ka akomodācijas viens no stimulējošiem faktoriem ir neskaidrs attēls, ko šajā gadījumā ierosina aberācijas (*Wang et al., 2011*).

*Wang* ar kolēģiem (2011) pētījumā izmantoja modulācijas pārnese funkciju, kas parāda, ka gan objekta intensitātes sadalījums, gan attēla intensitātes sadalījums mainās pēc harmoniska likuma. Tika secināts, ka monohromatiskās aberācijas mazina longitudinālas hromatiskas aberācijas, kā rezultātā, tas palīdz acīm neietekmēties no hromatiski izplūduša attēla.

### **1.3.4. Akomodācija, refrakcijas lielums un vecums**

Iepazīstoties ar akomodācijas mehānisma uzbūvi, rodas jautājumi par to, kā, cilvēkam novecojot, mainās akomodācijas darbība un atbildes lielums, ņemot vērā to, ka sistēmas uzbūvē ietilpst struktūras, kuras, cilvēkam novecojot, anatomiski mainās, piemēram, acs lēca. Sākoties presbiopijas vecumam (pēc 40 gadiem), cilvēka acs lēca kļūst cietāka, kļūst arvien grūtāk safokusēt attēlu uz tīklenes, kā rezultātā redze tuvumā paliek arvien neskaidrāka (*Richdale et al., 2015*).

Lai viennozīmīgi varētu izdarīt secinājumus, pētījumos (*Richdale et al., 2015*) svarīgi ir ņemt vērā dalībnieka vecumu, it īpaši, ja tiek pētīta akomodācijas atbilde. Nav korekti salīdzināt dažāda vecuma grupu dalībniekus, piemēram, bērnus, kuru acis vēl aug un attīstās, ar dalībniekiem presbiopijas vecumā, kuru acs struktūras noveco. *Richdale* un kolēģu (2015) pētījuma mērķis bija kvantitatīvi noteikt acu izmaiņas, kas saistītas ar vecumu, refrakcijas kļūdu un akomodāciju pieaugušiem (30 – 50 gadus veciem) dalībniekiem. Pētījumā piedalījās 91 dalībnieks gan ar miopiju, gan ar hipermetropiju, pie tam apskatīta tika tikai labā acs. Izmantojot ultrasonogrāfiju, keratometriju, pahimetriju un citas motodes, tika apskatīti

nepieciešamie acs parametri. Akomodācija tika pētīta gan subjektīvi ar *push-up* metodi, gan objektīvi, izmantojot atvērta skata autorefraktometru.

Datu analīzei tika izmantota regresiju analīze, lai novērtētu atšķirību starp katru mainīgo un vecumu. Iegūtie rezultāti parāda, ka maksimālā subjektīvi izmērītā akomodācijas amplitūda samazinājās par aptuveni 0,60 D gadā. Dalībnieka vecumam pieaugot, palielinājās acs lēcas biezums vidēji par 0,03 mm gadā. Lēcas priekšējās virsmas izliekums, kļuva izliektāks par 0,11 mm gadā. Pieaugot miopijas lielumam, ievērojami palielinājās acs aksiālais garums, vidēji par 0,37 mm/D, un stiklveida ķermeņa dziļums (skatoties no ārējām struktūrām uz dziļākajām). Līdz ar miopijas palielināšanos, novērojama ciliārā muskuļa diametra palielināšanās un radzenes biezuma pieaugums (0,16 mm/D). Akomodācijas laikā ciliārā muskuļa diametrs samazinājās par 0,08 mm/D, šīs izmaiņas vairāk nodrošina muskuļa mugurējā daļa, vienlaicīgi nodrošinot lēcas diametra samazināšanos ekvatoriāli (*Richdale et al.*, 2015).

Pētījums (*Richdale et al.*, 2015) apstiprina vecuma un refrakcijas kļūdas lieluma ietekmi uz cilvēka acs struktūrām. Iegūtie dati ir vērtīgi ne vien pētījumiem, kuros tiek apskatīti dalībnieki presbiopijas vecumā, bet arī refrakcijas kļūdas attīstības novērtēšanai. Refrakcijas kļūda ir būtiski saistīta ne tikai ar acs aksiālajiem izmēriem, bet arī ar pieauguša cilvēka acs akomodācijas atbildes lielumu.

### **1.3.5. Akomodācijas stimuli un to parametri**

Stimuls ir faktors, kas veicina, rosina, stimulē kādu no darbībām. Attiecībā uz akomodāciju, stimuls ir ierosinātais akomodācijas mehānisma darbināšanai (akomodācijas pieprasījums), kā rezultātā tiek iegūta akomodācijas atbilde. Tieši tāpēc nereti pareiza stimula izvēle akomodācijas darbības veicināšanai ir tik nozīmīga, jo to ietekmē dažādi iepriekš minētie blakus faktori. It īpaši, ja no iegūtajiem rezultātiem ir jāizdara klīniski secinājumi.

Cilvēka atbildes sniegšana uz konkrēti rādīto stimulu ir rezultāts, ko rada objektīvi pieejamās informācijas apvienojums stimulā ar cilvēka spēju šo informāciju analizēt un izmantot. Problēma rodas informācijas novērtēšanā, salīdzinot cilvēka atbildes sniegumu, skatoties uz augstu un zemu frekvenču attēliem (stimuliem). Parasti stimuli tiek veidoti, ņemot vērā sekojošus parametrus, ka kontrasta joslas platums ir proporcionāls frekvencei (*Parish & Sperling*, 1991).

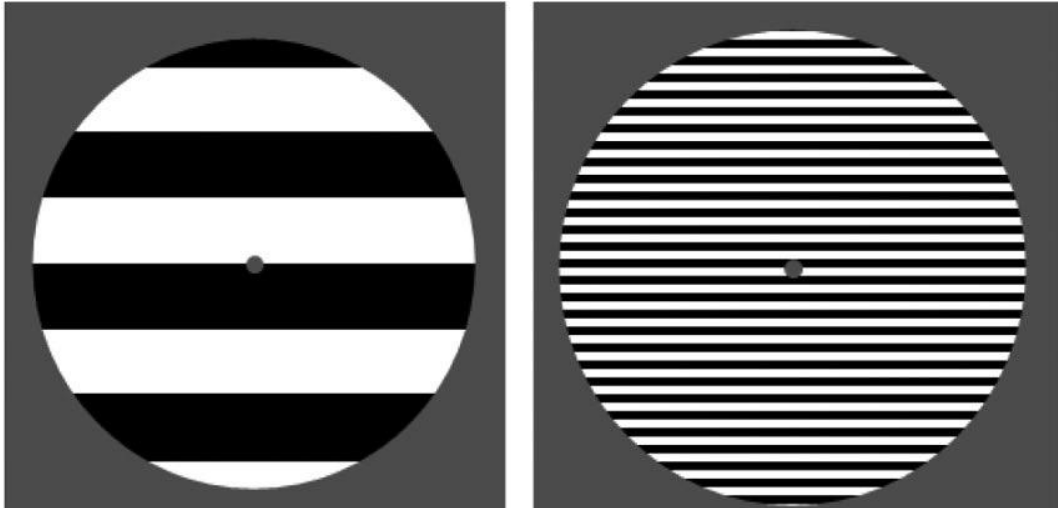
Visplašāk izmantotais akomodatīvais stimuls ir izplūdis attēls, kas netieši darbina akomodācijas mehānismu, jo uz tīklenes neveidojas skaidrs attēls. Eksperimentos (*Kruger & Pola*, 1986) to izmanto, sākotnēji stimulu rādot skaidru un pēc tam izplūdušu. Abos gadījumos fiksē iegūto rezultātu, tas ir, akomodācijas atbildes lielumu. Tomēr uz tīklenes

neskaidrs attēls var veidoties dažādu iemeslu dēļ, tai skaitā nepareizas koncentrēšanās gadījumā, difrakcijas vai aberāciju veidošanās rezultātā.

*Roberts* ar kolēģiem (2015) pierādīja, ka ir novērojams akomodācijas atbildes pieaugums līdz ar akomodācijas pieprasījuma pieaugumu atkarībā no tuvumā aplūkojamā objekta. Pētījuma mērķis bija noteikt sakarību starp stimula skaidrību un akomodācijas atbildes lielumu. Eksperimentā piedalījās 139 dalībnieki vecumā no 5 līdz 35 gadiem. Dalībnieki aplūkoja 1,5 mm lielu stimulu 13 dažādos attālumos (diapazonā no 33 cm līdz 40 cm). Dalībnieki tika instruēti ziņot, ja rādāmais stimulš kādā no attālumiem kļūst izplūdis. Iegūtie dati liecina, ka apskatītajā vecuma grupā ar izmantotajām metodēm, akomodācijas atbildes rezultātu lielums, visiem dalībniekiem ir ar vienādu tendenci, tas ir, akomodācijas atbilde tiek ietekmēta atkarībā no attāluma, kādā atrodas aplūkojamais stimulš.

Akomodācijas darbības izmaiņas, ko izraisa psiholoģiskie efekti, ir plaši dokumentētas un apskatītas kā cilvēkiem, tā dzīvniekiem. Stimuli, kas cilvēkā izraisa patīkamas sajūtas, parasti rada hipermetropas izmaiņas, savukārt dusmas izraisa miopiskas izmaiņas. Jo lielāka ir cilvēka interese eksperimentālajā vai klīniskajā situācijā, jo lielāki ir psiholoģisko efektu izraisītie rezultāti. Liela nozīme akomodācijas darbības rezultātiem ir paša cilvēka noskaņojumam un domām. Piemēram, ja pacientam, veicot akomodācijas darbības izpēti eksperimentu, liek fokusēt acu skatienu uz tukšu lauku, tad, pat iedomājoties par skatienu fokusēšanas punktu tālumā vai tieši otrādi tuvumā, smadzeņu sistēmā ir novērojamas izmaiņas akomodācijas atbildē (*Ward, 1987a*).

Izmantojot dažādas burtu (optotipu) kartes, tiek noskaidrots redzes asums. Vēl joprojām ir aktuāls jautājums, kā šīs kartes darbojas, ja to stimulu un fona savstarpējais kontrasts ir zems (*Coates et al., 2013*). Līdzīgi arī tiek izmantoti burti vai burtu kombināciju stimuli ar mērķi izpētīt akomodācijas atbildes izmaiņas. Šeit svarīgs ir burtu līdzīgums to sastāvā jeb no fizikālā viedokļa, lai tiem būtu līdzīgas telpiskās frekvences (*Parish & Sperling, 1991*). Telpisko frekvenču amplitūda ir kritiski nozīmīga tam, kā tiek atpazīti un tālāk arī analizēti apskatītie stimuli (skat. 1.3. att.) (*Haigh et al., 2013*). Ar šo parametru iespējams izpētīt, kā redzes sistēma uztver telpiskās frekvences un to izmaiņas (*Parish & Sperling, 1991*). *Niwa un Tokoro* (1998) savā pētījumā, piedaloties 8 jauniem dalībniekiem ar emetropiju (vidējais vecums grupā  $21,88 \pm 2,36$  gadi), apskatīja akomodācijas atbildes atkarību no telpiskajām frekvencēm. Dalībnieki stimulu apskatīja monokulāri. Stimulu telpiskās frekvences pētījumā tika mainītas no 0,85 līdz 15 cpd 7 soļos. Rezultāti parādīja, ka akomodācija miera stāvoklī, mainot fiksācijas objekta telpiskajām frekvencēm, mainās aptuveni par  $\pm 0,3$  D.



**1.3. att.** Stimulu piemēri ar dažādām telpiskajām frekvencēm. Kreisajā pusē attēlotajam stimulusam telpiskās frekvences ir 0,5 cpd. Labajā pusē attēlotajam stimulusam telpiskās frekvences ir tuvu 3 cpd (Haigh et al., 2013).

Burtiem ir plašas telpiskās frekvences. Telpisko frekvenču parametrus veido kopīgas iezīmes, piemēram, burtu platums, līnijas biezums, taisnas vai liektas līnijas (Majaj et al., 2002). Sloana burti lielākoties tiek izmantoti klīniskajās redzes apskatēs un pētījumos. Sistēmu veido 10 sekojoši burti C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z. Šiem burtiem ir līdzīgas telpiskās frekvences, kā arī lielums un platums (Hall et al., 2015). Šādus stimulus veidojot, svarīgi ir ievērot pēc iespējas līdzīgāku algoritmu, tas ir, burtu atstarpju vienādumu, malu līdzīgumu (vai tās ir ieapaļas, vai nošķeltas, asas), kā arī laiku, kāds tiek izmantots, lai rādītu stimulus, neatkarīgi no tā, vai stimuli, kuros tiek izmantoti burti, tiek rādīti pa vienam vai vārdos (Coates et al., 2013).

Pētot akomodācijas darbību eksperimentos (Lin et al., 2013), ir pierādīts, ka liela nozīme akomodācijas atbildei ir stimulu rādīšanas secībai. Nozīme ir tam, vai šie stimuli tiek rādīti no sākuma tuvumā vai tālumā, un vai tie ir statiski vai dinamiski. Tāpat nozīmīgi tiek izmainīti iegūtie rezultāti atkarībā no tā, vai stimuluss sākotnēji ir izplūdis (skat. 1.5. att.) vai skaidrs (skat. 1.4. att.). Lielāka akomodācijas atbilde sagaidāma, ja stimuli tiek rādīti izplūduši. Svarīgi ir pievērst uzmanību stimulu parametriem (kontrasts, izmērs u.c.), vai tie ir augoši, vai dilstoši secībā, rādot stimulus (Haigh et al., 2013; Hall et al., 2015). Kā skaidrojums atbildes izmaiņām atkarībā no stimula rādīšanas ir nervu sistēmas darbības īpatnības, kā arī lēcas refrakcijas lieluma izmaiņas. Veiksmīga eksperimenta izveidei ir nepieciešams izvērtēt korektu stimulu rādīšanas secību atkarībā no tā, kas tieši tiek pētīts akomodācijas atbildē (Majaj et al., 2002).



**1.4. att.** Skaidrs stimuls (*Hall et al.*, 2015).



**1.5. att.** Izplūdis stimuls, kas netieši stimulē akomodāciju (*Hall et al.*, 2015).

*Shibata un Uozato* (2013) savā pētījumā apskatīja kā zīlītes izmēru un akomodācijas atbildi ietekmē perifērais stimuls. Pētījumā piedalījās 15 dalībnieki (6 vīrieši un 9 sievietes) vecumā no 20 līdz 31 gadam. Dalībnieku redzes asums bija 1,0 decimālās vienības vai vairāk, nepieciešamības gadījumā tika atļauta korekcijas lietošana. Mērījumi tika veikti monokulāri skatoties uz 1 grāda lielu stimulu (melns krusts), 1 m attālumā, caur 5 grādu lielu apli, kas centrēts kvadrātā (perifērais stimuls) un atrodas 33 cm attālumā (0,33 m) no dalībnieka acs. Kvadrāta fona krāsa tika mainīta 3 dažādos gadījumos: balta, melna un punktota (ar melniem un baltiem patvaļīgiem punktiem). Katrs dalībnieks aplūkoja stimulu caur visiem trīs perifērajiem (kvadrāta) stimuliem. Dalībnieka uzdevums bija skatīties uz centrālo stimulu, cenšoties nekoncentrēties uz perifērā stimula krāsu. Katra mērījums tika veikts 30 sekundes.

Iegūtie rezultāti parāda, ka nav novērojamas statistiski nozīmīgas atšķirības akomodācijas atbildē apskatot centrētu stimulu, ja tā perifērā stimula krāsa tiek mainīta. Iegūtie zīlītes diametra rezultāti, parāda, ka ir statistiski nozīmīga atšķirība apskatot stimulu, ja

tā perifērā stimula krāsa tiek mainīta, tomēr atšķirības ir tikai baltas un melnas krāsas gadījumā.

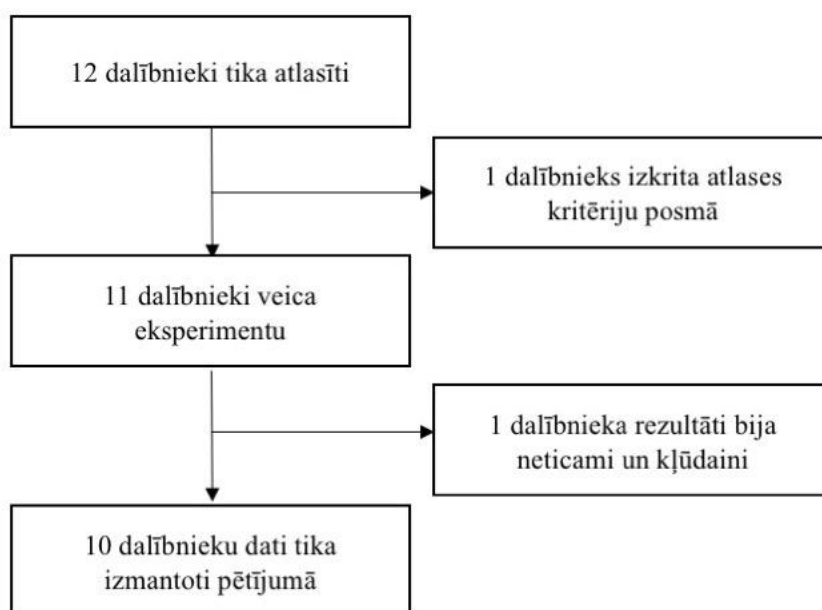
### **1.3.6. Citi ietekmējošie faktori**

Daudzos pētījumos (*Ward, 1987a*), jo īpaši tajos, kuros tiek apskatīta akomodācijas patvaļīga kontrole, netiek ņemta vērā konverģences ietekme uz akomodācijas darbību. Konverģence veicina akomodācijas darbību. Akomodācijas un verģences sakarību iespējams izskaidrot ar sekojošu piemēru. Verģence kā acu darbības un galvenais kustības mehānisms ir nepieciešama lasīšanai, lai varētu uzturēt vienotu redzi, kā arī, lai nepieciešamības gadījumā fokusa sistēma, pastiprinot acs optisko spēju, var nodrošināt skaidru redzi. Vienlaicīgi acis veic sakādes, lai fiksētu secīgi vārdus. Sakādēm ir jābūt saskaņotām, lai saglabātu vienādu redzamības leņķi, kas nepieciešams skaidras redzes nodrošināšanai. Pie tam akomodācijai šajā laikā būtu jābūt konstantai, nemainīgai (*Daniel & Kapoula, 2015*). Protams, lasīšanas spējas var būt samazinātas, ja kāda no iesaistītajām komponentēm, proti, verģence, akomodācija vai abu sadarbība ir nepareiza, apgrūtināta.

## 2. PĒTIJUMA DAĻA

### 2.1. Dalībnieki

Dalībnieku atlasē kritēriji ietvēra būtiskus faktorus, kas ietekmē akomodācijas atbildi, aplūkojot tuvumā esošu objektu. Galvenais un primārais atlasē kritērijs ir dalībnieka vecums. Konkrētajā eksperimentā piedalījās (skat. 2.1. att.) personas vecumā no 20 līdz 30 gadiem, vidējais vecums grupā: 23 gadi  $\pm$  3 gadi. Dzimumam, kā arī procentuālajam sadalījumam starp sievietēm un vīriešiem, kuri piedalās pētījumā nebija nozīme, jo tie neietekmē akomodācijas atbildi.



2.1. att. Pētījuma dalībnieku diagramma, kas parāda sākotnējo dalībnieku skaitu, kā arī pētījumā analizēto dalībnieku skaitu.

Vēl viens būtisks atlasē kritērijs bija redzes refraktīvo defektu lielums. Ņemot vērā to, ka eksperimenta rezultāti tiek iegūti ar iekārtu, kuras uzbūvē tiek iekļauta spoguļu sistēma, jebkura papildus atstarojošā virsma var ietekmēt iegūtos rezultātus. Tieši šī iemesla dēļ dalībnieks eksperimentu veica bez korekcijas. Vislabākajā gadījumā dalībniekam būtu jābūt ar emetropiju un redzes asumu abās acīs gan tuvumā, gan tālumā bez korekcijas 0,8 (decimālās vienībās) vai labāku. Gan tuvumā, gan tālumā redzes asumu noteica gaišā telpā. Tuvumā (0,40 m) tika izmantota tuvuma redzes pārbaūžu tabula, savukārt tāluma (3 m) redzes asums tika noteikts ar “FrACT” programmu. Mērījumi tika sākumā veikti ar labo aci, tad ar kreiso aci un binokulāri, kā arī atkārtoti 3 reizes un no tiem aprēķināta vidējā vērtība jeb vērā

nemamais redzes asums. Redzes asuma kritēriji neizslēdz iespējamību piedalīties dalībniekam arī ar nelieliem refraktīviem traucējumiem, tas ir,  $\pm 0,50$  D.

Papildus tika novērtēts redzes raksturs un stereoredze. Redzes raksturu tālumā noteica ar Vorsa testu. Redzes raksturu un stereoredzi tuvumā pārbaudīja ar Titmus testu bez korekcijas. Pētījumā piedalījās tikai tie dalībnieki, kuriem bija binokulāra redze gan tālumā, gan tuvumā, kā arī stereoredze tuvumā. Katram dalībniekam tika noteikta vadošā acs tālumā un tuvumā, izmantojot Dolmana testu. Pētījumā tika iekļauti tikai tie dalībnieki, kuriem gan tālumā, gan tuvumā bija viena un tā pati vadošā acs.

Katrs dalībnieks labprātīgi ir iepazinies un parakstījis Latvijas Universitātes Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta Zinātniskās izpētes ētikas komisijas anketu, piekrītot piedalīties pētījumā.

## 2.2. Iekārta

Akomodācijas mērījumi tika veikti ar PowerRef-3 ierīci, ar kuras palīdzību iespējams veikt binokulārus, dinamiskus refrakcijas (un akomodācijas) mērījumus dažādos attālumos, papildus sniedzot informāciju par zīlītes izmaiņām skotopiskos, mezopiskos un fotopiskos apstākļos. Mērījumi tiek veikti infrasarkanajā gaismā. Iekārtas uzbūvē tiek izmantota spoguļu sistēma, kas nodrošina infrasarkanu staru nonākšanu acīs, kā arī no acs tīklenes atstarotās gaismas nonākšanu atpakaļ iekārtas detektoros. Iekārta darbojas uz fotorefrakcijas principa un analizē acs zīlītes spožumu, lai atrastu acs refrakciju. Iekārtas specifikācija:

- acs refrakcijas izmērāmais diapazons:  $+5,00/-7,00$  D, solis  $0,01$  D
- zīlītes izmēra izmērāmais diapazons:  $4,0 - 8,0$  mm, solis  $0,1$  mm  $\pm 10$  %
- 1 mērījuma laiks:  $0,02$  s
- mērīšanas attālums:  $1$  m
- mērīšanas princips: binokulāri, dinamiskā fotorefrakcijas metode
- izšķirtspēja:  $1024 \times 769$  pikseļi

## 2.3. Stimuli

Stimuli tika veidoti Microsoft PowerPoint programmā, kur katra stimula izveide tika pielāgota izmantotajam monitoram. Tāpat katras krāsas fonam tika mainīti trīs kanāli, pielāgojot pēc nepieciešamības. Pētījumā tika izmantots LCD monitors "SAMSUNG S24C650", kura izmērs bija  $52 \times 32,5$  cm un izšķirtspēja bija  $19200 \times 1200$  pikseļi. Visiem dalībniekiem tika nodrošināti vienādi monitora iestatījumi: kontrasts  $50$  % un spožums  $100$  %. Stimula izveidei bija vairāki posmi.

Pirmajā posmā tika nokalibrēts ekrāna spožums atbilstoši monitora RGB kanālu vērtībām. Kā zināms, tad krāsas sastāv no RGB vērtībām, kuras mainās diapazonā no 0 līdz 255 pikseļi. Melna krāsa sastāv no trīs RGB kanāliem, kuru vērtība ir 0 pikseļi. Savukārt baltā krāsa ir iegūstama, ja visiem trim RGB kanāliem ir maksimālā vērtība, proti, 255 pikseļi. Lai izveidotu gamma funkciju, kas nepieciešama precīzai stimula kontrasta izveidei, tika izmantota ekrāna spožuma mērīšanas ierīce – hromametr (cd/m<sup>2</sup>). Tika izveidoti dažādi fona attēli ar atšķirīgu spožumu (no balta uz melnu). Svarīgi ir ievērot vienādus apstākļus, mērot katru no iepriekš izveidotajiem foniem. Mērījumi tika veikti tumsas apstākļos (monitora spožums – maksimālais, 100 %), nodrošinot, ka mērierīces objektīvā nonāk gaisma tikai no monitora. Visos mērījumos hromametr atrodas 1 m attālumā no monitora un ir nofiksēts uz statīva, lai nenotiktu papildus kustības, fokusējot ierīci ekrāna centrā.

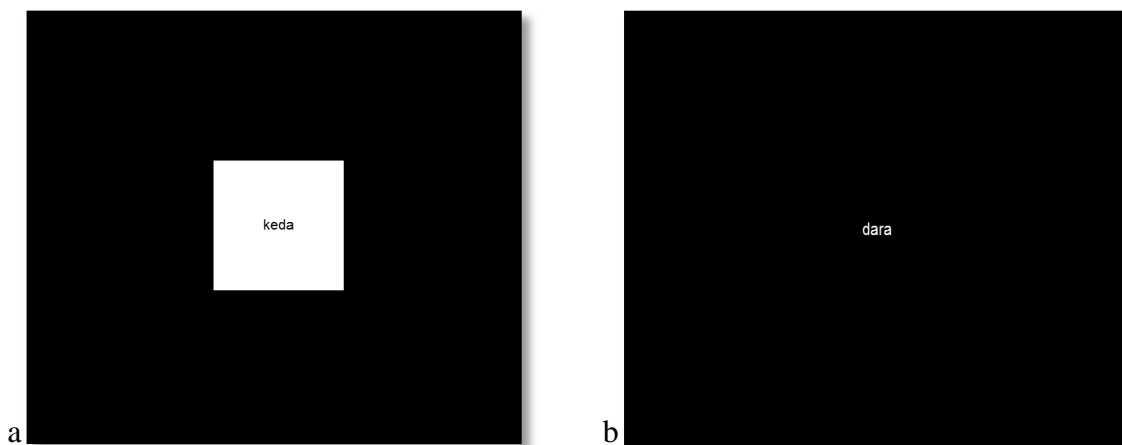
Otrais stimula izveides posms bija vārdu veidošana, ņemot vērā burtu līdzīgumu gan pēc lieluma un izmēra, gan pēc telpiskajām frekvencēm (*Parish & Sperling, 1991*). Tika izveidoti vienkārši vārdi (ar noteiktu nozīmi), kas satur 3-5 latviešu burtus, lai neradītu papildus sakādiskas acu kustības, kas varētu izmainīt akomodācijas atbildes lielumu, kā arī ietekmēt mērījuma precizitāti (veicot mērījumus ar PowerRef-3 iekārtu). Visu stimulu pamata parametri, neņemot vērā kontrastu, ir vienādi – fonts *Arial*, izmērs 16 pt. Izmantotais stimuluss ir 33 latviešu valodas vārdi, kuru viena burta vertikālais un horizontālais izmērs bija 3 mm, kas atbilst 0,29 grādiem 60 cm attālumā (atbilst redzes asumam 0,3 decimālajās vienībās). Atstarpe starp burtiem bija aptuveni 1 mm, kas atbilst 0,1 grādam. Vārdu izmērs bija no 1,07 grādiem līdz 1,85 grādiem atkarībā no burtu skaita vārdā. Visi stimuli ekrānā bija centrēti, ekrāna centra pikseļu koordinātes: 960 x 600 pikseļi.

Trešajā posmā tika izveidota programma stimulu rādīšanai. Programmu izveidoja Vsevolods Liakhovetckis (*Vsevolod Lyakhovetskii, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*). Programmā tiek iekļauta trigeru sistēma, kas paredzēta akomodācijas datu analīzei un norāda katra stimula sākumu un beigas, kā arī stimulu rādīšanas secību.

### **2.3.1. Eksperimenta 1. daļas stimuli**

Balsoties uz teorētisko pamatojumu (*Majaj et al., 2002; Hall et al., 2015*), kontrastu izveidei tika izmantots Vēbera kontrasts, jo tas ir labāk pielietojams, ja fona izmērs ir lielāks par stimula izmēru. Eksperimenta pirmo daļu veidoja stimuli ar Vēbera kontrastam atbilstošu pretēju kontrastu. Šī daļa sastāv no diviem blokiem: 1. bloks ietver 10 melnus vārdus (RGB vērtības ir 0, 0, 0) uz balta (negatīvs Vēbera kontrasts) fona, kura RGB vērtības ir 255, 255, 255 (skat. 2.2.a att.), turpmāk apzīmēts kā K1. Vēbera kontrasta vērtība K1 gadījumā ir -1. Šī

bloka fona izmērs ir samazināts (5 x 5 cm), jo baltā krāsa intensīvā spožumā var papildus ietekmēt zīlītes izmēru un akomodācijas atbildes mērījumus. 2. bloks ietver 10 baltus vārdus (RGB vērtības ir 255, 255, 255) uz melna fona (pozitīvs kontrasts), kura RGB vērtības ir 0, 0, 0 (skat. 2.2.b att.), turpmāk apzīmēts kā K2. Vēbera kontrasta vērtība K2 gadījumā ir 1043.



**2.2. att.** Eksperimenta 1. daļas stimulu piemēri: a) melni burti uz balta fona (K1); b) balti burti uz melna fona (K2).

Gan K1, gan K2 gadījumā visi stimuli tika izveidoti .jpg formātā. Katrs stimuluss tika rādīts 750 ms. Eksperimenta sākumā, kā arī starp katra kontrasta blokiem un eksperimenta beigās papildus tika rādīts vēl viens stimuluss – fiksācijas krusts. Krusts bija melns ar izmēru 7 x 7 mm un tāpat kā citu stimulu gadījumā atrodas uz balta, samazināta (5 x 5 cm) fona un bija centrēts ekrāna vidū. Fiksācijas krusta rādīšanas laiks bija 1500 ms, kura laikā dalībnieks varēja brīvi mirkšķināt (šie rezultāti netika izmantoti tālākai datu analīzei).

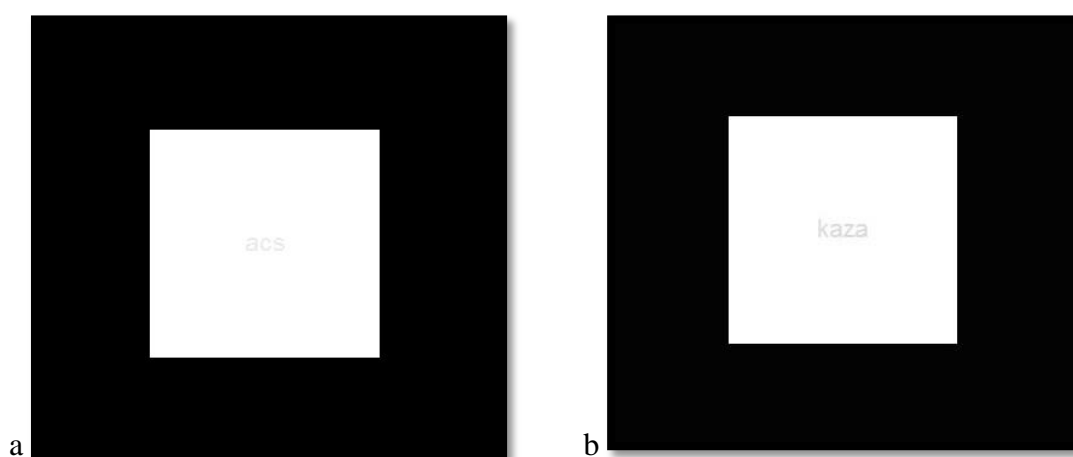
### **2.3.2. Eksperimenta 2. daļas stimuli**

Eksperimenta otro daļu veidoja stimuli ar negatīvu Vēbera kontrastu, kas pakāpeniski samazinājās. Tika izmantoti 6 atšķirīgi kontrasti, kuru izveidē tika ņemtas vērā iepriekš iegūtās gamma funkcijas vērtības (skat. 2.1. tab.). Vārdu spožums tika samazināts, nemainot fona spožumu un krāsu (RGB vērtības: 255, 255, 255), lai iegūtu dažāda kontrasta stimulus (skat. 2.3. att.). Tāpat kā eksperimenta 1. daļā arī 2. daļā fons bija samazināta izmēra, lai mazinātu tīklenes apgaismojumu, kā arī tā ietekmi uz zīlīti un akomodācijas atbildes mērījumiem.

## 2.1. tabula

Eksperimenta 2. daļā izmantoto stimulu parametri RGB vērtībās, kā arī atbilstošās Vēbera kontrasta vērtībās

Stimulu apzīmējums	RGB vērtības	Vēbera kontrasts
K_-0,16	240,240,240	-0,16
K_-0,31	220,220,220	-0,31
K_-0,44	200,200,200	-0,44
K_-0,61	170,170,170	-0,61
K_-0,86	110,110,110	-0,86
K_-0,98	50,50,50	-0,98



2.3. att. Eksperimenta 2. daļas stimulu piemēri: a) Vēbera kontrasts -0,16; b) Vēbera kontrasts -0,31.

Tāpat kā 1. eksperimenta daļas gadījumā arī 2. daļā stimuli tika izveidoti .jpg formātā. Katrs stimulš tika rādīts 750 ms. Eksperimenta sākumā, kā arī starp visiem sešiem negatīva kontrasta blokiem un eksperimenta beigās papildus tika rādīts fiksācijas krusts. Fiksācijas krusta apraksts tāds pats kā eksperimenta 1. daļā.

## 2.4. Darba gaita

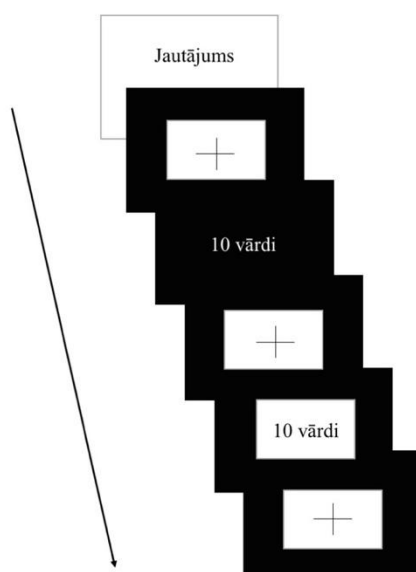
Eksperiments notika mezopiskos apstākļos (~ 1 lx), līdz ar to bija nepieciešama dalībnieka adaptācija, kas ilga aptuveni 5 – 7 minūtes. Šis laiks bija pietiekošs, lai dalībniekam izstāstītu eksperimenta uzdevumu un pētāmās problēmas aktualitāti, kā arī instruētu par pareizu eksperimenta veikšanu.

Mērījumi tika veikti 60 cm attālumā. Dalībnieka galvas kustību ierobežošanai un konstanta attāluma līdz monitoram saglabāšanai tika izmantots zoda un pieres balsts. Eksperimenta katra daļa tika atkārtota 3 secīgas reizes.

Uzdevums, kas tika pateikts dalībniekam, abās eksperimenta daļās bija vienāds: saskaitīt vārdu („Jautājums”, skat. 2.4. att.), kas parādās uz ekrāna pirms eksperimenta fiksācijas krusta. “Jautājums” (jeb vārds, kura parādīšanas biežumu bija jānosaka) katrā no mēģinājumiem varēja būt mainīts, jo tā mērķis bija mudināt dalībnieku noturēt uzmanību un līdz ar to arī akomodāciju uz eksperimenta stimuliem. Atbildi uz uzdoto jautājumu katrā mēģinājuma beigās dalībnieks sniedza mutiski.

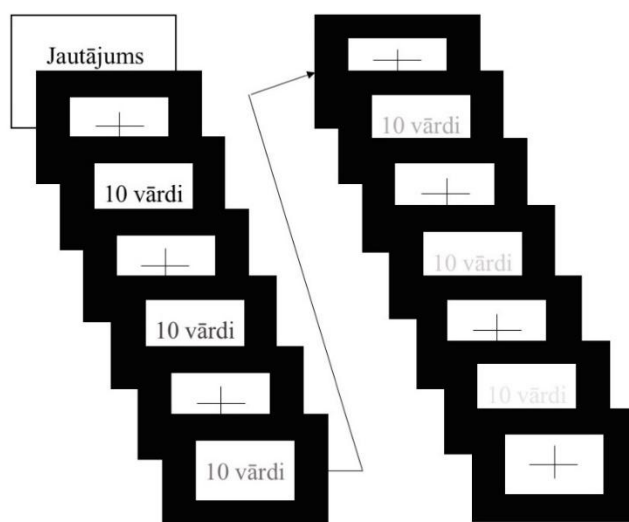
Kontrastu bloki abās eksperimenta daļās viena mērījuma ietvaros varēja mainīties vietām, proti, pēc nejaušības principa. Vārdi varēja gan atkārtoties, gan neatkārtoties viena mērījuma ietvaros, tomēr tie netika jaukti starp kontrastu blokiem, tas nozīmē, ka abās daļās katru kontrastu bloku veidoja 10 vārdi ar vienādu kontrastu. Starp abām eksperimenta daļām bija pauze, kas ilga aptuveni 2 minūtes, lai ļautu dalībniekam atpūsties un nepārpūlētu redzes sistēmu.

Eksperimenta 1. daļa (skat. 2.4. att.) tika uzsākta tiklīdz bija notikusi adaptācija un dalībniekam bija skaidrs dotais uzdevums. Šīs daļas katrā mērījuma ilgums bija ~30 sekundes. Kopējais šīs daļas ilgums bija ne vairāk kā 2 minūtes.



**2.4. att.** Eksperimenta 1. daļas shēma. Sākumā uz ekrāna parādījās jautājums jeb uzdevums (2000 ms), tad sekoja fiksācijas krusts (1500 ms), pirmā kontrasta vārdi (katrs vārds 750 ms), atkal fiksācijas krusts, otrā kontrasta vārdi (katrs vārds 750 ms) un fiksācijas krusts beigās (1500 ms).

Pēc pauzes sekoja eksperimenta 2. daļa (skat. 2.5. att.). Arī 2. daļa tika sākta tiklīdz dalībnieks bija sapratis doto uzdevumu. 2. daļa salīdzinot ar 1. daļu bija 3 reizes garāka, jo vienā mērījumā tika rādīti vārdi ar 6 dažādiem negatīviem Vēbera kontrastiem. Katrā mērījuma ilgums bija ~ 1,5 – 2 minūtes. Kopējais šīs daļas ilgums bija 6 minūtes.



**2.5. att.** Eksperimenta 2. daļas shēma. Sākumā uz ekrāna parādījās jautājums jeb uzdevums (2000 ms), tad sekoja fiksācijas krusts (1500 ms). Kā nākamie parādījās pēc nejaušības principa izvēlēti pirmā kontrasta vārdi (katrs vārds 750 ms), kuriem beidzoties atkal parādījās fiksācijas krusts. Dažādu kontrastu bloki tika demonstrēti, kamēr dalībniekam tika nodemonstrēti visi kontrastu bloki.

Eksperimenta 2. daļas beigās atkal parādījās fiksācijas krusts (1500 ms).

Papildus tika nomērīta katra dalībnieka refrakcija tālumā (mezopiskos apstākļos, bet ar papildus gaismas elementu novirzītu uz fiksācijas objektu). Katru mērījumu veica 10 sekundes un atkārtoja trīs reizes. No iegūtajiem datiem aprēķināja vidējo vērtību, kas norādīja uz dalībnieka refrakciju tālumā.

## 2.5. Datu analīze

Abām eksperimenta daļām tika analizēti katra dalībnieka vadošās acs iegūtie dati par refrakciju tālumā, refrakciju tuvumā, kā arī zīlītes izmaiņas. Akomodācijas atbilde tika aprēķināta kā starpība starp refrakciju tālumā un tuvumā (iegūstot negatīvu lielumu, lielāka negatīvā vērtība norāda uz lielāku akomodācijas atbildi).

Analizēti tika tikai refrakcijas mērījumi vārdu fiksēšanas laikā (netika analizēti refrakcijas mērījumi krusta fiksācijas laikā). Lai arī katrs vārds tika rādīts 750 ms, analizēti tika dati 600 ms intervālā, neņemot vērā pirmās 100 ms un pēdējās 50 ms vārda demonstrēšanas laikā, lai izslēgtu jebkādas refrakcijas izmaiņas stimulu nomaiņas brīdī.

No tālākās analīzes tika izslēgti nepilnīgi dati, kas tika iegūti, piemēram, dalībniekam mirkšķinot, jo iekārta nesniedz informāciju, ja acu plaksti ir aizvērti. Dalībnieka iegūtie dati tika iekļauti pētījumā, ja bija iegūti vismaz 3 derīgi dati katrai no eksperimenta daļām un katram kontrasta blokam. No derīgajiem viena mērījuma datiem tika aprēķināta vidējā

vērtība. Savukārt no trīs atkārtotiem viena eksperimenta mērījumiem arī tika izrēķināta vidējā vērtība.

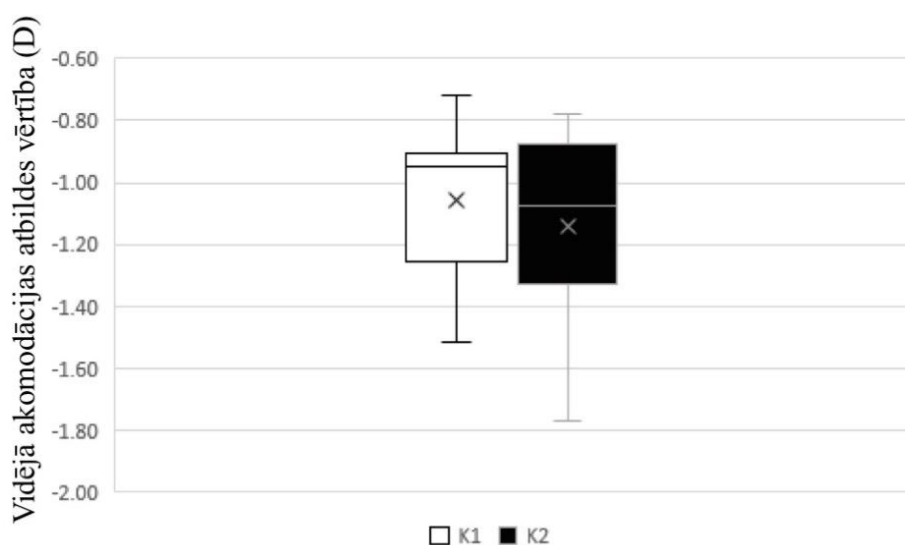
Datu statistiskai analīzei tika izmantota SPSS programma un sekojoši statistikas rīki: aprakstošā statistika, Šapiro-Vilksa tests (*Shapiro-Wilks test*, datu normālā sadalījuma novērtēšanas tests) pāra t-tests (eksperimenta 1. daļā) un viena faktora ANOVA tests korelētiem mērījumiem (eksperimenta 2. daļā).

## 2.6. Rezultāti un to analīze

### 2.6.1. Akomodācijas atbildes un zīlītes izmaiņas, mainoties kontrasta polaritātei

60 cm attālumā sagaidāmā maksimālā akomodācijas atbilde normāli ir -1,67 D abu kontrastu gadījumā. 6 no 10 dalībniekiem balta fona un melnu burtu (K1) gadījumā akomodācijas atbilde ir zem 1,00 D, turpretī melna fona un baltu burtu stimulu (K2) gadījumā tikai 4 dalībniekiem novēro akomodācijas atbildi zem 1,00 D. Lielāka akomodācijas atpalikšana (mazāka akomodācijas atbilde nekā akomodācijas pieprasījums) skaidrojama ar pietiekami lielo burtu izmēru, kas neprasa maksimālu akomodācijas apjomu.

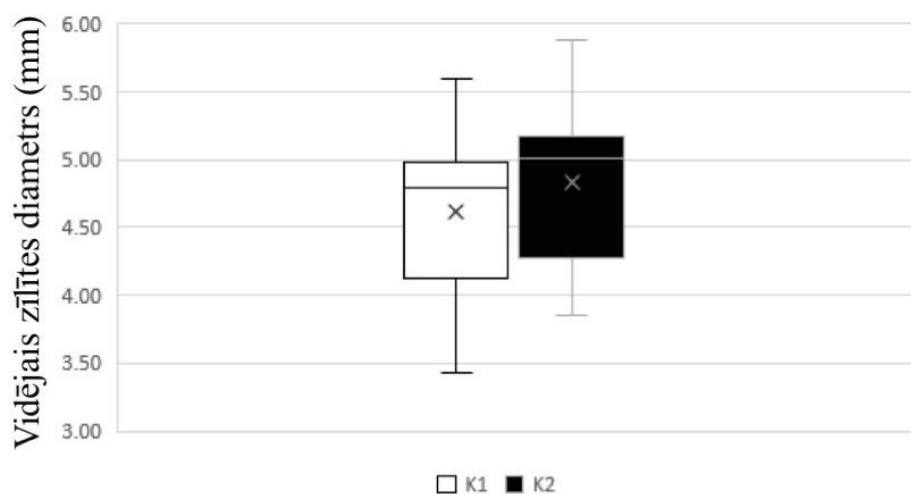
Apstrādājot iegūtos datus visiem 10 dalībniekiem par eksperimenta 1. daļas 3 mēģinājumiem, novērojama vienāda tendence 9 dalībniekiem – akomodācijas atbilde nedaudz palielinās K2 gadījumā, salīdzinot ar K1. K1 gadījumā 10 dalībnieku grupā vidējā vērtība (M) = -1,06 D, standartnovirze (SD) = 0,25 D. K2 gadījumā M = -1,14 D, SD = 0,32 D (skat. 2.6. att.). Šī izmaiņa dalībnieku grupas vērtējumā ir neliela (0,09 D).



2.6. att. Akomodācijas atbildes atkarība no kontrasta polaritātes. K1 – melni burti uz balta fona, K2 – balti burti uz melna fona.

Tā kā Šapiro-Vilksa testa analīze parādīja, ka iegūtie akomodācijas dati atbilst normālam sadalījumam abu kontrastu gadījumā ( $p > 0,05$ ), tad, veicot pāra t-testu, iegūst, ka katra dalībnieka individuālās akomodācijas atbildes izmaiņas, mainoties kontrastam, ir statistiski nozīmīgas (vienpusējā  $p = 0,008$ ).

Zīlītes izmaiņas tāpat kā akomodācijas atbildes izmaiņas 9 dalībniekiem K2 gadījumā palielinās, 1 dalībniekam zīlītes diametrs samazinās par 0,7 mm. K1 gadījumā 10 dalībnieku grupas vidējā vērtība ( $M$ ) = 4,6 mm,  $SD = 0,6$  mm. K2 gadījumā  $M = 4,8$  mm,  $SD = 0,6$  mm (skat. 2.7. att.). Šī izmaiņa dalībnieku grupas vērtējumā ir neliela (0,4 mm).



**2.7. att.** Acs zīlītes atkarība no kontrasta polaritātes. K1 – melni burti uz balta fona, K2 – balti burti uz melna fona.

Bet, analizējot katra dalībnieka izmaiņas ar pāra t-testu (jo iegūtie zīlītes dati atbilst normālam sadalījumam, Šapiro-Vilksa tests,  $p > 0,05$ ), iegūst, ka šīs izmaiņas ir statistiski nozīmīgas (vienpusējā  $p = 0,04$ ).

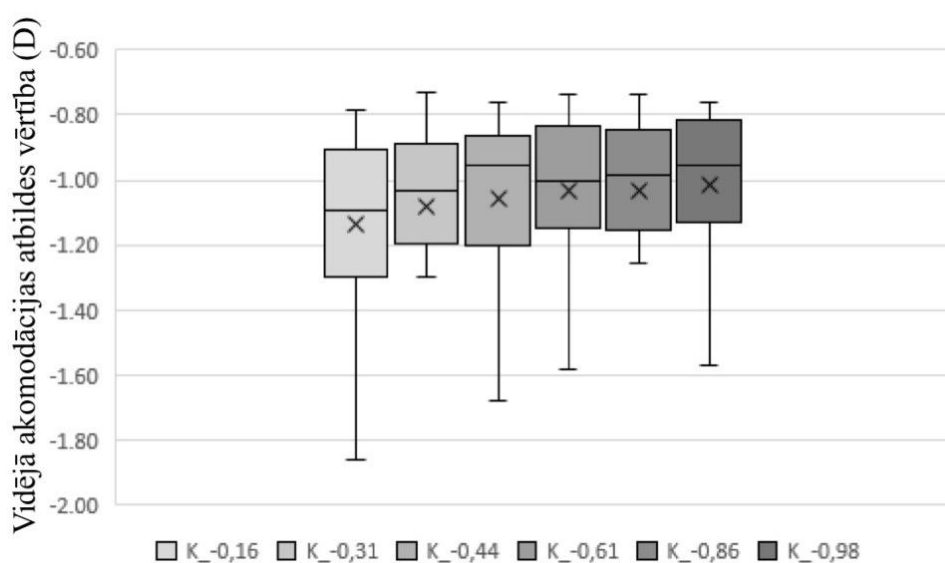
Iegūtie rezultāti parāda, ka, mainoties Vēbera kontrasta polaritātei no negatīva (K1) uz pozitīvu (K2), akomodācijas atbildei un zīlītes izmēram ir tendence palielināties. To varētu skaidrot sekojoši: pozitīva kontrasta (K2) gadījumā, akomodācijas pieprasījums ir lielāks, līdz ar to arī akomodācijas atbildes lielums pieaug. *Ward & Charman* (1985) min, ka akomodācijas atbildes pieauguma gadījumā, zīlītes diametrs palielinās.

### 2.6.2. Akomodācijas atbildes un zīlītes izmaiņas, mainoties negatīva Vēbera kontrasta pakāpei

Tāpat kā 1. eksperimenta daļā, arī 2. sagaidāmā akomodācijas atbilde normāli ir -1,67 D, 60 cm attālumā, neņemot vērā negatīvā kontrasta pakāpes izmaiņas. Apskatot katru kontrastu grupu atsevišķi redzams, ka -0,16 kontrasta gadījumā 4 no 10 dalībniekiem akomodācijas

atbildes vidējā vērtība ir zem 1,00 D, savukārt -0,31 kontrasta gadījumā: 5 no 10 dalībniekiem. Lai varētu objektīvi analizēt iegūtos datus par visām 6 kontrastu grupām, sākotnēji tika pārbaudīts datu normāls sadalījums katrā kontrastu grupā atsevišķi ar Šapiro-Vilksa testu. Analīze parādīja, ka dati ir normāli sadalīti katrā no kontrastu grupām.

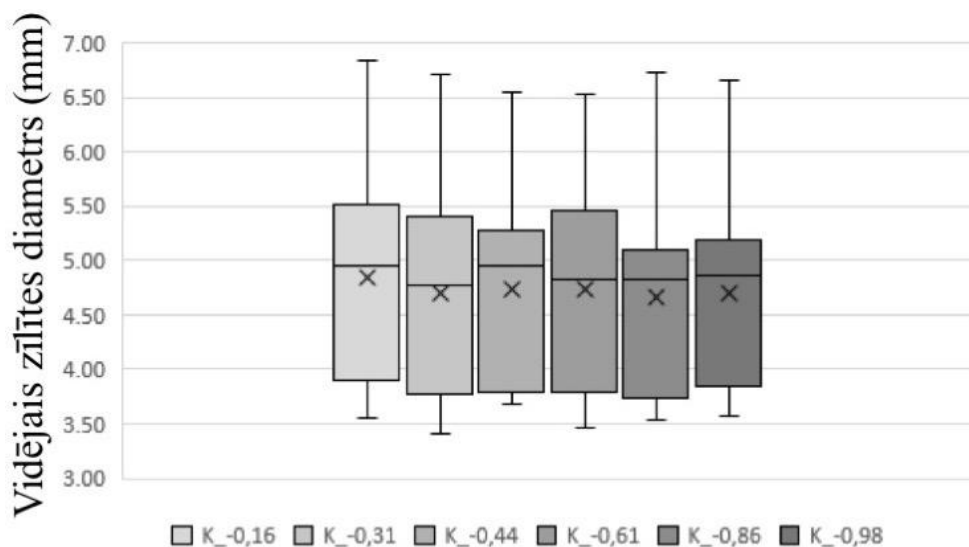
Iegūstos, ka dati ir normāli sadalīti, tālākai datu analīzei tika izmantota parametrisku datu apstrādes metode. Veicot viena faktora ANOVA testu korelētiem (atkārtotiem) mērījumiem, rezultāti uzrāda statistiski nozīmīgu kontrasta ietekmi uz akomodācijas atbildi ( $F(1,97) = 11,8$ ;  $p = 0,001$ ) (skat. 2.8. att.). F vērtība tika koriģēta atbilstoši Gīzera-Grīnhausa korekcijai, jo Moklija tests (*Mauchly sphericity test*, novērtē datu sfēriskumu katrā no kontrastu grupām) parādīja, ka sfericitāte ir pārkāpta ( $\chi^2 = 25,7$ ;  $p = 0,036$ ;  $\epsilon = 0,39$ ).



**2.8.att.** Akomodācijas atbildes atkarība no negatīva kontrasta pakāpes.

Aplūkojot 2.8. attēlu, redzams, ka, Vēbera kontrastam samazinoties, akomodācijas atbildei ir tendence palielināties. Vislielākās izmaiņas ir novērojamas vismazākā (-0,16 kontrasta gadījumā). Sākotnēji augsta kontrasta gadījumā (līdz apmēram -0,61), akomodācijas atbilde vizuāli grupas ietvaros pat būtiski nemainās. Lai smalkāk izpētītu radušās akomodācijas atbildes izmaiņas, turpmāk grupa ar sešiem kontrastiem tika sadalīta divās attiecīgās kontrastu grupās: zemu kontrastu (-0,16; -0,31; -0,44) un augstu kontrastu (-0,61; -0,86; -0,98). Apstrādājot iegūtos datus jaunizveidotajās kontrastu grupās ar viena faktora ANOVA testu korelētiem (atkārtotiem) mērījumiem, novērojama statistiski nozīmīga akomodācijas atbildes izmaiņa tikai zemu kontrastu gadījumā ( $F(2) = 11,3$ ;  $p = 0,001$ ; F vērtības korekcija nav nepieciešama, jo sfericitāte nav pārkāpta ( $\chi^2 = 5,2$ ;  $p = 0,07$ ;  $\epsilon = 0,68$ ). Augstu kontrastu grupas gadījumā statistiski nozīmīga atšķirība akomodācijas atbildē netiek novērota ( $F(2) = 1,92$ ;  $p = 0,18$ ; sfericitāte nav pārkāpta:  $\chi^2 = 0,4$ ;  $p = 0,81$ ;  $\epsilon = 0,95$ ).

Zīlītei nenovēro izteiktu izmēra izmaiņu, samazinoties kontrastam. Zīlītes vidējais izmērs visiem 10 dalībniekiem -0,16 kontrasta gadījumā ir 4,8 mm, savukārt kontrasta -0,98 gadījumā 4,7 mm, kas parāda, ka zīlītes izmaiņas ir, tomēr ne ļoti būtiskas. Analizējot iegūtos datus par visu dalībnieku vidējām zīlītes izmaiņām vadošajai acij ar viena faktora ANOVA testa korelētiem (atkārtotiem) mērījumiem, rezultāti parāda, ka statistiski nozīmīgas zīlītes izmaiņas nenovēro atkarībā no negatīva kontrasta pakāpes ( $F(5) = 2,37$ ;  $p = 0,054$ ; sfericitāte nav pārkāpta:  $\chi^2 = 21,2$ ;  $p = 0,1$ ;  $\epsilon = 0,5$ ) (skat. 2.9. att.).



2.9.att. Vadošās acs zīlītes izmērs atkarībā no negatīva Vēbera kontrasta pakāpes.

Lai objektīvi varētu izdarīt secinājumus par akomodācijas atbildes izmaiņām saistībā ar zīlītes izmaiņām, arī zīlītes iegūtie dati par visām 6 kontrastu grupām, tika sadalīti divās grupās: zemu kontrastu (-0,16; -0,31; -0,44) un augstu kontrastu (-0,61; -0,86; -0,98). Apstrādājot iegūtos datus zemu kontrastu grupā, zīlītes diametra izmaiņas nav statistiski nozīmīgas ( $F(1,29) = 2,95$ ;  $p = 0,11$ ; sfericitāte ir pārkāpta:  $\chi^2 = 6,4$ ;  $p = 0,041$ ;  $\epsilon = 0,65$ ). Augstu kontrastu grupā zīlītes iegūtās vērtības nav statistiski nozīmīgas ( $F(1,26) = 1,06$ ;  $p = 0,34$ ; sfericitāte ir pārkāpta:  $\chi^2 = 7,09$ ;  $p = 0,029$ ;  $\epsilon = 0,63$ ).

Apkopojot un salīdzinot rezultātus sadalītajās kontrastu grupās, var apgalvot, ka akomodācijas atbildes ietekme atkarībā no kontrasta novērojama tikai pie zemām Vēbera kontrasta vērtībām. Līdzīgā pētījumā (Ward, 1987a) tika novērota tendence, ka akomodācijas atbilde ir lielāka pie zemākām kontrasta vērtībām (eksperimentā tika izmantotas tikai pozitīvas vērtības), salīdzinot ar augstākām vērtībām, tomēr izmaiņas starp visiem kontrastiem ir mazas. Zīlītes izmaiņas nav statistiski nozīmīgas samazinoties kontrastam un palielinoties akomodācijas atbildei.

## SECINĀJUMI

1. Akomodācijas atbilde, apskatot baltus burtus uz melna fona (pozitīvs kontrasts), palielinās, salīdzinot ar gadījumu, ja tiek apskatīti melni burti uz balta fona (negatīvs kontrasts).
2. Zīlītes izmērs, apskatot baltus burtus uz melna fona (pozitīvs kontrasts), palielinās, salīdzinot ar gadījumu, ja tiek apskatīti melni burti uz balta fona (negatīvs kontrasts).
3. Akomodācijas atbilde tiek statistiski nozīmīgi ietekmēta – tā palielinās – tikai zemu kontrastu gadījumā (-0,44 Vēbera kontrasts un zemāk).
4. Zīlītes diametra izmaiņas nav statistiski nozīmīgas, mainoties negatīva Vēbera kontrasta pakāpei.

## **NOBEIGUMS**

Bakalaura darbā tiek pierādīts, ka pētot akomodācijas atbildi, izmantojot stimulus ar pretējām kontrasta polaritātēm, akomodācijas atbilde ir nedaudz lielāka, aplūkojot baltus burtus uz melna fona (pozitīvs kontrasts). Līdzīgi arī zīlītes izmērs pieaug, akomodācijas atbildei palielinoties. Aplūkojot stimulus ar mainīgu (vienas polaritātes) kontrastu, iegūtie rezultāti parāda, ka akomodācijas atbilde būtiskāk mainās zemu kontrastu gadījumā, savukārt zīlītes izmaiņas netiek novērotas. Tas pilnībā pamato darbā izvirzīto hipotēzi.

Lai uzlabotu pētījuma statistisko nozīmīgumu, ir nepieciešams lielāks dalībnieku skaits, kas ļautu izdarīt pilnīgākus secinājumus. Metodiskās daļas uzlabošanā jāmin smalkāka Vēbera zemu kontrasta vērtību izvēle, lai precīzāk novērotu akomodācijas atbildes izmaiņas un tendences.

## **PATEICĪBA**

Liela pateicību vēlos izteikt bakalaura darba vadītājam, Fizikas un matemātikas fakultātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas docentei Aigai Švedei par ieguldīto laiku, padomiem un pacietību darba tapšanā. Paldies pasniedzējam Gatim Ikauniekam par ieteikumiem metodiskās daļas realizēšanā, kā arī pasniedzējam Varim Karitānam par palīdzību stimulu izveides sagatavošanās posmos.

Liels paldies Vsevolodam Liakhovetckim (*Vsevolod Lyakhovetskiĭ, Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*) par programmas izveidošanu stimula rādīšanai pētījuma metodiskajā daļā.

Pateicos pētījuma dalībniekiem par veltīto laiku un pacietību.

Liels paldies ģimenei un draugiem, par atbalstu, sapratni un palīdzību visa darba tapšanas laikā.

Bakalaura darbs ir izstrādāts Ergonomikas projekta Nr. 2184 ietvaros, pateicoties SIA "Mikrotīkls" ziedojumam, ko administrē Latvijas Universitātes fonds.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Coates, D. R., Chin, J. M., & Chung, S. T. L. (2013). Factors affecting crowded acuity: eccentricity and contrast. *Optometry and Vision Science, 90*(7), 628-638.
- Daniel, F., & Kapoula, Z. (2015). Binocular vision and the Stroop test. *Optometry and Vision Science, 93*(2), 194-208.
- Donders, F. C. (1864). *In the anomalies of accommodation and refraction of the eye: With a preliminary essay on physiological dioptrics* (Vol. XXII). London: The New Sydenham Society.
- Francis, E. L., Jiang, B-C., Owens, D. A., & Tyrrell, R. A. (2003). Accommodation and vergence require effort-to-see. *Optometry and Vision Science, 80*(6), 467-473.
- 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.
- Haigh, S. M., Jaschinski, W., Allen, P. M., & Wilkins, A. J. (2013). Accommodation to uncomfortable patterns. *Perception, 42*(2), 208-222.
- Hall, C., Wang, S., & McAnany, J. J. (2015). Individual letter contrast thresholds: Effect of object frequency and noise. *Optometry and Vision Science, 92*(12), 1125-1132.
- Jones, C. E., Athinson, D. A., & Pope, J. M. (2017). Changes in lens dimensions and refractive index with age and accommodation. *Optometry and Vision Science, 84*(10), 990-995.
- Khan, A., Pope, J. M., Verkicharla, P. K., Sunheimat, 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), 1272-1282.
- Kim, J.-H., Moon, T. H., Chae, J. B., & Hyung, S. (2015). Changes of accommodative power in vitrectomized eyes with crystalline lenses. *Optometry and Vision Science, 92*(12), 1148-1153.
- Kruger, P. B., & Pola, J. (1986). Stimuli for accommodation: blur, chromatic aberration and size. *Vision Research, 26*(6), 957-971.
- Lara, F., Bernal-Molina, P., Fernandez-Sanchez, V. & Lopez-Gil, N. (2014). Changes in the objective amplitude of accommodation with pupil size. *Optometry and Vision Science, 91*(10), 1215-1220.
- Lin, H., & Jiang, B.-C. (2013). Accommodative responses under different stimulus conditions. *Optometry and Vision Science, 90*(12), 1406-1412.

- Lin, H., Drobe, B., Jin, W., Lin, M., Chen, Y., & Chen, H. (2016). Effects of near addition lenses and prisms on accommodative microfluctuations in Chinese children. *Optometry and Vision Science, 93*(5), 488-496.
- Majaj, N. J., Pelli, D. G., Kurshan, P., & Palomares, M. (2002). The role of spatial frequency channels in letter identification. *Vision Research, 42*(9), 1165-1184.
- Mordi, J. A., & Ciuffreda, K. J. (2004). Dynamic aspects of accommodation: age and presbyopia. *Vision Research, 44*(6), 591-601.
- Niwa, K., & Tokoro, T. (1998). Influence of spatial distribution with blur on fluctuations in accommodation. *Optometry and Vision Science, 75*(3), 227-232.
- Orr, J. B., Seidel, D., Day, M., & Gray, L. S. (2015). Is pupil diameter influenced by refractive effort? *Optometry and Vision Science, 92*(7), 834-840.
- Parish, D. H., & Sperling, G. (1991). Object spatial frequencies, retinal spatial frequencies, noise, and the efficiency of letter discrimination. *Vision Research, 31*(7-8), 1399-1415.
- Richdale, K., Bullimore, M. A., Sinnott, L. T., & Zadnik, K. (2015). The effect of age, accommodation, and refractive error on the adult human eye. *Optometry and Vision Science, 93*(1), 3-11.
- Roberts, T. L., Anderson, H. A. & Stuebinger, K. K. (2015). Accommodative gain in relation to perceived target clarity. *Optometry and Vision Science, 92*(11), 1092-1102.
- Shibata, Y., Uozato, U. (2013). Accommodative and pupillary responses for a central target and peripheral stimuli. *Kitasato Med J, 43*, 133-140.
- Toshida, K., Okuyama, F., & Torkoro, T. (1998). Influences of the accommodative stimulus and aging on the accommodative microfluctuations. *Optometry and Vision Science, 75*(3), 221-226.
- Wang, Y., Kruger, P. B., Li, J. S., Lin, P. L., & Stark, L. R. (2011). Accommodation to wavefront vergence and chromatic aberration. *Optometry and Vision Science, 88*(5), 593-600.
- Ward, P. A. (1987a). A review of some factors affecting accommodation. *Clinical & Experimental Optometry, 70*(1), 23-32.
- Ward, P. A. (1987b). The effect of stimulus contrast on the accommodation response. *Ophthalmic & Physiological Optics, 7*(1), 9-15.
- Ward, P. A. & Charman, W. N. (1985). Effect of pupil size on steady state accommodation. *Vision Research, 25* (9), 1317-1326.

Xu, J., Zheng, Z., Drobe, B., Jiang, J. & Chen, H. (2015). The effects of spatial frequency on the accommodation responses of myopes and emmetropes under various detection demands. *Vision Research*, 115, 1-7.

Bakalaura darbs „Akomodācijas darbība dažādu kontrastu apstākļos” izstrādāts LU Fizikas un matemātikas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors:

Laura Berklava

Stud.apl.nr. lb13184

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: Docente, Dr.phys. Aiga Švede

Recenzents: doktorante, MSc. Karola Panke

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā \_\_\_\_\_

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

\_\_\_\_\_. protokola Nr. \_\_\_\_\_

Komisijas sekretārs: \_\_\_\_\_