

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE  
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**ACS ZĪLĪTES DIAMETRA IZMAIŅAS  
MONOKULĀRA UN BINOKULĀRA SKATA POZĪCIJAS  
PIERAKSTA LAIKĀ**

MAGISTRA DARBS

Autors: **Elīna Treija**

Studentu apliecības Nr.: et11017

Darba vadītāja: docente, Dr.phys. Aiga Švede

RĪGA 2017

## ANOTĀCIJA

Maģistra darbs uzrakstīts latviešu valodā uz 43 lapaspusēm un satur 29 attēlus, 3 tabulas un 25 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis ir novērtēt acs zīlītes parametru izmaiņas monokulāra un binokulāra acs skata pozīcijas pieraksta laikā. Acs zīlītes parametri novērtēti ar acu kustību pieraksta iekārtu *iViewX Hi-speed*. Monokulāras skatīšanās laikā viena acs aizklāta ar melnu, baltu vai matētu aizklājēju. Pētījumā piedalījās 8 dalībnieki. Rezultāti parāda, ka zīlītes diametrs ir būtiski lielāks monokulāros apstākļos, pielietojot melnu vai baltu aizklājēju. Zīlītes diametrs binokulāros un monokulāros apstākļos neatšķiras, ja izmantots matēts aizklājējs. Acs zīlītes centra X koordināte saglabājas nemainīga, neatkarīgi no skatīšanās apstākļiem.

**Atslēgvārdi:** acs zīlītes diametrs, acs zīlītes centrs, *iViewX Hi-speed*, aizklājējs.

## **ABSTRACT**

Master thesis is written in Latvian on 43 pages and contains of 29 pictures, 3 tables and 25 references.

The aim of this research is assess the pupil parameter changes in monocular and binocular viewing conditions during eye - tracking. Eye pupil parameters changes were measured with video based *iViewX Hi-speed* eye tracking device. In monocular tracking time we used black, white and transparent occluders. There were 8 participants. The results show that the pupil diameter is higher in monocular conditions using black or white occluders. Pupil diameter in monocular and binocular conditions do not differs using a transparent occluder. Pupil center X coordinate remains stable, regardless of the viewing conditions.

**Key words:** eye pupil diameter, pupil center, *iViewX Hi-speed*, occluders

# SATURS

IEVADS .....	1
1.LITERATŪRAS PĀRSKATS .....	2
1.1. Acs zīlītes darbības fizioloģija .....	2
1.2. Faktori, kas ietekmē acs zīlītes atbildi.....	5
1.3. Acs zīlītes loma skata pozīcijas novērtēšanā.....	6
2.PĒTĪJUMA DAĻA.....	10
2.1. Metode.....	10
2.1.1. Pētījuma dalībnieki.....	10
2.1.2. Acs zīlītes diametra pieraksts .....	10
2.1.3. Pētījumā izmantoto stimulu izveide un demonstrēšana.....	11
2.1.4. Pētījuma metode .....	14
2.1.5. Datu iegūšana un rezultātu apstrāde .....	17
2.2. Rezultāti.....	19
2.2.1. Acs zīlītes diametra izmaiņas pielietojot melnu aizklājēju .....	19
2.2.2. Acs zīlītes diametra izmaiņas pielietojot baltu aizklājēju .....	21
2.2.3. Acs zīlītes diametra izmaiņas pielietojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju .....	23
2.2.4. Acs zīlītes diametra izmaiņas dažādās skata pozīcijās .....	25
2.2.5. Acs zīlītes centra koordināšu salīdzinājums.....	27
2.2.6. Mērījumu atkārtamība .....	29
2.3. Diskusija.....	31
SECINĀJUMI .....	34
NOBEIGUMS .....	35
PATEICĪBAS .....	36

## IEVADS

Mūsdienās ir pieejamas dažādas metodes, lai noteiktu acs zīlītes izmēru un tā izmaiņas konkrēta stimula aplūkošanas laikā. Viena no plašāk lietotajām metodēm ir pupilogrāfija – acs zīlītes diametra izmaiņas pieraksts, kas tiek veikts ar pupilogrāfa palīdzību. Mūsdienās pupilogrāfi veic zīlītes diametra izmaiņu pierakstu ar infrasarkanās gaismas un video kameras palīdzību. Iegūtie video attēli tiek digitalizēti un attēlu apstrādes programma katrā kadrā atrod acs zīlīti un aprēķina tās diametru. Acs pozīcija tiek izvērtēta, nosakot video attēlā acs zīlītes izmēru un, piemērojot atbilstošus matemātiskos aprēķinus, atrodot zīlītes centra koordinātes.

Daudzi no pētījumiem ir pierādījuši, ka apgaismojums tieši ietekmē acs zīlītes diametra izmaiņas. Pētot dažādas fiksācijas atšķirības, acu kustību pierakstu var veikt monokulāros vai binokulāros apstākļos. Vienas acs aizklāšana var samazināt tīklenes apgaismojumu un radīt acs zīlītes diametra izmaiņas. Jaunākie pētījumi liecina, ka binokulāros apstākļos acs zīlītes diametrs ir mazāks, jo, iesaistoties akomodācijai un konverģencei, notiek acs zīlītes sašaurināšanās, aplūkojot fiksācijas mērķi, kas atrodas tuvumā. Mainīgais acs zīlītes diametrs var ietekmēt zīlītes centra koordinātes aprēķinu. Wyatt (2010) skaidro, ka tas var būtiski ietekmēt skata virziena pozīcijas novērtējumu un mērījuma precizitāti. Novirzes lielums var būt pat līdz vairākiem grādiem un izmaiņas acs zīlītes diametrā par 0,1 vai 0,2 mm atbilst 1 vai 2 grādu skata pozīcijas fiksācijas noteikšanai.

**Darba mērķis:** Novērtēt acs zīlītes parametru izmaiņas monokulāra un binokulāra acs skata pozīcijas pieraksta laikā.

### **Darba uzdevumi:**

1. Izanalizēt acs zīlītes diametra izmaiņas monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā, pielietojot melnu aizklājēju;
2. Izanalizēt acs zīlītes diametra izmaiņas monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā, pielietojot baltu aizklājēju;
3. Izanalizēt acs zīlītes diametra izmaiņas monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā, pielietojot matētu aizklājēju;
4. Izanalizēt acs zīlītes diametra izmaiņu ietekmi uz zīlītes centra X koordinātes aprēķinu.

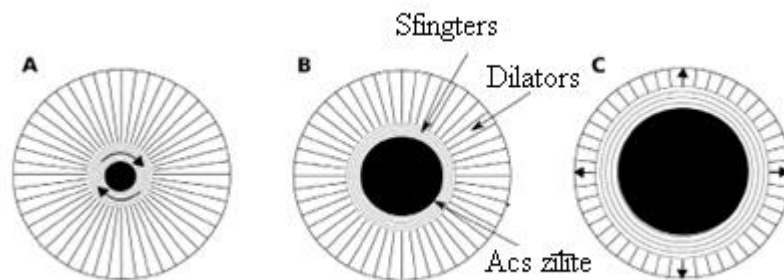
# 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

## 1.1. Acs zīlītes darbības fizioloģija

Acs zīlīte ir atvēruma, kas atrodas varavīksnē centrā un ļauj gaismai nonākt uz tīklenes. Tās izmērs var strauji palielināties vai samazināties konkrētā laika brīdī, un tās lielums var mainīties atkarībā no gaismas daudzuma, vidēji no 1,5 mm līdz 8 mm. Tā reaģē uz gaismu, konverģences un akomodācijas izraisītu atbildi. Normālos apstākļos tās izmēram ir jābūt vienādam un vienādi jāreaģē uz esošo gaismas daudzumu (*Gamlin & McDougal, 2015*).

Acs zīlītes reakcija uz gaismu ir refleksi, kas kontrolē acs zīlītes diametru, atkarībā no dažādas gaismas intensitātes, kas krīt uz tīklenes šūnām. Lielāks gaismas daudzums izsauc acs zīlītes sašaurināšanos, jeb miozi, tādējādi ļaujot mazāk gaismai nonākt uz tīklenes. Mazāks gaismas daudzums izraisa acs zīlītes paplašināšanos jeb midriāzi, tādējādi ļaujot vairāk gaismai nonākt uz tīklenes (*Trobe, 2001*).

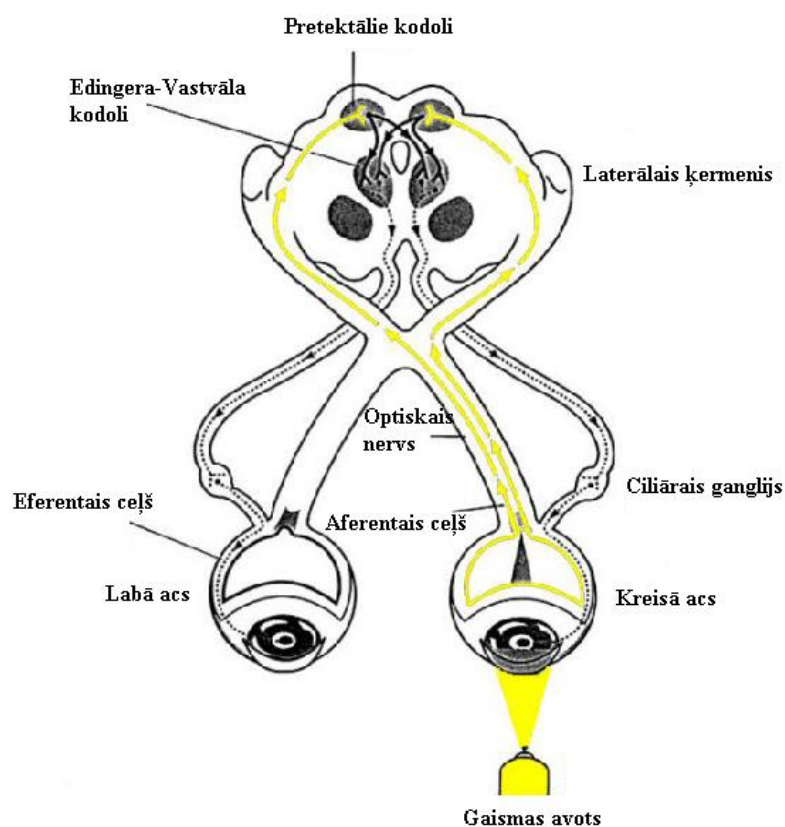
Atkarībā no acī nonākošās gaismas daudzuma, acs zīlītes lielums tiek kontrolēts ar divu muskuļu palīdzību, kas atrodas varavīksnē. Sfingters, jeb sašaurinātājmuskulis, atrodas cirkulāri ap zīlītes atvērumu un nodrošina acs zīlītes sašaurināšanos, kuru inervē parasimpātiskās nervu sistēmas šķiedras. Savukārt, dilators, jeb paplašinātājmuskulis atrodas radiāli ap acs zīlīti un to inervē simpātiskās nervu šķiedras (skat. 1.1. att.). Abi šie varavīksnē muskuļi pieder gludo muskuļu grupai un tiek atšķirīgi inervēti (*Brisson et al., 2013; Wang & Munoz, 2015*)



**1.1. att.** Acs zīlītes atbildes reakcijas. A – sašaurināta acs zīlīte, B – normāla acs zīlīte, C – paplašināta acs zīlīte (*Nystrom, Hooge, & Andersson, 2016*).

Acs zīlītes gaismas reflekss tālāk tiek sadalīts pa diviem atsevišķiem ceļiem. Acs zīlītes parasimpātiskās nervu sistēmas aferentais ceļš sākas tīklenes fotoreceptoru šūnās – nūjiņās un

vāļītēs. Tālāk vadot signālu pa redzes nerva šķiedrām, tas aiziet uz hiazmu. Hiazmā krustojas šķiedras, kas nāk no tīklenes mediālām daļām. Tālāk šķiedras pāriet uz redzes traktu. Redzes traktā zīlītes šķiedras, apejot ārējo ceļgalveida ķermeni, veido signālu ar pretēktālajiem kodoliem vidussmadzenēs. Vadot signālu uz Edingera Vestfāla kodoliem, sākas acs zīlītes eferentais ceļš. Acs zīlītes šķiedras nonāk okulomotorā nerva sastāvā. Tālāk, veidojot sinapses ar acs ciliārā ganglija neironiem, nonāk acs orbītā. Tālāk tiek inervēts varavīsknenes sašaurinātājmuskulis – sfinkters, kas nodrošina acs zīlītes sašaurināšanos. Šāda reakcija ir raksturīga zīlītes tiešajai reakcijai uz gaismu (skat. 1.2. att.) (Gamlin & McDougal, 2015; Wang & Munoz, 2015).



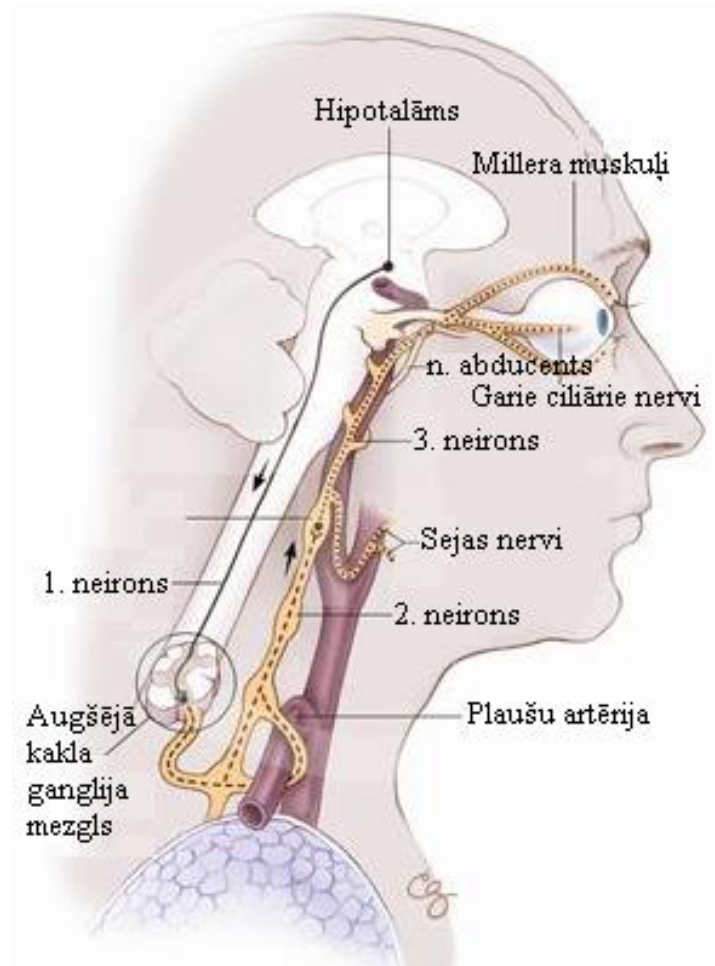
**1.2. att.** Acs zīlītes gaismas refleksa parasimpatiskās nervu sistēmas ceļš

(Pieejams: <http://casemed.case.edu/clerkships/neurology/NeurLrngObjectives/Pupil.htm>)

Simpātiskā nervu sistēmas inervācija notiek hipotalāmā, kas kontrolē varavīksnenes paplašinātājmuskuli – dilatoru. Šis ceļš sastāv no trīs neironu lokiem (skat. 1.3. att) (Kardon, 2005):

1. Nervu šķiedras iet no hipotalāma uz kakla un krūšu skriemeļiem, kur pelēkās vielas sānu ragos notiek pārslēgšanās;

2. No muguras smadzenēm, nervu šķiedras iet uz lielo plaušu asinsvadiem, apliecas un dodas uz augšējā kakla gangliju mezglu, kas atrodas zem smadzeņu pamatnes;
3. Nervu šķiedras kakla ganglijā pārslēdzas un apvijas apkārt miega artērijai un caur galvaskausa pamatni nonāk acs orbītā. Daļa no redzes nerva šķiedrām nonāk ciliārajā ganglijā, bet daļa inervē augšējā un apakšējā plaksta (Millera) muskuļus. Ar garo ciliāro nervu palīdzību tiek inervēts acs zīlītes paplašinātājmuskulis un notiek acs zīlītes paplašināšanās.



**1.3.att.** Acs zīlītes simpātiskās nervu sistēmas inervācijas ceļš  
(Pieejams: <https://www.aao.org/image/sympathetic-pathway-3>)

## 1.2. Faktori, kas ietekmē acs zīlītes atbildi

Acs zīlītes izmaiņas ietekmē ātra reakcija uz notikumiem apkārtējā vidē. Galvenais iemesls acs zīlītes diametra izmaiņām ir apgaismojums. Palielinoties apgaismojuma līmenim, acs zīlītes izmērs samazinās. Ja apgaismojuma līmenis ir zems, tās izmērs samazinās 0,5 sekundes laikā. Ja apgaismojuma līmenis pieaug, tās izmērs samazinās 0,2 – 0,3 sekunžu laikā (*Atchison & Smith, 2000*).

Tomēr, pat tad, ja apgaismojums tiek kontrolēts pēc augstākajiem standartiem, acs zīlītes sašaurināšanos vai paplašināšanos var ietekmēt neatkarīgi endogēnie procesi, kas saistīti ar nogurumu, emocijām vai uzmanību. Pievēršot uzmanību jebkuram stimulam, acs zīlītes izmērs var paplašināties. Jaunākie pētījumi pierāda, ka acs zīlītes paplašināšanos ietekmē sensori, psiholoģiski vai emocionāli stimuli, kas ir kā atbildes reakcija uz konkrētu stimulu demonstrēšanu. Tas nozīmē, ka zīlītes paplašināšanos var ietekmēt izteiktas sāpes, skaņas, jušanas un fiziskas slodzes izmaiņas (*Drewes et al., 2014*).

Acs zīlītes sašaurināšanos izraisa, galvenokārt, stimuli, kas ir balstīti uz acu kustībām un redzes uztveri. Sašaurināšanās var notikt arī iesaistoties akomodācijai un konverģencei, mainot acu fiksāciju no tāluma uz tuvumu. Sākot darboties akomodācijai un konverģencei, acs zīlīte sašaurinās. Šo reakciju sauc par tuvuma triādi. Akomodācija, konverģence un acs zīlītes sašaurināšanās ir okulomotoras darbības, kas notiek aplūkojot priekšmetu tuvumā. Katru no šīm funkcijām var atdalīt vienu no otras un tās neizsauc viena otru. Akomodācijas iedarbojas uz acs lēcas refrakcijas stipruma maiņu un nodrošina skaidru attēlu uz tīklenes, aplūkojot priekšmetus dažādos attālumos. Konverģence ir kustība, kuras rezultātā samazinās redzes leņķis starp abu acu redzes asīm. Acs zīlītes sašaurināšanās notiek aplūkojot tuvumā esošu priekšmetu (*Choe, Blake, & Lee, 2016; Wang & Munoz, 2015*).

Acs zīlītes izmaiņas var ietekmēt arī dažādu medikamentu lietošana. Paplašināšanās var notikt lietojot adrenomimētiskos un antiholīnergisku vielu peperātus, sašaurināšanās pie holinomimētiķu, adrenoblokotaru un sedatīva rakstura preperātu lietošanas (*Lin, Chen, & Lee, 2013*)

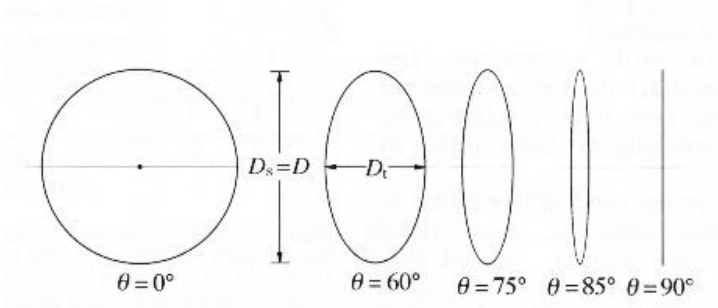
### 1.3. Acs zīlītes loma skata pozīcijas novērtēšanā

Video balstītas metodes nosaka skata virziena pozīciju, balstoties uz acs zīlītes ģeometriskā centra novietojumu. Tiek izmantots infrasarkanās gaismas avots, kuras viļņa garums atrodas ārpus redzamās gaismas spektra un atstarojas tīklenē. Ja gaismas avots sakrīt ar uztverošās kameras novietojumu, tad rodas gaišas acs zīlītes attēls. Ja gaismas avots nesakrīt ar kameras novietojumu, tad rodas tumšas acs zīlītes attēls. Video kameras un gaismas avota savstarpējais novietojums var atšķirties, atkarībā no iekārtas uzbūves veida. Ir iekārtas, kur video kamera un gaismas avots atrodas eksperimenta dalībniekam uz galvas, līdzīgi kā ķivere. Ir iekārtas, kur kamera un gaismas avots ir novietoti eksperimenta dalībniekam atsevišķi priekšā un eksperimenta stimuli tiek rādīti uz atsevišķa monitora. Datu ierakstīšana ir atkarīga no frekvences, kas nosaka ar kādu biežumu tiek noteikts skata virziens (*Kolakowski & Pelz, 2006; Wyatt, 2010*).

Acs zīlītes diametrs tiek noteikts kā apla vai elipses forma divos principiālos meridiānos – horizontāli un vertikāli. Balstoties uz acs zīlītes centra novietojumu, tiek noteikta skata virziena pozīcija. Parasti tiek uzskatīta, ka optiskā ass (līnija, kas iet caur acs zīlītes ģeometrisko centru un acs rotācijas centru) sakrīt ar skata virzienu. Tādējādi, precīzāka acs zīlītes centra noteikšana ir būtiska precīzāku mērījumu veikšanai (*Janchinski, 2016; Yu et al., 2015; Roig et al., 2012*).

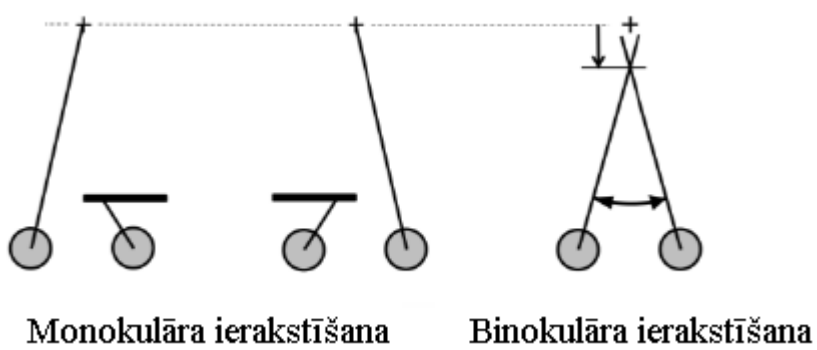
Skata virziena pozīcija tiek noteikta balstoties uz kalibrēšanas procedūru. Tā veido saikni starp video kameras uztvertajiem attēliem un fiksācijas punktiem, kas novietoti dažādās vietās uz ekrāna. Izvietojot uz ekrāna noteiktās koordinātēs vairākus punktus video kamera reģistrē konkrēto acs pozīciju un piemēro tam punkta koordinātes. Kalibrēšanas mērķiem jābūt pietiekoši maziem un viegli saskatāmiem, lai radītu pēc iespējas stabilāku fiksāciju. Jebkura novirze skata virzienā var radīt neprecīzītāti datus (*Svede et al., 2015*).

Acs zīlītes diametrs, kādu to reģistrē video iekārta, var mainīties dažādos skata virzienos. Tomēr, pat tad, ja acs ir nekustīga, pastāv savstarpējā atšķirība starp horizontālo un vertikālo meridiānu, fizioloģisku iemeslu dēļ. Papildus tam, ja pētījuma dalībnieka galvas pozīcija ir fiksēta un skata virziens tiek vērts uz dažādām vietām uz ekrāna, acs zīlītes diametrs, kādu to reģistrē video iekārta, mainās no apaļas formas uz elipsveida. Acs zīlītes diametrs paliek šaurāks, palielinoties skata virziena leņķim, ja galvas pozīcija ir fiksēta un video kamera atrodas tieši virs eksperimenta dalībnieka galvas (skat. 1.4. att.) (*Atchison & Smith, 2000*).



**1.4. att.** Video kameras uztvertais acs zīlītes diametrs ( $D$ ) atkarībā no skata virziena leņķa ( $\Theta$ ) (*Atchison & Smith, 2000*)

Pētot dažādas fiksācijas atšķirības, acu kustību pierakstu var veikt monokulāros vai binokulāros apstākļos (skat. 1.5. att.). Ja tiek mērītas vergēncu fiksācijas atšķirības, kalibrēšanu var veikt monokulāros vai binokulāros apstākļos, kur katra acs tiek uztverta atsevišķi. Ja acu kustību pieraksts tiek veikts monokulāros vai binokulāros apstākļos, pastāv neliela fiksācijas atšķirība. Monokulāra acu kustību ierakstīšana ir precīzāka, kā binokulāros apstākļos, jo redzes asis sakrīt ar fiksācijas punktiem, kas izvietoti uz ekrāna. Šī redzes ass līnija ir saistīta ar acs zīlītes ģeometriskā centra novietojumu. Ja acs zīlītes diametrs izmainās par 1 mm, tas var radīt 0,5 grādu lielas izmaiņas skata pozīcijas noteikšanā (*Janchinski, 2016*).

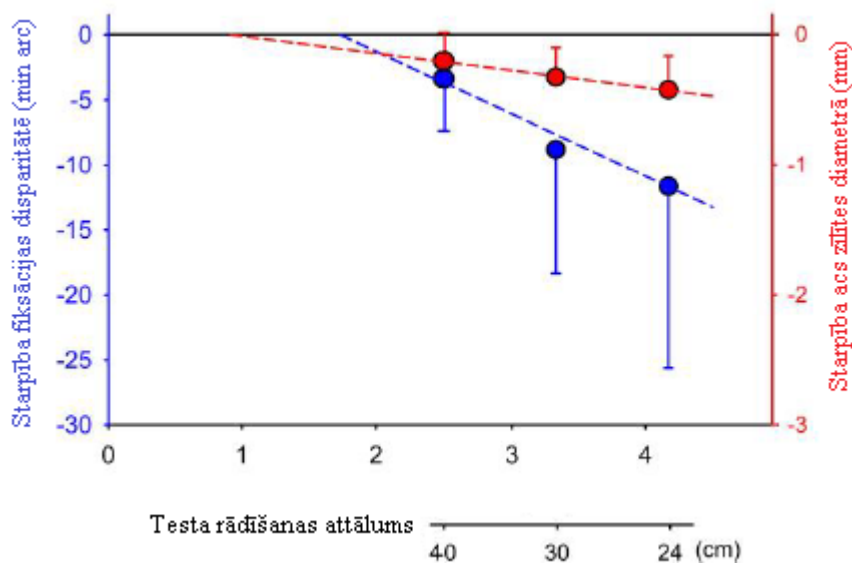


**1.5.att.** Acu kustību pierakstīšana (*Janchinski, 2016*)

Mainoties zīlītes izmēram, mainās arī skata virziena leņķis. Novirzes lielums var būt pat līdz vairākiem grādiem. *Wyatt (2010)* pierādīja, ka 1 mm nobīde, atbilst, aptuveni, 10 grādu lielam redzes leņķim. Savukārt, izmaiņas acs zīlītes diametrā par 0,1 vai 0,2 mm, atbilst 1 vai 2 grādu fiksācijai. Citiem vārdiem sakot, ja acs zīlītes centrā ir novērotas izmaiņas, tas var būtiski ietekmēt skata virzienu pozīciju un mērījuma precizitāti.

*Janchinski* (2016) pierādīja, ka acs zīlītes diametrs atšķiras monokulāros un binokulāros apstākļos un tā starpība kļūst lielāka, samazinot uzdevumu veikšanas attālumu (skat. 1.6. att.). Attālumam samazinoties no 40 cm līdz 24 cm, acs zīlītes diametrs samazinās par 0,09 mm.

Binokulāros apstākļos acs zīlītes diametrs ir mazāks, jo, iesaistoties akomodācijai un konverģencei, notiek acs zīlītes sašaurināšanās, aplūkojot fiksācijas mērķi, kas atrodas tuvumā (*Janchinski*, 2016).



**1.6.att.** Acs zīlītes diametra izmaiņas atkarībā no testa rādīšanas attāluma (24, 30, 40 cm) monokulāros (zilā krāsā) un binokulāros (sarkanā krāsā) apstākļos (*Janchinski*, 2016).

Daudzi no pētījumiem ir pierādījuši, ka apgaismojums tieši ietekmē acs zīlītes diametra izmaiņas. Tas var būt mainīgs acu kustību kalibrēšanas laikā vai eksperimenta veikšanas laikā, ja tiek izmantotas dažādas spilgtuma pakāpes eksperimenta stimuliem. *Drewes et al.* (2014) izmantoja kalibrēšanu ar dažādām spilgtuma intensitātēm, lai pierādītu, ka acs zīlītes diametrs ir mainīgs. Palielinoties apgaismojuma intensitātei, acs zīlītes diametrs samazinās.

*Watson* (2012) acs zīlītes diametru raksturoja kā sigmoidālu funkciju, atkarībā no apgaismojuma līmeņa. Izmaiņas apgaismojumā par 1 logaritmisko vienību, rada 1,25 mm lielas izmaiņas acs zīlītes diametrā.

Tāpat arī daudzi no pētījumiem pierāda, ka acs zīlītes diametra izmaiņas var būt atkarīgas no stimula izmēra. Jo lielāks stimula izmērs, jo lielāka zīlīte. Standarta eksperimentam izmanto stimulus, kas rada stabilu skata fiksāciju dažādās vietās uz ekrāna. Parasti stimula izmērs tiek izteikts grādos (°) vai loka minūtēs, kur 1 grāds atbilst 60 loka minūtēm. Svarīgi, lai stimuls

atrastos foveolas apgabalā (1 - 2° robežās). Vislabāk ieteicams izmantot krustus, kas atbilst stabilākai fiksācijai (*Svede et al.*, 2015).

Lai iegūtu pēc iespējas stabilāku fiksāciju un acs zīlītes lielums būtu nemainīgs, svarīgs ir datu apstādes analīzes laiks. Stabils fiksācijas vidējais laiks ir no 200 līdz 250 ms. Dažos pētījumos tiek analizētas acs zīlītes izmaiņas, atkarībā no fiksācijas laika. *Jainta* (2011) pierādīja, ja fiksācijas laiks pārsniedz 250 ms, tad acs zīlītes diametrs ir mainīgs. Vislabāk izmantot laiku, kas atbilst 200 – 250 ms. Jo lielāks laiks, jo tās diametrs var mainīties apkārtējo apstākļu ietekmē.

## 2. PĒTĪJUMA DAĻA

### 2.1. Metode

#### 2.1.1. Pētījuma dalībnieki

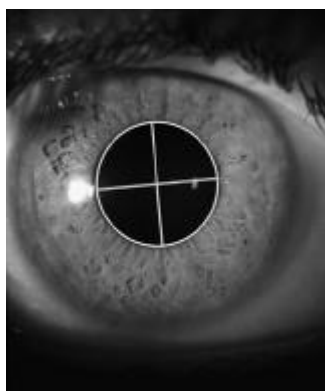
Pētījumā piedalījās astoņi cilvēki vecumā no 22 līdz 28 gadiem (vidējais vecums 25 gadi). Pētījuma dalībnieki tika izvēlēti ar atbilstošu labu redzes asumu tuvumā (redzes asums tuvumā bija vienāds ar 1,0 decimālajās vienībās) un bez optiskās korekcijas līdzekļiem - brillēm vai kontaktlēcām, kas varētu radīt papildus refleksus atpazīšanu acu kustību pieraksta iekārtā vai papildus mirkšķināšanu.

Nevienam no pētījuma dalībniekiem nebija nopietnas acu vai vispārējās veselības problēmas, kas varētu ietekmēt pētījuma rezultātus. Visi dalībnieki noliedza jebkādu medikamentu lietošanu, kas varētu ietekmēt pētījuma rezultātus.

#### 2.1.2. Acs zīlītes diametra pieraksts

Acs zīlītes diametra izmaiņas tika ierakstītas ar *iViewX Hi-Speed* acu kustību pieraksta iekārtu (500 Hz, binokulāri, precizitāte  $0,25^\circ - 0,5^\circ$ , SMI, Vācija). Iekārta ar infrasarkanās gaismas palīdzību nosaka acu kustību un acs zīlītes diametra izmaiņas. Analizējot skata pozīciju, iekārta sniedz informāciju par acs zīlītes centra pozīciju un tās diametru, acs zīlītes izmēru nosakot kā apla vai elipses formu divos principālos meridiānos. Izmantojot divdimensiju attēlu, tiek aprēķinātas X un Y vērtības un noteikts tās diametrs (skat. 2.1. att. ).

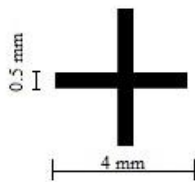
Acu kustību pieraksta iekārta izmanto tumšās zīlītes metodi, kur tumšā apgabala centrs tiek uzskatīts par zīlītes refleksu. Infrasarkanās gaismas stari, kas nāk no iekārtas, atstarojas no spoguļa virsmas un nonāk acī. Acs zīlīte ir vienīgā, kas pilnībā absorbē infrasarkanās gaismas starus, tāpēc rodas tumšs acs zīlītes apgabals.



**2.1. att.** Acs zīlītes izmērs video-okulogrāfijas laikā (Wildenmann & Scheaffel, 2013).

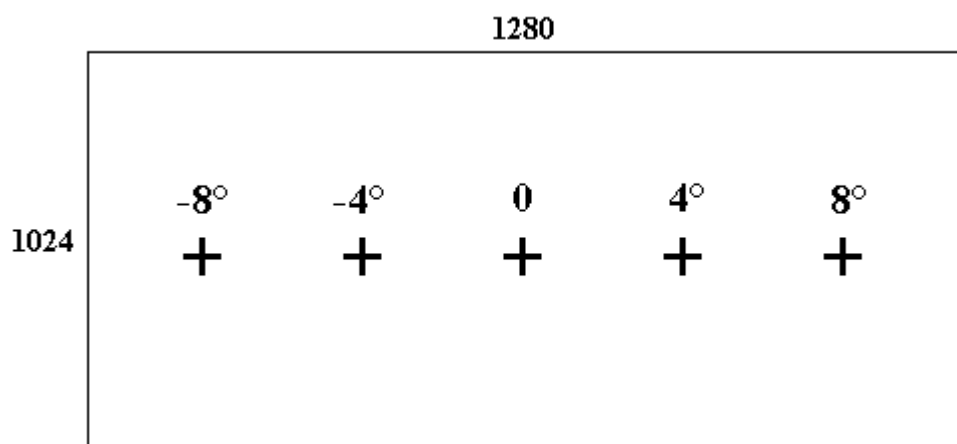
### 2.1.3. Pētījumā izmantoto stimulu izveide un demonstrēšana

Sākotnēji ar *Microsoft Paint* palīdzību tikai izveidoti pētījumam nepieciešamie stimuli. Acs zīlītes pieraksta izmaiņām tika izmantoti stimuli, kas atbilst pēc iespējas stabilākai fiksācijai (Svede *et al.*, 2015). Tika izveidoti statiski krusti  $0,5^\circ$  lielumā, melnā krāsā uz balta fona. Stimuliem tika noteikts konkrēts līniju biezums un platums, krusti tika veidoti 4,0 mm platumā, izmantojot 0,5 mm biezas līnijas (skat. 2.2. att.).



**2.1. att.** Pētījuma izveidotais stimul

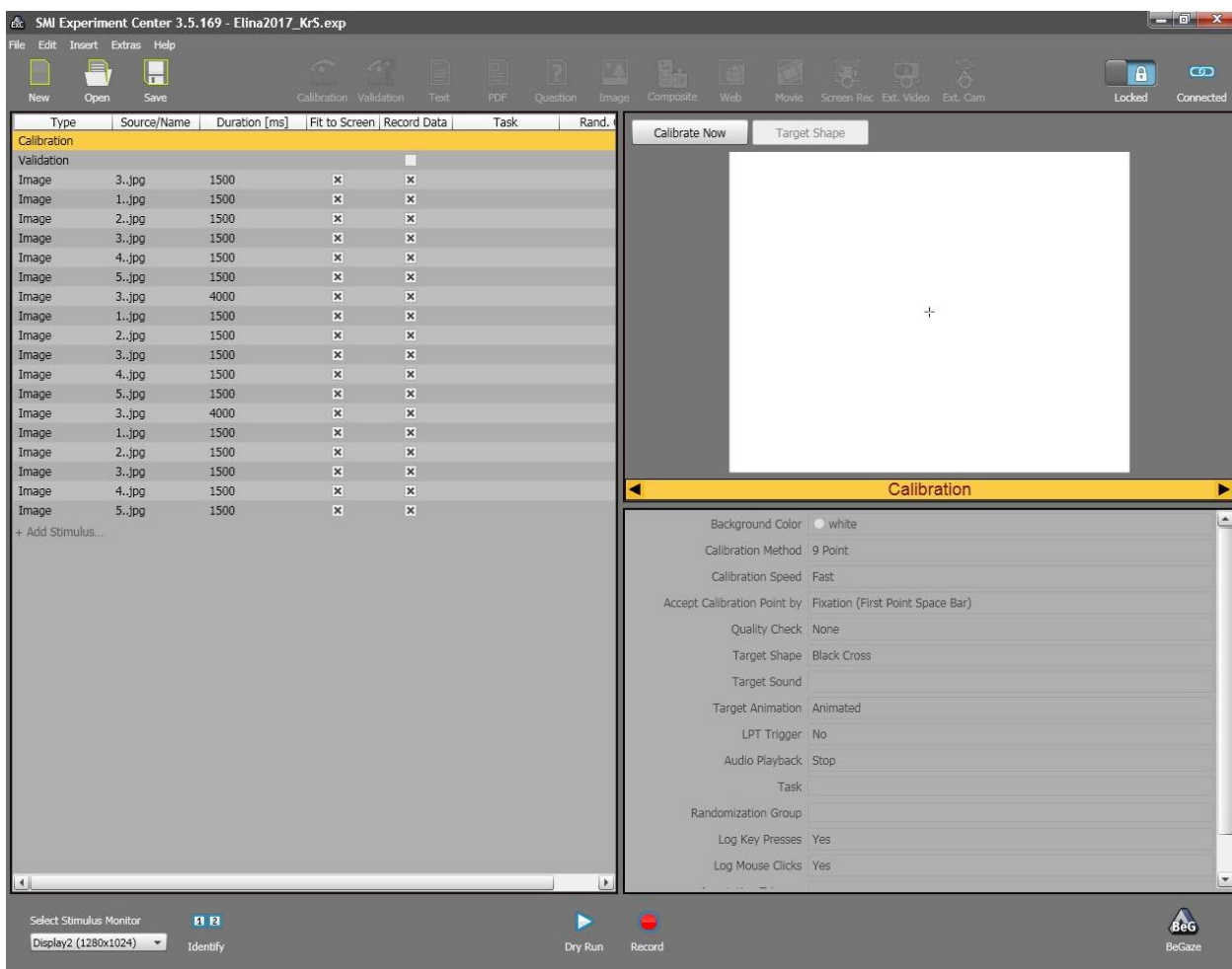
Datu pieraksta laikā izveidotie krusti mainījās piecās dažādās pozīcijās uz ekrāna. Centrālais stimul tika novietots ekrāna vidū, pārējie stimuli tika novietoti 4 vai 8 grādus pa kreisi vai pa labi no centrālā stimula (skat. 2.3. att.). Katrs no stimuliem tika rādīts 1500 ms, tika iekļauti arī papildus centrālie stimuli, kas tika rādīti 4000 ms, lai eksperimentu dalībnieks spāpētu aizklāt vienu aci.



**2.3. att.** Pētījumā izmantoto stimulu novietojums (grādos) atkarībā no ekrāna izšķirspējas

Lai izveidotie pētījuma stimuli tiktu attēloti dalībniekiem, tika izmantota *SMI Experiment Center 3,4* programma. Tā ļauj individuāli veidot eksperimentu, atbilstoši stimulu faila formātiem (šajā gadījumā izmantojot .jpg faila formātus).

Tad, kad *Experiment Center* programmā stimuli tika sakārtoti noteiktā secībā (katrs no attēliem tika sarindots atbilstoši pētījuma gaitai), pirms katra eksperimenta tika iestatīta iekārtas kalibrēšana (*Calibration*). Lai acs zīlītes izmērs netiktu ietekmēts, kalibrēšanas stimuli tika piemēroti pēc iespējas līdzīgāki pētījuma stimuliem un fonam – melni krusti uz balta fona. Pēc kalibrēšanas procedūras tika veikta kalibrēšanas pārbaude (*Validation*), kur tieka pārbaudīta kalibrēšanas precizitāte. Tā sastāvēja no 4 fiksācijas mērķiem, kur sistēma salīdzina faktiskā mērķa atrašanos vietu ar skata pozīciju. Pēc noteikta algoritma tiek aprēķināta standartnovirzes vērtība. Jāseko, lai novirzes vērtība nebūtu lielāka par 0,5°. Ja novirzes vērtība bija lielāka par 0,5°, tad tas norādīja uz zemāku precizitāti, kas tālāk varētu iespaidot mērījuma rezultātus. Ja bija nepieciešams, tad kalibrēšanas procedūra tikai veikta atkārtoti pirms mērījuma veikšanas. Tālāk ar pogas “*Record*” palīdzību, tika ierakstītas acs zīlītes diametra izmaiņas (skat. 2.4. att.).



#### 2.4. att. Pētījuma izskats *Experiment Center* vidē

Pirms katra pētījuma veikšanas, dalībnieki tika instruēti par pētījuma gaitu un nodemonstrēti pētījumā izmantotie stimuli. Ja bija nepieciešams, pētījuma laikā instrukcijas tika atkārtotas un dati tika ierakstīti atkārtoti.

Lai stimula izmērs tiktu pielīdzināts citiem pētījumiem, nepieciešams noteikt viena pikseļa izmēru grādos. Ir zināma ekrāna izšķirtspēja (px) un ekrāna izmērs (mm). Lai noteiktu uz ekrāna cik liels ir 1 pikseļa lielums grādos, tika veikti sekojoši aprēķini pēc Pitagora teorēmas (skat. 2.1. tab.). Tā kā svarīgs ir horizontālais novietojums, tad turpmākai analīze izmantots horizontāli aprēķinātais pikseļa lielums grādos.

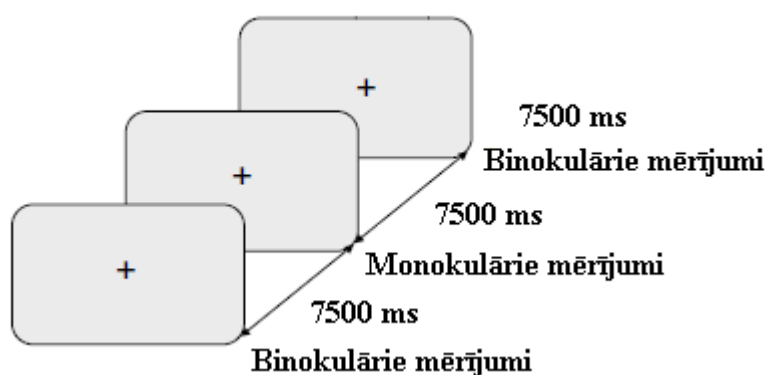
Pikseļu izmēra pārrēķins

	Horizontāli
Ekrāna izšķirtspēja, px	1280
Ekrāna reālais izmērs, mm	300
Attālums acs-ekrāns	600
1 pikseļa izmērs, grādos	0,035
1 pikseļa izmērs, mm	0,31

#### 2.1.4. Pētījuma metode

Lai novērtētu acs zīlītes diametra izmaiņas monokulāri un binokulāri skata pozīcijas laikā, pētījums sastāvēja no 3 daļām (skat. 2.5. att.) :

1. Acu kustību pieraksts binokulāros apstākļos (binokulāri 1);
2. Acu kustību pieraksts monokulāros apstākļos (monokulāri);
3. Atkārtots pieraksts binokulāros apstākļos (binokulāri 2).



2.5. att. Pētījuma gaita

Monokulāro pierakstu veikšanai tika izmantoti plastikāta aizklājēji (lāpstiņas) – baltā, melnā un caurspīdīgā (matētā) krāsā (skat. 2.6. att.). Aizklājēji tika mainīti noteiktā secībā. Katram eksperimentu dalībniekam sākotnēji tika veikti mērījumi izmantojot baltu, tad melnu un beigās caurspīdīgu (matētu) aizklājēju.



**2.6. att.** Pētījumā izmantotie aizklājēju veidi

Lai noteiktu, cik liela gaismas intensitāte ir katram no aizklājējiem, tika nomērīts esošais apgaismojuma daudzums turot aizklājēju cieši pie acs pētījuma telpā. 2.2. tabula parāda, ka visvairāk gaismu laiž cauri caurspīdīgs (matēts) aizklājējs, vismazāk melns aizklājējs. Tabulā apkopotas vidējās vērtības no 3 mērījuma reizēm.

**2.2. tabula**

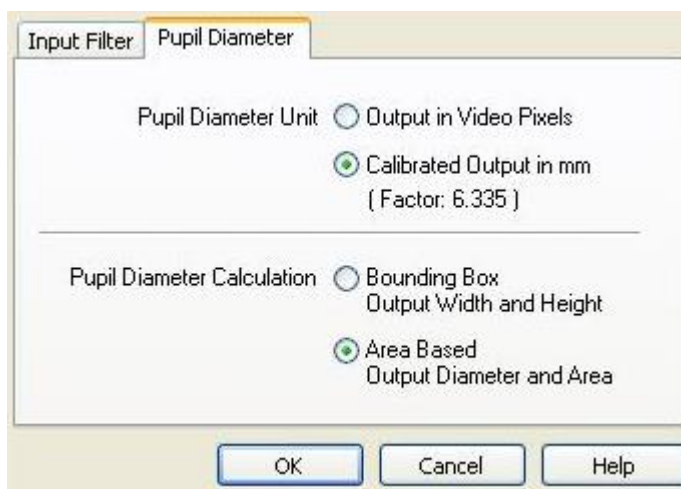
Apgaismojuma daudzums katram aizklājējam

Aizklājēja veids	Apgaismojuma daudzums
Balts	16 lx
Melns	4 lx
Caurspīdīgs (matēts)	578 lx

Sākumā pirms mērījumu veikšanas tikai veikta iekārtas kalibrēšana. Tā kā *iViewX* iekārta sniedz informāciju par horizontālo un vertikālo acs zīlītes diametru kameras pikseļos, tad pirms katra eksperimenta tikai veikta acs zīlītes kalibrēšana, lai iekārtas aprēķinātais zīlītes lielums būtu izteikts milimetros.

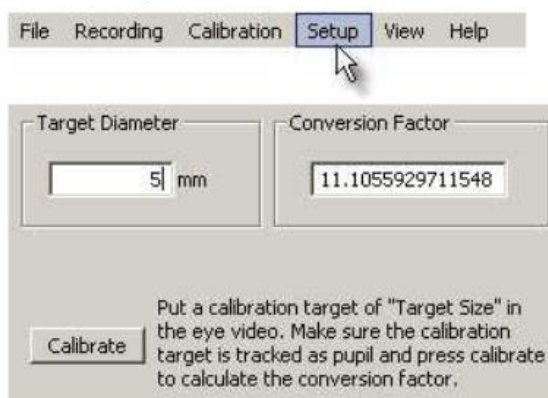
Lai noteiktu acs zīlītes izmēru milimetros tika veikti sekojoši uzstādījumi:

- Sākumā pirms katra eksperimenta nomainīti uzstādījumi, lai acs zīlītes izmērs tiek aprēķināts milimetros (skat. 2.7. att.);



2.7.att. *iViewX* kalibrācijas uzstādījumi

- Pirms katra eksperimenta tika noteikts kalibrēšanas mērķa lielums milimetros, izmantojot lineālu. Tālāk noteiktā mērķa lielums tika ievadīts sadaļā: *Target Diameter* (skat. 2.8. att.)



2.8.att. *iViewX* kalibrācijas uzstādījumi

- Uzklīkšķinot uz pogas *Calibrate*, sistēma aprēķina konversijas faktoru, kas tālāk tiek ņemts vērā, pārveidojot acs zīlītes izmēru no video pikseļiem uz milimetriem;
- Pēc visu parametru ievadīšanas tiek veikta iekārtas kalibrēšana.

Pētījuma laikā tika izmantoti 2 monitori, viens, kur pētījuma dalībniekiem 60 cm attālumā tika prezentēti stimuli, otrs, uz kura tika vadīta pētījuma gaita. Monitori, uz kura tiek prezentēti eksperimenta stimuli, atradās tieši pretī pētījuma dalībniekiem.

Vienam pētījuma dalībniekam mērījumi tika veikti atkārtoti, divas reizes pēc kārtas, lai pārbaudītu mērījuma atkārtotamību un novērtētu, vai acs zīlītes diametra izmaiņas saglabājas

atkārtoti. Visu dalībnieku uzdevums bija saglabāt fiksētu skatienu uz konkrēto mērķi, neizkustinot galvas pozīciju. Neatraujot galvu no zoda un pieres balsta, pētījuma dalībniekam bija nepieciešams nomainīt aizklājējus. Aizklājot vienu aci, dalībniekam bija jācenšās saglabāt stabila galvas pozīcija.

Atšķirībā no citiem pētījumiem, kur acs zīlītes izmērs mainās atkarībā no apgaismojuma, pētījuma gaitā tika nodrošināti vienādi apgaismojuma apstākļi. Pētījuma vide tika iekārtota tā, lai netiktu ietekmēts acs zīlītes izmērs. Pētījuma dalībnieks noteiktu laika brīdi jau atradās telpā, lai adaptētos telpas apgaismojumam. Telpas apgaismojums tika mērīts ar luksometru 3 dažādās vietās: maksimāli tuvāk pētījuma dalībnieka acīm, apgaismojums pie monitora un kopējais telpas apgaismojums. Luksometra mērījumi tika veikti 2 reizes – pirms un pēc eksperiments, lai maksimāli kontrolētu apgaismojuma līmeni. 2.3. tabulā apkopotas vidējās vērtības no abām reizēm. Pētījuma mērījumi tika veikti 3 atsevišķās dienās.

**2.3. tabula**

Apgaismojuma daudzums katrā no pētījuma dienām (lx)

<b>Diena</b>	<b>Apgaismojums pie acs</b>	<b>Apgaismojums pie monitora</b>	<b>Telpas apgaismojums</b>
1.	16	632	905
2.	20	640	1030
3.	18	635	1002

### **2.1.5. Datu iegūšana un rezultātu apstrāde**

Pierakstot acs zīlītes diametru, tiek iegūts .idf (*iViewX Data File* ) formāta fails. Iegūtie .idf faili tiek konvertēti, izmantojot programmu *IDF Converter*, tādējādi iegūstot teksta failus tālākai datu apstrādei.

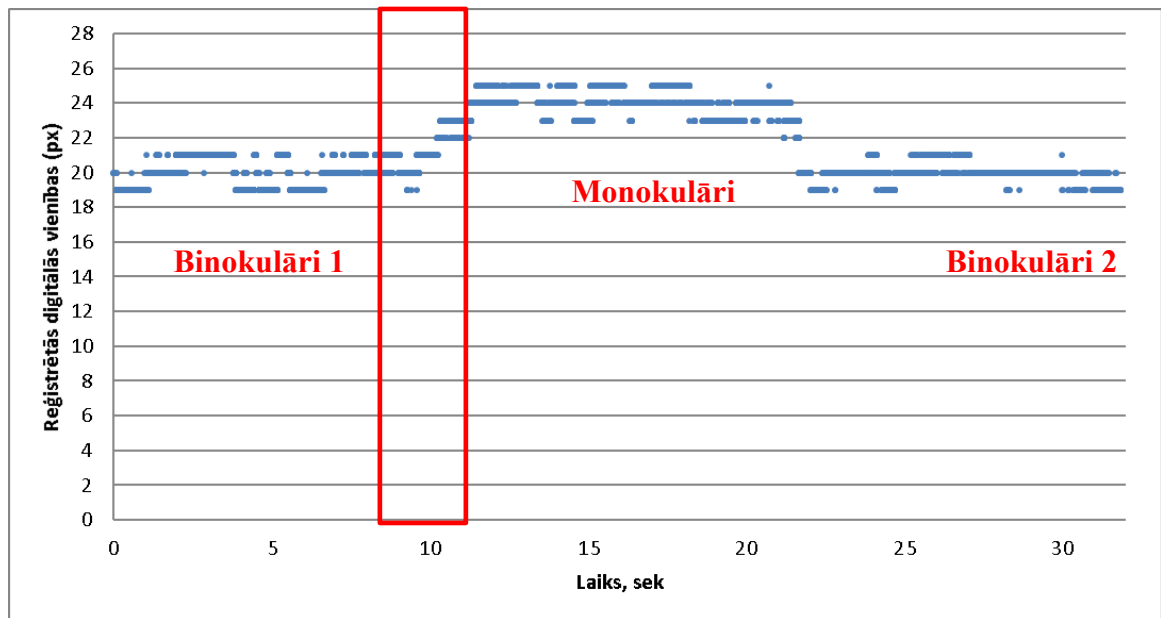
Tālākā datu apstrāde notika ar *Microsoft Excel* programmas palīdzību.

Acs zīlītes diametra izmaiņas pierakstītas binokulāri, bet dati analizēti tikai no labās acs, lai monokulārie (labās acs) mērījumi tiktu pielīdzināmi binokulārajiem. Pētījumā izmantoti sekojoši parametri:

- Lai noteiktu acs zīlītes diametra izmaiņas, izmantoti dati, kas atbilst par labās acs zīlītes diametru (*Right Diameter*);
- Lai noteiktu ietekmi uz skata pozīciju, izmantoti dati, kas atbilst par labās acs zīlītes ģeometriskā centra novietojumu (*Right Raw X*).

Acs zīlītes izmaiņas attēlotas konkrētā laika posmā. Acs zīlītes diametra izmaiņām un skata pozīcijas noteikšanai tika analizēts laiks, kas atbilst pēdējām 250 ms (skat. 2.9. att.).

Dati tika analizēti, izmantojot vidējās vērtības un standartnovirzes, statistikas apstādei izmantoti testi *Anova: One Way test, Tukey HDS test, paired t-test*.

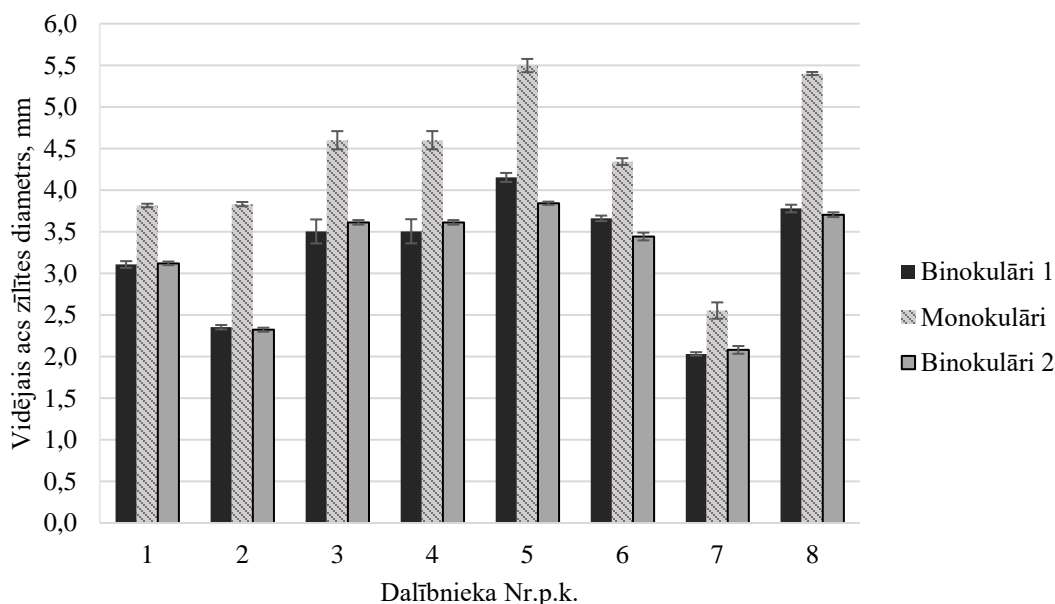


2.9. att. Acs zīlītes diametra izmaiņas laikā. Ar sarkanu kvadrādu atzīmēts laiks, kas atbilst 250 ms

## 2.2. Rezultāti

### 2.2.1. Acs zīlītes diametra izmaiņas pielietojot melnu aizklājēju

Acs zīlītes izmaiņas tika novērtētas izmantojot katru no aizklājējiem monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā. Kā pirmais tika apskatīts katra pētījuma dalībnieka vidējais acs zīlītes diametrs un tā standartnovirze centrālajā fiksācijas punktā. Visiem pētījuma dalībniekiem acs zīlītes diametra izmaiņas norāda uz līdzīgu tendenci. Acs zīlītes diametrs ir mazāks binokulāros apstākļos, salīdzinot ar monokulāriem apstākļiem (skat. 2.10. att.).

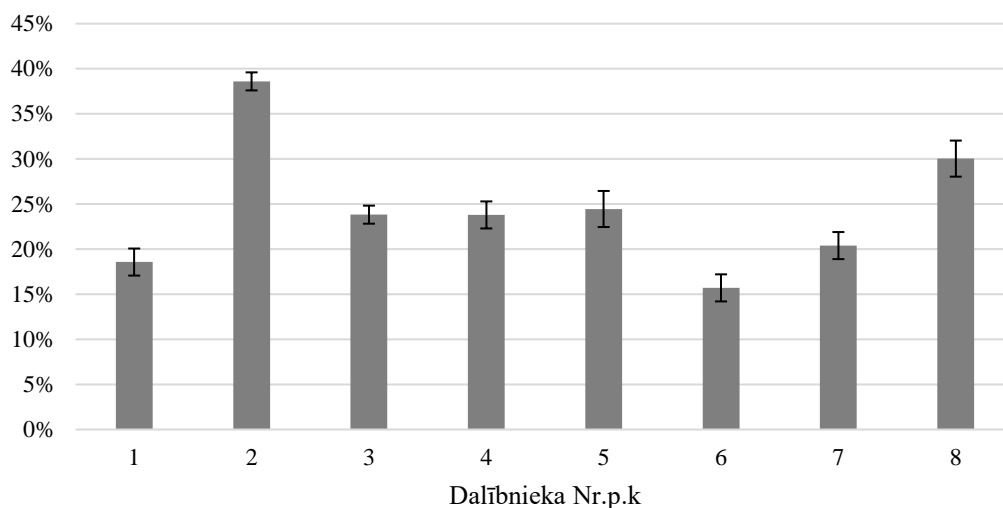


**2.10. att.** Individuālas acs zīlītes diametra izmaiņas katram ekperimentu dalībniekam (mm) monokulāros un binokulāros apstākļos, pielietojot melnu aizklājēju

Lai izanalizētu acs zīlītes diametra ietekmi uz monokulāriem un binokulāriem mērījumiem, pielietojot melnu aizklājēju, tika izmantots *Anova: One Way test*. Šāda analīze tika izvēlēta, lai novērtētu aizklājēja ietekmi uz monokulāriem vai binokulāriem apstākļiem, nevis katra dalībnieka individuālās atšķirības. Tas nosaka, ka grupu vidējie rādītāji savā starpā var atšķirties. *Anova test* parādīja, ka izmantojot melnu aizklājēju, pastāv statistiski nozīmīgas atšķirības starp mērīšanas apstākļiem ( $p = 0,001$ ). Izmantojot *Tukey HD test* var noteikt, starp kurām grupām pastāv atšķirība. Salīdzinot katru apakšgrupu atsevišķi, secinu, ka acs zīlītes diametra izmaiņas ir

statistiski nozīmīgas starp binokulāriem un monokulāriem mērījumiem ( $p = 0,01$ ), bet starp binokulāriem 1 un binokulārajiem 2 mērījumiem izmaiņas nav statistiski nozīmīgas. Izmantojot statistisko rīku *Paired t-test* noskaidrots, ka visiem eksperimenta dalībniekiem pastāv statistiski nozīmīgas atšķirības starp monokulāriem un binokulāriem mērījumiem ( $p < 0,01$ ).

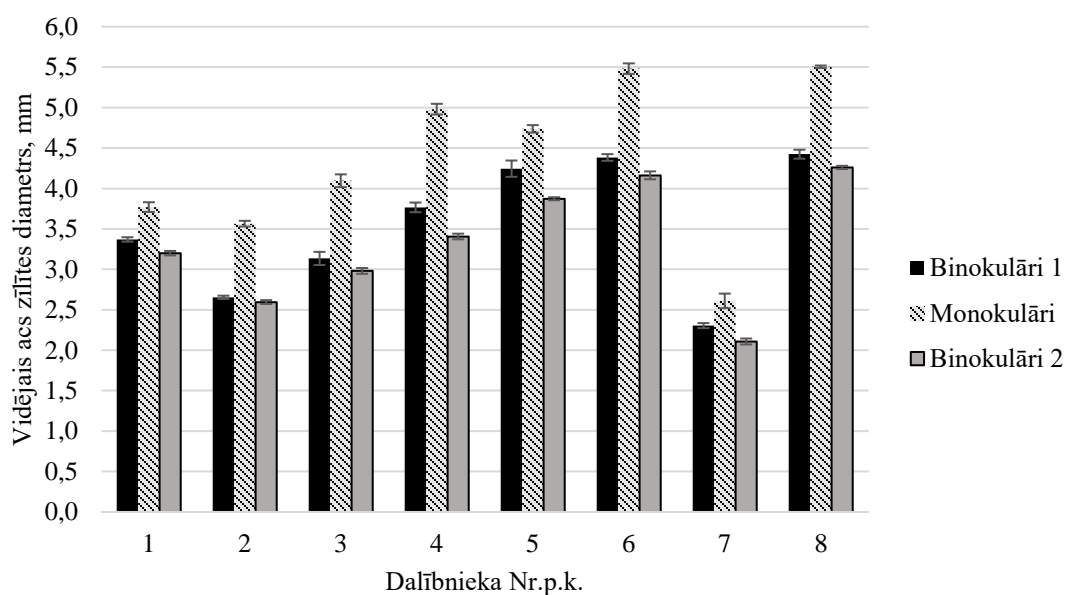
Katram pētījuma dalībniekam acs zīlītes diametrs ir atšķirīgs, tāpat arī fizioloģisku iemeslu dēļ tās diametrs var samazināties vai palielināties atšķirīgi. Lai izvērtētu katra pētījuma dalībnieka individuālās izmaiņas monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā, tika novērtēts par cik mainās acs zīlītes diametrs katram pētījuma dalībniekam monokulāros apstākļos, attiecībā pret viņa paša acs zīlītes diametru binokulāros apstākļos. Izmaiņas tika raksturotas procentos (skat. 2.11. att.). 2.11. attēls rāda vidēji grupā acs zīlītes diametra pieaugums ir par  $24 \pm 2\%$ .



**2.11. att.** Individuālas acs zīlītes diametra pieaugums (%) katram pētījuma dalībniekam monokulāros apstākļos attiecībā pret binokulāriem 1 apstākļiem, izmantojot melnu aizklājēju

## 2.2.2. Acs zīlītes diametra izmaiņas pielietojot baltu aizklājēju

Līdzīgi tika novērtētas acs zīlītes diametrs monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā pielietojot baltu aizklājēju. 2.12. attēlā tika attēlotas katra pētījuma dalībnieka vidējais acs zīlītes diametrs un tā standartnovirze centrālajā fiksācijas punktā (skat. 2.12. att.).

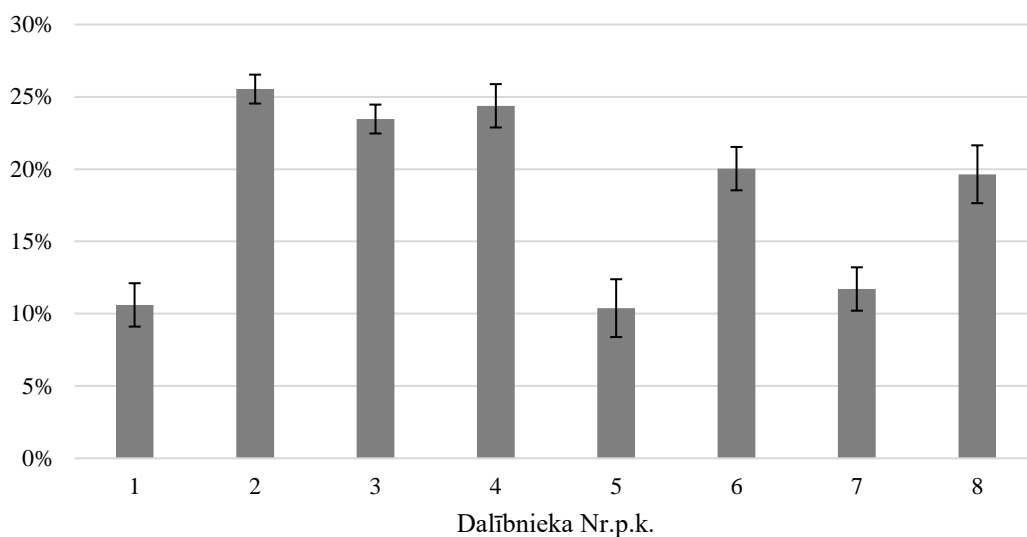


**2.12. att.** Individuālas acs zīlītes diametra izmaiņas katram ekperimentu dalībniekam (mm) monokulāros un binokulāros apstākļos, pielietojot baltu aizklājēju

Tāpat kā iepriekšējā sadaļā, tika izmantots *Anova: One Way test*, lai salīdzinātu acs zīlītes diametra izmaiņas monokulāros un binokulāros apstākļos, pielietojot baltu izklājēju. Tests uzrāda, ka izmantojot baltu aizklājēju, pastāv statistiski nozīmīgas atšķirības starp monokulāriem un binokulāriem mērījumiem ( $p = 0,001$ ). Tā kā *Anova test* uzrādīja statistiski nozīmīgas atšķirības, tad izmantojot *Tukey HD test* testu var noteikt, starp kurām grupām pastāv atšķirība. Salīdzinot katru apakšgrupu atsevišķi, secinu, ka atšķirība pastāv starp binokulāriem un monokulāriem mērījumiem ( $p = 0,01$ ), bet starp binokulāriem 1 un binokulāriem 2 izmaiņas nav statistiski būtiskas.

Salīdzinot katru dalībnieku individuāli, izmantojot statistisko rīku *Paired t-test* noskaidrots, ka visiem eksperimenta dalībniekiem pastāv statistiski nozīmīgas atšķirības starp monokulāriem un binokulāriem mērījumiem ( $p < 0,02$ ).

Līdzīgi tāpat kā iepriekšējā sadaļā, katra dalībnieka acs zīlītes diametrs var būt atšķirīgs fizioloģisku iemeslu dēļ. Lai novērtētu individuālās izmaiņas, tika izvēlēts procentuālais pieaugums monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā, pielietojot baltu aizklājēju (skat. 2.13. att.). Vidēji grupā acs zīlītes diametrs pieaugums ir par  $18,2 \pm 2\%$ .

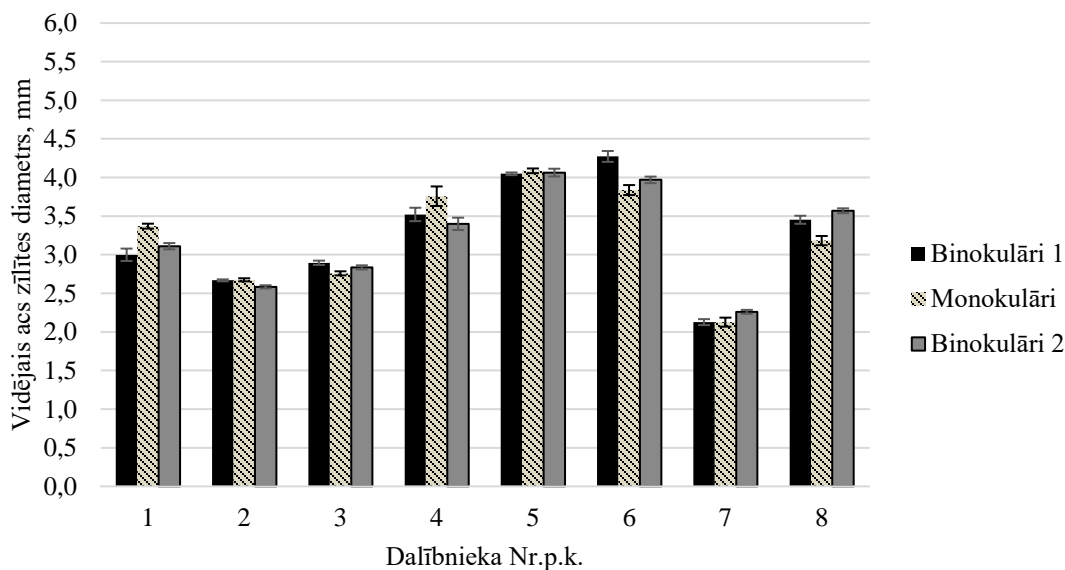


**2.13. att.** Individuālas acs zīlītes diametra pieaugums (%) katram pētījuma dalībniekam monokulāros apstākļos attiecībā pret binokulāriem 1 apstākļiem, izmantojot baltu aizklājēju

### 2.2.3. Acs zīlītes diametra izmaiņas pielietojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju

Tāpat līdzīgi tika novērtētas acs zīlītes diametra izmaiņas monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā pielietojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju. 2.14. attēlā tika attēlotas katra pētījuma dalībnieka vidējais acs zīlītes diametrs un tā standartnovirze centrālajā fiksācijas punktā. Salīdzinot visas grupas vidējās vērtības starp monokulāriem un binokulāriem mērījumiem, būtiskas atšķirības nenovēro. *Anova: One Way test* uzrāda, ka izmantojot caurspīdīgu aizklājēju, nepastāv statistiski nozīmīgas atšķirības starp monokulāriem un binokulāriem apstākļiem ( $p > 0,05$ ).

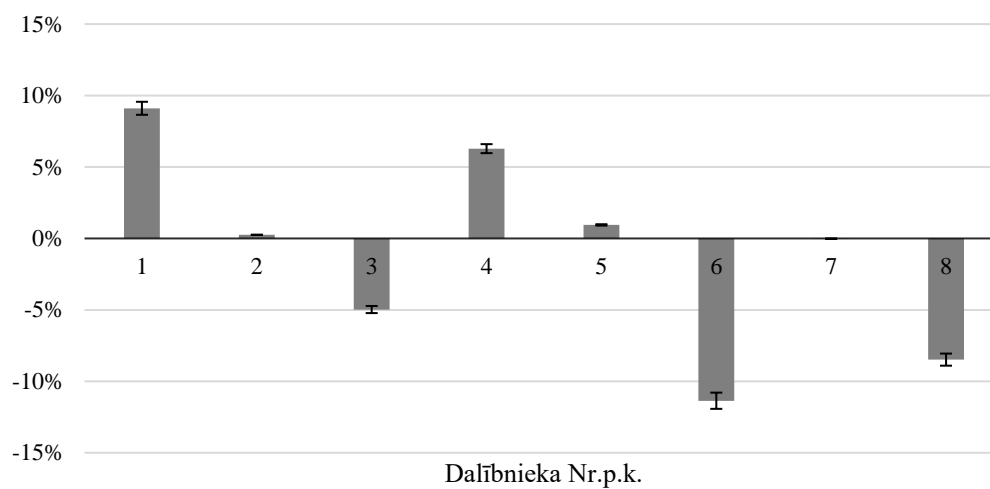
Salīdzinot katru dalībnieku individuāli, izmantojot *t-test* noskaidrots, ka visiem eksperimenta dalībniekiem nepastāv statistiski nozīmīgas atšķirības starp monokulāriem un binokulāriem mērījumiem, pielietojot caurspīdīgu aizklājēju ( $p > 0.05$ ).



**2.14. att.** Individuālas acs zīlītes diametra izmaiņas katram ekperimentu dalībniekam (mm) monokulāros un binokulāros apstākļos, pielietojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju

Tāpat tika novērtētas katra pētījuma dalībnieka individuālais procentuālais pieaugums monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā, pielietojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju. 2.15. att. parāda, ka acs zīlītes pieaugums ir tikai 2 pētījuma dalībniekiem (no 5 – 10%), 2 pētījuma dalībniekiem pieaugums ir minimāls ( $< 5\%$ ) un 3 pētījuma dalībniekiem monokulāros apstākļos

acs zīlītes diametrs samazinās. Tas liecina, ka izmaiņas nav viennozīmīgas un būtiskas visiem pētījuma dalībniekiem.

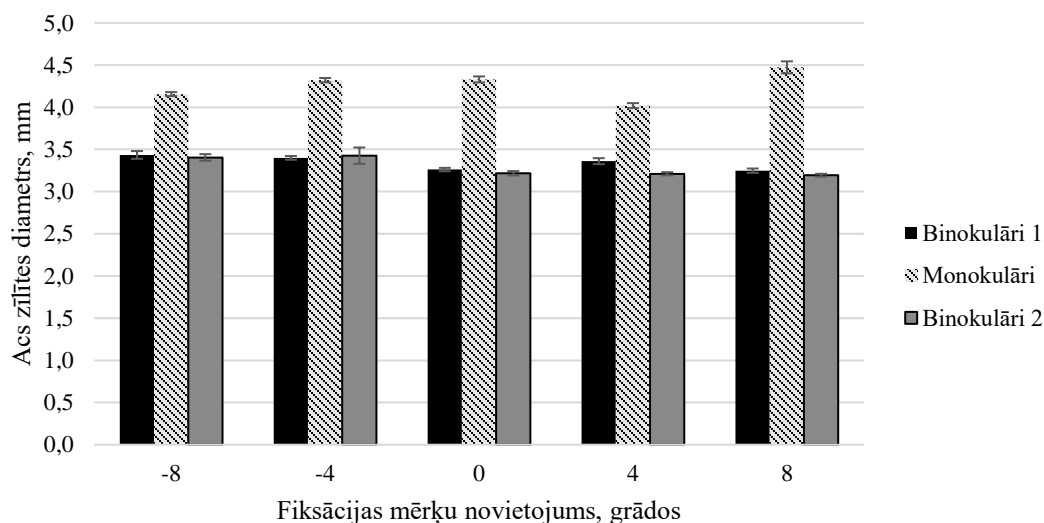


**2.15. att.** Individuālas acs zīlītes diametra pieaugums (%) katram pētījuma dalībniekam monokulāros apstākļos attiecībā pret binokulāriem 1 apstākļiem, izmantojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju

## 2.2.4. Acs zīlītes diametra izmaiņas dažādās skata pozīcijās

Lai noteiktu acs zīlītes izmaiņas dažādās skata pozīcijās tika apskatīts acs zīlītes diametrs un tā izmaiņas monokulāros un binokulāros apstākļos, atkarībā no tā kā ir novietots fiksācijas mērķis. 2.16. attēlā attēlotas acs zīlītes izmēra vidējās vērtības starp visiem pētījuma dalībniekiem, atkarībā no fiksācijas mērķa novietojuma, izmantojot melnu aizklājēju. Pēc grafika var novērot, ka tendences ir līdzīgas un saglabājas katrā no fiksācijas mērķu novietojuma. Tāpat arī līdzīgas tendences novērotas izmantojot baltu aizklājēju.

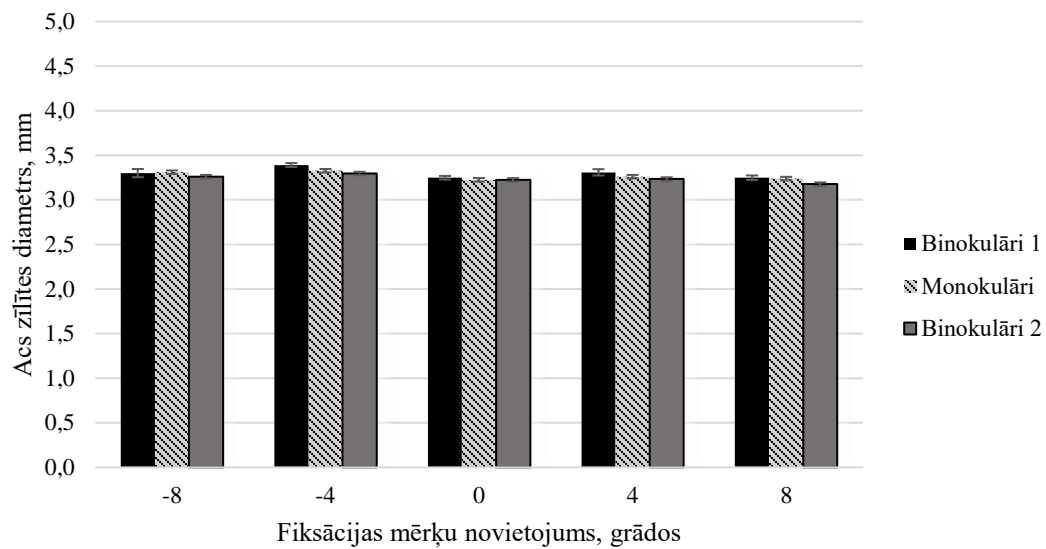
Izmantojot *t-testu*, novērots, ka visiem eksperimenta dalībniekiem pastāv statistiski būtiskas atšķirības monokulāros un binokulāros apstākļos katrā no fiksācijas mērķiem, izmantojot baltu un melnu aizklājēju ( $p < 0,05$ ).



**2.16. att.** Grupas vidējais acs zīlītes diametrs (mm) atkarībā no fiksācijas mērķu novietojuma (grādos) monokulāros un binokulāros apstākļos, pielietojot melnu aizklājēju

2.17. attēlā attēlotas acs zīlītes izmēra vidējās vērtības starp visiem pētījuma dalībniekiem, atkarībā no fiksācijas mērķa novietojuma, izmantojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju. Pēc grafika var novērot, ka tendences ir līdzīgas un saglabājas katrā no fiksācijas mērķu novietojuma.

Izmantojot *t-testu*, novērots, ka visiem eksperimenta dalībniekiem nepastāv statistiski būtiskas atšķirības monokulāros un binokulāros apstākļos katrā no fiksācijas mērķiem, izmantojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju.

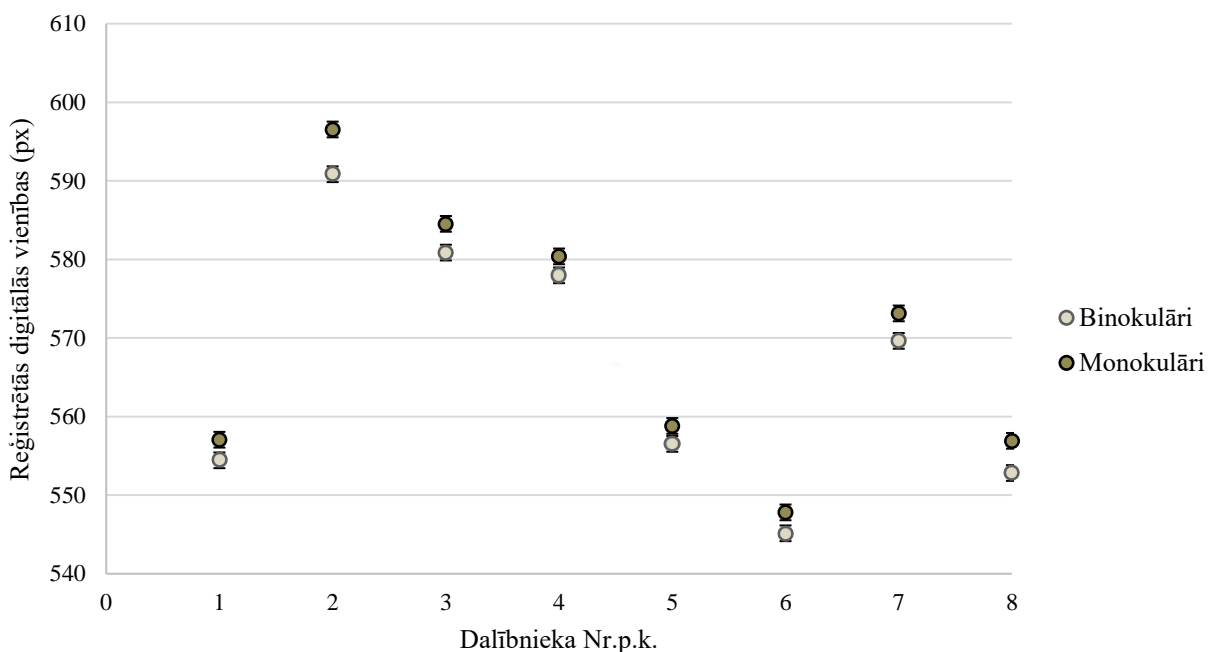


**2.17. att.** Grupas vidējais acs zīlītes diametrs (mm) atkarībā no fiksācijas mērķu novietojuma (grādos) monokulāros un binokulāros apstākļos, pielietojot mcaurspīdīgu (matētu) aizklājēju

### 2.2.5. Acs zīlītes centra koordināšu salīdzinājums

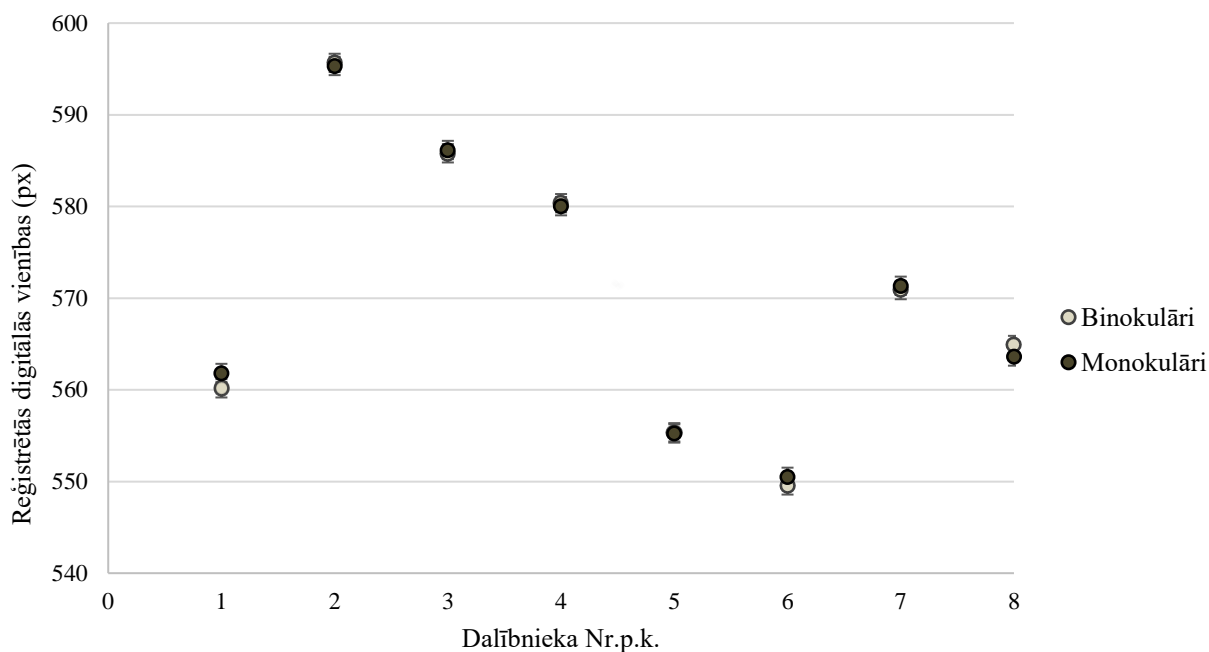
Tā kā video balstītas metodes skata pozīciju nosaka pēc acs zīlītes ģeometriskā centra novietojuma, tad nepieciešams izvērtēt vai mainīgais acs zīlītes diametrs monokulāros un binokulāros apstākļos var ietekmēt acs zīlītes centra koordinātes.

Iepriekš tika noteikt, ka acs zīlītes diametrs atšķiras monokulāros un binokulāros apstākļos, pielietojot baltu un melnu aizklājēju. Lai noskaidrotu, vai acs zīlītes diametrs ir kā faktors, kas ietekmē zīlītes centra koordināšu novērtējumu tika veidots 2.18. attēls. Tas parāda, ka monokulāros un binokulāros apstākļos ir vērojamas atšķirības. Monokulāros apstākļos acs zīlītes centra koordināte ir lielāka nekā binokulārajos apstākļos. Analīzei tika izmantoti dati centrālajā punktā, pielietojot baltu aizklājēju. Visiem pētījuma dalībniekiem novēro tendenci, ka zīlītes centra koordināte vidēji pieaug par 3,36 digitālajiem pikseļiem. Taču *t-test* analīze katram dalībniekam uzrāda, ka starp esošajām grupām nepastāv statistiski nozīmīgas ( $p > 0,05$ ). Līdzīgas tendences tika novērotas arī izmantojot melnu aizklājēju, kur *t-test* nosaka, ka nepastāv statistiski nozīmīgas atšķirības starp monokulārajiem un binokulārajiem apstākļiem ( $p > 0,05$ ).



**2.18. att.** Acs zīlītes centra koordināšu salīdzinājums monokulāros un binokulāros apstākļos visiem pētījuma dalībniekiem, pielietojot baltu aizklājēju

Tā kā iepriekš tika noteikts, ka acs zīlītes izmērs būtiski neatšķiras monokulāros un binokulāros apstākļos, pielietojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju, tad nepieciešams novērtēt, vai zīlītes centra koordinātes dati monokulāros un binokulāros apstākļos ir vienādi. 2.19. attēlā var redzēt, ka visiem eksperimenta dalībniekiem acs zīlītes centra koordinātes dati monokulāros un binokulāros apstākļos būtiski neatšķiras. Lai novērtētu, vai izmaiņas ir statistiski būtiskas tika izmantots *t-tests*, kas nosaka, ka atšķirības monokulāros un binokulāros apstākļos nav statistiski nozīmīgas ( $p > 0,05$ ), ko parāda arī dotais grafiks.

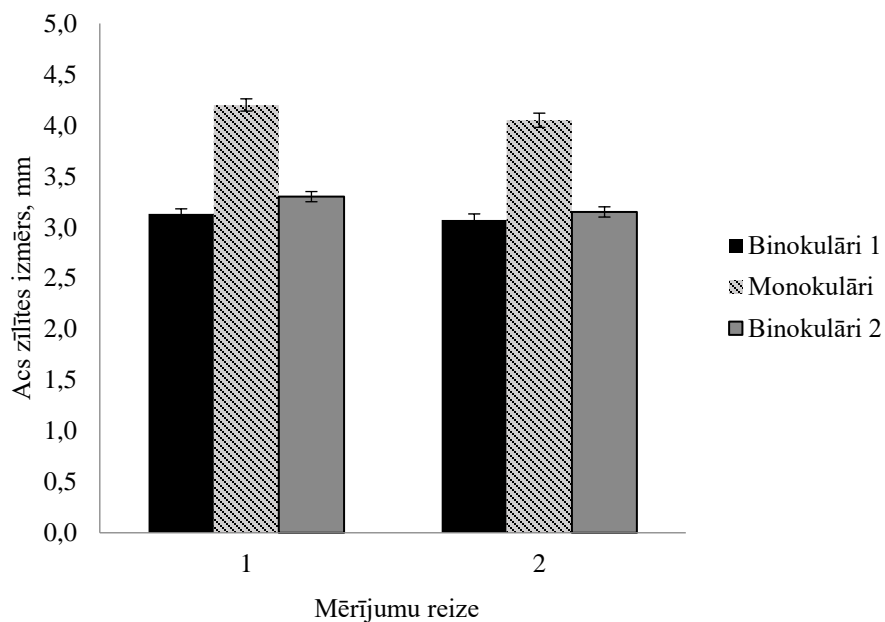


**2.19. att.** Acs zīlītes centra koordināšu salīdzinājums monokulāros un binokulāros apstākļos visiem pētījuma dalībniekiem, pielietojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju

Lai gan statistiski būtiskas atšķirības neuzrādās, pielietojot baltu un melnu aizklājēju, grafiski redzama kopīga tendence, ka visiem dalībniekiem monokulāros apstākļos acs zīlītes centra koordinātes dati pieaug un atšķiras no binokulāri veiktiem mērījumiem. Savukārt, pielietojot caurspīdīgu aizklājēju, grafiski šādas tendences nav novērojamas.

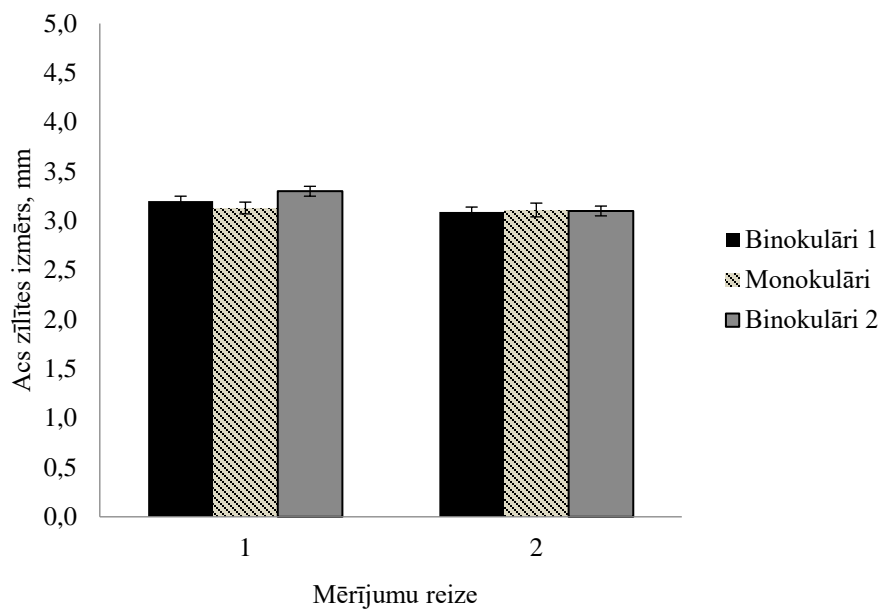
## 2.2.6. Mērījumu atkārtojamība

Lai novērtētu, vai acs zīlītes diametra izmaiņas saglabājas atkārtoti veicot mērījumus, tika veikts atkārtotais mērījums vienam eksperimentu dalībniekam, izmantojot dažādus aizklājējus. Atkārtotais mērījums tika veikts, lai novērtētu, vai acs zīlītes diametra izmaiņas ir saistītas ar pētījuma dalībnieka individuālajām izmaiņām, vai arī ar apkārtējās vides vai arī citu kognitīvo procesu ietekmes rezultātā. Atkārtotā mērījuma rezultāti liecina, ka acs zīlītes diametra izmaiņas saglabājas un atšķiras atkārtoti veicot mērījumus monokulāros un binokulāros apstākļos, izmantojot melnu un baltu aizklājēju (skat. 2.20. att.).



**2.20. att.** Acs zīlītes izmēra vidējās vērtības un tā standarnovirze centrālajā fiksācijas punktā monokulāros un binokulāros apstākļos, izmantojot melnu aizklājēju. Uz horizontālās ass vērtības: 1 – pirmo reizi veicot mērījumus, 2 – atkārtoti veicot mērījumus

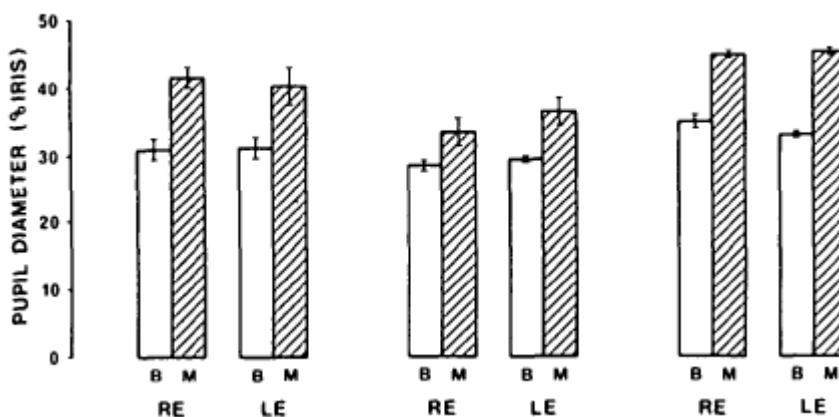
Tāpat atkārtotās izmaiņas tika novērtētas, izmantojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju (skat. 2.21. att.). Grafiks parāda, ka izmaiņas saglabājas katrā no mērījuma reizēm un acs zīlītes diametrs neatšķiras monokulāros un binokulāros apstākļos.



**2.21. att.** Acs zīlītes izmēra vidējās vērtības un tā standarnovirze centrālajā fiksācijas punktā monokulāros un binokulāros apstākļos, izmantojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju. Uz horizontālās ass vērtības: 1 – pirmo reizi veicot mērījumus, 2 – atkārtoti veicot mērījumus

## 2.3. Diskusija

Apkopojot datus par acs zīlītes diamera izmaiņām monokulāras un binokulāras fiksācijas laikā, pielietojot dažādus aizklājējus, ir redzams, ka acs zīlītes diametra izmaiņas ir atkarīgas no aizklājēja veida. Tas varētu liecināt par to, ka vienas acs aizkāšana var radīt atšķirīgu apgaismojumu uz tīklenes. Aizsedzot vienu aci ar konkrēto aizklājēju, tiek samazināts gaismas daudzums, kas krīt uz tīklenes. Šajā gadījumā izmantojot melnu vai baltu aizklājēju tiek samazināts krītošās gaismas daudzums uz tīklenes (skat. 2.2. tabulu) un acs zīlītes diametrs kļūst lielāks monokulāros apstākļos. Līdzīgi *Sirereanu* (1987) apskatīja binokulārās summācijas mehānismu, kas paredz, ka, ja monokulāros un binokulāros apstākļos krīt vienāds gaismas daudzums uz tīklenes, acs zīlītes diametrs ir mazāks binokulāros apstākļos. Tas liecina par to, ka acs zīlītes diametrs atšķiras atkarībā no gaismas daudzuma, kas krīt uz tīklenes fotoreceptoriem (skat. 2.22. att.)

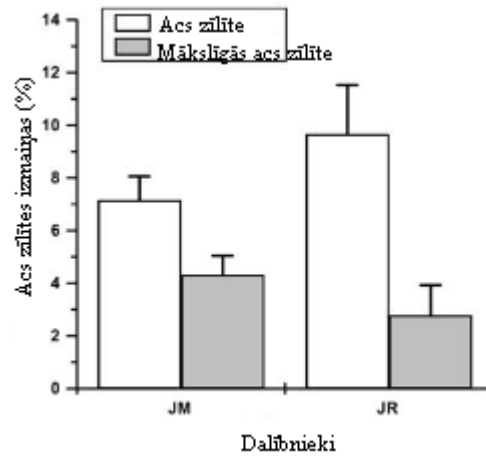


**2.22. att.** Acs zīlītes izmēra sliekšņa vērtības 3 eksperimenta dalībniekiem. RE - labās acs izmaiņas, LE - kreisās acs izmaiņas, B - pieraksts veikts binokulāri, M - pieraksts veikts monokulāri (*Sirereanu*, 1987).

Binokulāra summācija ietver arī akomodācijas, konverģences un acs zīlītes atbildi, apskatot mērķi, kas atrodas tuvumā. Acis zīlīte reaģē ne tikai uz gaismu, bet arī uz tuvumā esošu stimulu. Lai tiktu novērtēts tikai esošās gaismas daudzums, kas krīt uz tīklenes, būtu nepieciešams mainīt apgaismojumu spilgtumu un novērtēt tās ietekmi uz acs zīlītes atbildi. Šāds pētījums sniegtu tiešu atbildi uz tīklenes apgaismojuma daudzumu, izslēdzot akomodācijas un konverģences darbību. Līdzīgi kā mūsu pētījumā, kur tika izmantoti dažādi aizklājēji ar dažādām gaismas intensitātēm.

Tāpat rodas jautājums, vai attālums, kādā pētījuma dalībnieks tur esošo aizklājēju pie acs var ietekmēt pētījuma rezultātus. Ja attālums no acs līdz aizklājējam tiek palielināts, tad esošās gaismas daudzums var palielināties. Tā kā rezultāti tika vērtēti pret katra dalībnieka individuālajām izmaiņām, tad iegūtie rezultāti liecina, ka visiem pētījuma dalībniekiem ir novērotas līdzīgas tendences, izmantojot baltu vai melnu aizklājēju. Tas liecina, ka esošais aizklājējs tiek turēts pietiekoši cieši pie acs, kas neizraisa papildus apgaismojumu daudzumu uz tīklenes. Izmantojot causpīdīgu aizklājēju, 2 pētījuma dalībniekiem tika novērots procentuālais pieaugums monokulāros un binokulāros apstākļos. Iespējams, esošais aizklājēja pozīcija tika mainīta, attiecībā pret pārējiem aizklājējiem.

Salīdzinot acs zīlītes centra koordinātes monokulāros un binokulāros apstākļos, novērots, ka binokulāros apstākļos acs zīlītes centra koordināte samazinās, izmantojot baltu vai melnu aizklājēju. Wyatt (2010) skaidroja, ka acs zīlītei samazinoties, tās diametrs nav vienāds un acs zīlītes centrs var pamainīt savu pozīciju. Samazinājums parasti novirza acs zīlītes centru uz deguna pusi un tas var decentrēties nazāli 0,25 mm - 0,5 mm robežās. Ņemot vērā mainīgo lielumu un to, ka acs zīlītes centra pozīcija var mainīties, Janchinski (2016) savā pētījumā izmantoja mākslīgās acs zīlīti. Izmantojot mākslīgo aci, tiek izlēgti anatomiskie faktori, kas var ietekmēt precizitāti starp dažādiem eksperimentu dalībniekiem. Īpaši svarīgi tad, ja tiek mērītas fiksācijas disparitātes, kur nepieciešams iegūt pēc iespējas augstāku precizitāti un izslēgt jebkādu faktoru ietekmi uz rezultātiem. Tāpat arī Medina et al. (2003), lai precīzāk novērtētu acs zīlītes izmaiņas monokulāros un binokulāros apstākļos, izslēdzot akomodācijas un konverģences darbību, savu pētījumu veica ar cilvēka un mākslīgās acs zīlītēm. Rezultāti parādīja, ka izmantojot mākslīgo acs zīlīti, apgaismojuma daudzums uz tīklenes samazinās monokulāros apstākļos (skat. 2.23. att.). Abi apstākļi tika veikti līdzīgos apstākļos un tā ietekme saglabājas atkārtoti veicot mērījumus.



**2.23. att.** Acs zīlītes izmaiņas (%) izmantojot cilvēka un mākslīgās acs zīlīti 2 pētījuma dalībniekiem  
(Medina, Jiménez, & Barco, 2003)

Janchinski (2016) parādīja, ka acs zīlītes diametra lielums var mainīties atkarībā no testu rādīšana attāluma. Samazinot testa veikšanas attālumu, acs zīlītes dimaters kļūst mazāks un tā starpība kļūst lielāka starp monokulāriem un binokulāriem mērījumiem. Mūsu pētījumā testu rādīšanas attālums bija 60 cm. Tomēr iepriekš netika noskaidrots, kurā testa rādīšanas attālumā acs zīlītes diametra izmaiņu starpība starp monokulārajiem un binokulārajiem mērījumiem ir vismazākā. Tāpat, ja tiek mērītas fiksācijas atšķirības dažādos testa attālumos, būtu jāzvērtē acs zīlītes diametra izmaiņas katrā no testa veikšanas attālumiem. Ja uzdevumu veikšanas attālums ir lielāks par 50 cm, tad acs zīlītes diametra izmaiņas ietekme uz rezultātiem kļūst ar vien būtiskāka.

Iespējams, ka acs zīlītes diametrs monokulāros un binokulāros apstākļos atšķirās, jo mērījumos tikai izmantoti identiski stimuli ar vienādām spilgtuma intensitātēm. Visi stimuli tika veidoti melnā krāsā (RGB: 0;0;0) uz balta fona (RGB: 255;255;255). Lai vienozīmīgi pateiktu, ka acs zīlītes diametrs samazinās binokulāros apstākļos, pielietojot melnu vai baltu aizklājēju, būtu jāizmanto stimuli ar dažādām spilgtuma intensitātēm un formām. Watson (2012) atklāja sakarību, ka stimula spožumu mainot pa 1 logaritmisko vienību, acs zīlītes izmērs mainās par 1,25 mm.

## SECINĀJUMI

- 1) Izmantojot melnu un baltu aizklājēju, acs zīlītes diametrs atšķiras monokulāros un binokulāros apstākļos. Dati parāda, ka samazinot apgaismojuma daudzumu uz tīklenes, acs zīlītes diametrs palielinās.
- 2) Izmantojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju, acs zīlītes izmaiņas neatšķiras monokulāros un binokulāros apstākļos.
- 3) Atkārtoti veicot mērījumus, acs zīlītes diametra izmaiņas saglabājas, pielietojot baltu un melnu aizklājēju, savukārt, izmaiņas nenovēro, pielietojot caurspīdīgu (matētu) aizklājēju.
- 4) Acs zīlītes centra X koordināte statistiski nozīmīgi nemainās, veicot mērījumus monokulāri un binokulāri, kā arī pielietojot dažādus aizklājējus.

## NOBEIGUMS

Šis pētījums parāda, ka ar acu kustību pieraksta iekārt *iViewX Hi-Speed* ir iespējams novērtēt acs zīlītes diametra izmaiņas fiksācijas laikā, pielietojot dažādus aizklājējus. Acs zīlītes diametra izmaiņas ir atkarīgas no esošās gaismas daudzuma, kas krīt uz tīklenes. Tomēr, tas neiespaido acs zīlītes centra X koordinātes novērtējumu.

Turpmākajos pētījumos papildus būtu jāizvērtē parametri, kas atbilst par skata pozīciju. Skata pozīcija dati sniedz informāciju par acs zīlītes centra novērtējumu un radzenes refleksa izmaiņām. Šajā pētījumā tika ņemti dati, kas atbilst tikai par acs zīlītes centra X koordināti. Tālāk būtu jāapskata dati, kas novērtētu, vai acs zīlītes diametra izmaiņas ietekmē arī skata pozīcijas parametrus un radzenes refleksa novērtējumu.

## **PATEICĪBAS**

Vislielāko pateicību vēlos izteikt savai darba vadītājai Aigai Švedei par padomiem, motivāciju, jaunām idejām un ieteikumiem darba tapšanas laikā. Paldies, ka tika atrasta laiks un pacietība, lai sniegtu vērtīgas idejas un padomus.

Paldies Optometrijas un Redzes zinātnes nodaļai par doto iespēju un aizraujošo studiju vidi, visu mācību gadu garumā.

Paldies visiem pētījuma dalībniekiem par atvēlētos laiku, centību un pacietību.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Atchison, D., & Smith, G. (2000). *Optics of the human eye*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Brisson, J., Mainville, M., Mailloux, D., Beaulieu, C., Serres, J., & Sirois, S. (2013). Pupil diameter measurement errors as a function of gaze direction in corneal reflection eyetrackers. *Behavior Response*, 45, 1322–1331.
- Choe, W., Blake, R., & Lee, S. (2016). Pupil size dynamics during fixation impact the accuracy and precision of video-based gaze estimation. *Vision Research*, 118, 48–59.
- Drewes, J., Zhu, W., Hu, Y., & Hu, X. (2014). Smaller is better: drift in gaze measurements due to pupil dynamics. *Plos one*, 9(11), e111197.
- Experiment Center 2 Manual, *Version 2.2, February 2009*
- iView X™ System Manual, *Version 2.8, August 2011*
- Gagl, B., Hawelka, S., & Hutzler, F. (2011). Systematic influence of gaze position on pupil size measurement: analysis and correction. *Behavior Responce*(43), 1171–1181.
- Gamlin, P. D., & McDougal, D. H. (2015). Autonomic control of the eye. *Comparative Physiology*, 5(1), 439–473.
- Yu, M., Lin, Y., Tang, X., Xu, J., Schmidt, D., Wang, X., & Guo, Y. (2015). An easy iris center detection method for eye gaze tracking system. *Journal of Eye Movement Research*, 8(3), 1-20.
- Jainta, S., Vernet, M., Yang, Q., & Kapoula, Z. (2011). The pupil reflects motor preparation for saccades—even before the eye starts to move. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5(97).
- Janchinski, W. (2016). Pupil size affects measures of eye position in video eye tracking: implications for recording vergence accuracy. *Journal of eye movement research*, 9(4), 1-14.
- Kardon, R. (2005). Cilinical Neuro-ophthalmology. *Anatomy and Physiology of the Autonomic Nervous System*, 674-676.
- Kolakowski, S., & Pelz, J. (2006). Compensating for eye tracker camera movement. *Etra*, 27-29.
- Lin, H. Z., Chen, C., & Lee, Y. (2013). Effect of pharmacologic pupil dilation with tropicamide and phenylephrine on wavefront measurements. *Taiwan Journal of Ophthalmology*, 3(2), 62-66.
- Medina, J., Jiménez, J., & Barco, L. J. (2003). The effect of pupil size on binocular summation at suprathreshold conditions. *Current Eye Research*, 327–334.

- Nystrom, M., Hooge, I., & Andersson, R. (2016). Pupil size influences the eye-tracker signal during saccades. *Vision Research*, *121*, 95–103.
- Roig, A. B., Morales, M., Espinosa, J., Perez, J., Mas, D., & Illueca, C. (2012). Pupil detection and tracking for analysis of fixational eye micromovements. *Optik*, *123*, 11-15.
- Sirereanu, R. (1987). Binocular luminance summation in humans with defective binocular vision. *Investions Ophthalmology Vision Science*, 349-355.
- Svede, A., Treija, E., Jaschinski, W., & Krumina, G. (2015). Monocular versus binocular calibrations in evaluating fixation disparity with a video-based eye-tracker. *Perception*, *44*(8-9), 1110–1128.
- The Near Vision Complex, 85-100, <https://www.scribd.com/document/55485434/Ch-5-The-Near-Vision-Complex-p-85-100>
- Trobe, J. (2001). *The Neurology of Vision, 1st edition*. Oxford University Press.
- Wang, C., & Munoz, P. (2015). A circuit for pupil orienting responses: implications for cognitive modulation of pupil size. *Current Opinion in Neurobiology*, *33*, 134-140.
- Watson, A. B. (2012). A unified formula for light-adapted pupil size. *Journal of Vision*, *12*(10), 1-16.
- Wildenmann, U., & Scheaffel, F. (2013). Variations of pupil centration and their effects on video eye. *Ophthalmic & Physiological Optics*, *33*, 634–641.
- Wyatt, J. H. (2010). The human pupil and the use of video-based eyetrackers. *Vision Research*, *50*, 1982-1922.

Maģistra darbs „*Acs zīlītes diametra izmaiņas monokulāra un binokulāra skata pozīcijas pieraksta laikā*” 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: Elīna Treija  
Stud.apl.nr. et11017

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai  
Vadītāja: docente, Dr. phys. Aiga Švede

Recenzents: docents, Dr. phys. Jānis Dzenis

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā \_\_\_\_\_  
Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts Valsts pārbaudījuma komisijas sēdē  
\_\_\_\_\_ protokola Nr. \_\_\_\_\_  
Komisijas sekretārs: \_\_\_\_\_