

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**PAPILDUS INFRASARKANĀ APGAISMOJUMA
IETEKME UZ ACS ZĪLĪTES IZMĒRA
NOVĒRTĒJUMU**

MAĢISTRA DARBS

Autors: **Aiga Batare**

Studenta apliecības Nr. ab12209

Darba vadītājs: docente, Dr.phys. Aiga Švede

RĪGA 2017

ANOTĀCIJA

Maģistra darbs „Papildus infrasarkanā apgaismojuma ietekme uz acs zīlītes izmēra novērtējumu” ir uzrakstīts literārā latviešu valodā uz 51 lapaspusēm. Tas satur 30 attēlus un 46 literatūras avotus, Maģistra darba aktualitāte balstās uz mūsdienās bieži sastopamām sūdzībām par un/vai verģences un akomodācijas sistēmas nesabalansētu darbību. Darba mērķis ir noskaidrot vai vienlaikus darbojošās infrasarkanā starojuma ierīces, kas ir acu kustību novērtēšanas iekārta un ar papildus IS starojumu esoša akomodācijas novērtēšanas ierīce, neietekmē eksperimenta laikā iegūtos rezultātus.

Eksperimenta ietvaros salīdzinājums un novērtējums tika veikts mākslīgās acs gadījumā un 3 eksperimenta dalībniekiem Iegūtie rezultāti parāda statistiski būtiskas atšķirības acs modeļa zīlītes parametru novērtējumā, bet statistiski būtiski nenozīmīgas atšķirības eksperimenta dalībniekiem.

Atslēgvārdi: acs modelis, akomodācija, acu kustības, acs zīlīte, IS starojums.

ABSTRACT

Masters's work „The impact of additional infrared lighting on detection of eye pupil size” is written in literary Latvian language. It has been written on 51 page. It contains 30 pictures and 46 literature sources.

Master's thesis are based on more frequent complains about unbalanced accommodation and/or vergence work in everyday life. The aim of this work is to find out is there any negative effect on experiment data when two operating infrared devices are working together- eye movement evaluation device and accommodation evaluation device with the additional IR light.

Experiment within the comparison and evaluation was carried out artificial eye case, and 3 participants of the experiment. The results show statistically significant differences in the parameters of the artificial eye model pupil assessment, but no statistically significant differences for the experiment participants.

Keywords: artificial eye, accommodation, eye movements, pupil, IR radiation.

SATURS

APZĪMĒJUMU SARAKSTS	1
IEVADS	2
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	3
1.1. Acu kustību pieraksta metodes	3
1.2. Videookulogrāfijas metodes darbības pamatprincipi	4
1.2.1. Acs zīlītes atpazīšana.....	6
1.2.2. Radzenes refleksa novērtējums	10
1.3. Verģences un akomodācijas mērīšana.....	11
1.3.1. Verģences automātiskā mērīšana	12
1.3.2. Akomodācijas automātiskā mērīšana	13
1.3.3. Vienlaicīga verģences un akomodācijas mērīšana	14
2. PĒTĪJUMA DAĻA.....	16
2.1. Metodes apraksts	16
2.2. Eksperimenta gaita	18
2.3. Datu apstrāde	20
2.4. Rezultāti.....	21
2.4.2. Acs modeļa zīlītes novērtējums.....	21
2.3.3. Dalībnieku acs zīlītes centra koordinātas un diametra izvērtējums..	26
2.4. Diskusija.....	37
SECINĀJUMI	40
NOBEIGUMS	41
PATEICĪBA	42
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	43

APZĪMĒJUMU SARAKSTS

IS- infrasarkanais starojums

px- pikseļi (mērvienība)

mm- milimetri (mērvienība)

nm- nanometri (mērvienība)

UV-ultravioletais starojums

IEVADS

Mūsdienās cilvēkiem aizvien vairāk ir aktuāla darbošanās tuvumā jeb attālumā no 20 līdz 60 cm. Tieši tāpēc salīdzinoši biežāk sāk parādīties sūdzības, kuras saistītas ar akomodācijas un/vai vergences sistēmu un sekām, kas rodas gadījumā, kad tās savā starpā neestrādā sabalansēti. Būtiskas izmaiņas var parādīties saskaņotā akomodācijas un vergences sistēmas darbībā, pasliktinoties tās dinamiskajiem un statiskajiem parametriem. Klīnikā ar standarta metodēm ir iespējams novērtēt katras nosauktās sistēmas darbošanās spēju atsevišķi. Tomēr pilnīgai izvērtēšanai nepieciešams laiks, kā arī, iespējams, specializētas iekārtas, kuras spētu novērtēt tuvuma funkciju darbošanās spēju.

Lai detalizētāk izvērtētu akomodācijas un vergences sistēmas darbību, mūsdienās pielieto dažādas objektīvās metodes, no kurām populārākā kļuvusi uz video attēlu analīzi balstītā metode, pielietojot infrasarkanu (IS) starojumu. Līdz šim akomodācija un vergence tiek galvenokārt mērīta atsevišķi, kas neļauj pilnvērtīgi izvērtēt abu mijiedarbību. Ir tikai daži pētījumi (piemēram, Kojima, et al., 2013; Suryakumar, et al., 2007), kuros ir veikts akomodācijas un vergences atbildes vienlaicīgs pieraksts. Suryakumar, et al. (2007) piemin, ka divu iekārtu lietošana, kur abu iekārtu darbības princips un izmantotā starojuma diapazons ir līdzīgs, var kropļot iegūstamos rezultātus.

Līdz ar to maģistra **darba mērķis** ir noskaidrot, kā papildus IS starojums ietekmē uz video-balstītas acu kustību pieraksta iekārtas veiktos acs zīlītes novērtēšanas rezultātus.

Darba uzdevumi:

1. Salīdzināt uz video-balstītas acu kustību pieraksta iekārtas veiktos acs modeļa zīlītes novērtēšanas rezultātus bez un ar papildus IS starojuma, ja diožu novietojums ir horizontāls.
2. Salīdzināt uz video-balstītas acu kustību pieraksta iekārtas veiktos acs modeļa zīlītes novērtēšanas rezultātus bez un ar papildus IS starojuma, ja diožu novietojums ir vertikāls.
3. Salīdzināt uz video-balstītas acu kustību pieraksta iekārtas veiktos acs zīlītes novērtēšanas rezultātus bez un ar papildus IS starojuma reālai acs zīlītei, ja acs zīlīte ir nemainīga (medikamentozi paplašināta).
4. Salīdzināt uz video-balstītas acu kustību pieraksta iekārtas veiktos acs zīlītes novērtēšanas rezultātus bez un ar papildus IS starojuma reālai acs zīlītei, ja acs zīlīte ir kustīga.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

Lai veiktu acs zīlītes izmēra novērtēšanu, nepietiek ar ikdienā satopamiem palīglīdzekļiem. Par pietiekami precīzām iekārtām var saukt acu kustību pieraksta un novērtēšanas iekārtas, kuras ar ļoti augstu precizitāti pat ļoti īsā laika posmā spēj reģistrēt ļoti sīkas izmaiņas aci raksturojošos parametros, piemēram, acs zīlītes izmēru vertikālā un horizontālā virzienā, acs zīlītes centra koordinātas, diametra lielumu un laukuma izmēru.

1.1. Acu kustību pieraksta metodes

Lai arī tiek pielietotas daudzas un dažādas acu kustību pieraksta iekārtas, tomēr par pamata svarīgākajām pieņemts uzskatīt trīs no tām: 1) videookulogrāfijas jeb uz video-balstītas metodes, kas ir bezkontakta metodes un kurās tiek pielietota vai nu redzamā gaisma (~380 – 750 nm), vai arī infrasarkanais (IS) starojums (~750nm – 1000 nm), 2) elektrookulogrāfijas metode, un 3) kontaktmetodes, piemēram, kad tiek pielietota īpaša kontaktlēca ar tajā iestrādātu indukcijas spoli (*Duchowski, 2003; Duchowski, & Vertegaal, 2000; Majaranta, & Bulling, 2014; Young, & Sheena, 1975*). Lai arī videookulogrāfijas metodēm var pielietot gan redzamo, gan IS starojumu un tiek pielietota līdzīga video sistēma datu pierakstam, tomēr noteikta starojuma pielietojums ir piemērotāks un noderīgāks kādā vienā pētīšanas jomā. Elektrookulogrāfijas metodes gadījumā ļoti tuvu cilvēka acs ābolam uz ādas tiek novietoti elektrodi, pēc kuru elektriskā potenciāla izmaiņām ir iespējams spriest pat par veiktām minimālām acu kustībām. Metodi uzskata par ļoti precīzu, bet savienojumā ar mūsdienu tehnoloģiju datu pierakstu un sakarā ar to, ka tā tomēr ir invazīva metode, to ir visai grūti ekspluatēt ikdienas acu kustību novērtējuma vajadzībām. Kontaktmetodes tiek uzskatītas par ļoti precīzām, taču to pielietošanas laikā nepieciešama acs virsmas vietēja anestēzija un tās dalībniekam ir mazāk komfortablas. Tādēļ mūsdienās lielāku popularitāti ieguvušas neinvazīvās metodes, kuru precizitāte tiek aizvien uzlabota. Tās tiek plaši un visai veiksmīgi izmantotas klīniskos un komerciālos pētījumos, piemēram, reklāmas jomā. Acu kustību pieraksta iekārtas ir kļuvušas par labu piemēru un iespēju cilvēka un datora mijiedarbības pētīšanā (*Jacob, 1991*). Tāpat liela nozīme acu kustību novērtējumam un aci raksturojošo parametru novērtēšanai ir psiholoģijā, kognitīvo jeb apziņas procesu izpētē, kā arī medicīnā, piemēram, neiroloģisku saslimšanu diagnostikā.

Iekārtu variācijas iespējamas pēc tā, vai tiek pielietota viena vai vairākas kameras, kā arī pēc gaismas avota sistēmas veida. Iedalījumu veidu papildina nosacījums, vai tiek pielietots

papildus apgaismojums un gaismas avoti, vai arī sistēma paļaujas tikai uz apkārtējo gaismu. Svarīgs ir arī izvēlētās sistēmas darbības princips vai tas ir balstīts uz tieši eksperimenta laikā ievāktas vizuālās informācijas apstrādi vai arī tiek pielietoti modeļi, kuri pēc eksperimenta laikā gūtās informācijas iegūst interesējošos parametrus pēc apstrādes procesā (Fehrat, 2012).

Metodēs tiek veiktas variācijas atskaites punktos un pielietotajos palīg līdzekļos. Piemēram, iespējams pielietot Purkinjē refleksa principu, speciāli modificētas kontaktlēcas radzenes refleksa attēlu (Villanueva, & Cabeza, 2008) vai arī citu acu priekšējo daļu struktūru parametrus par atskaites punktiem. Pēdējā laikā sistemātiski uzlabojumi tika veikti metodēs, kas izmanto uz galvas stiprināmas sistēmas, kā arī ar tālvadību vadāmas un ar papildus kameru pielietojamās metodēs, kopumā padarot tās vieglākas lietošanā un mazāk invazīvas acu kustību eksperimenta dalībniekiem.

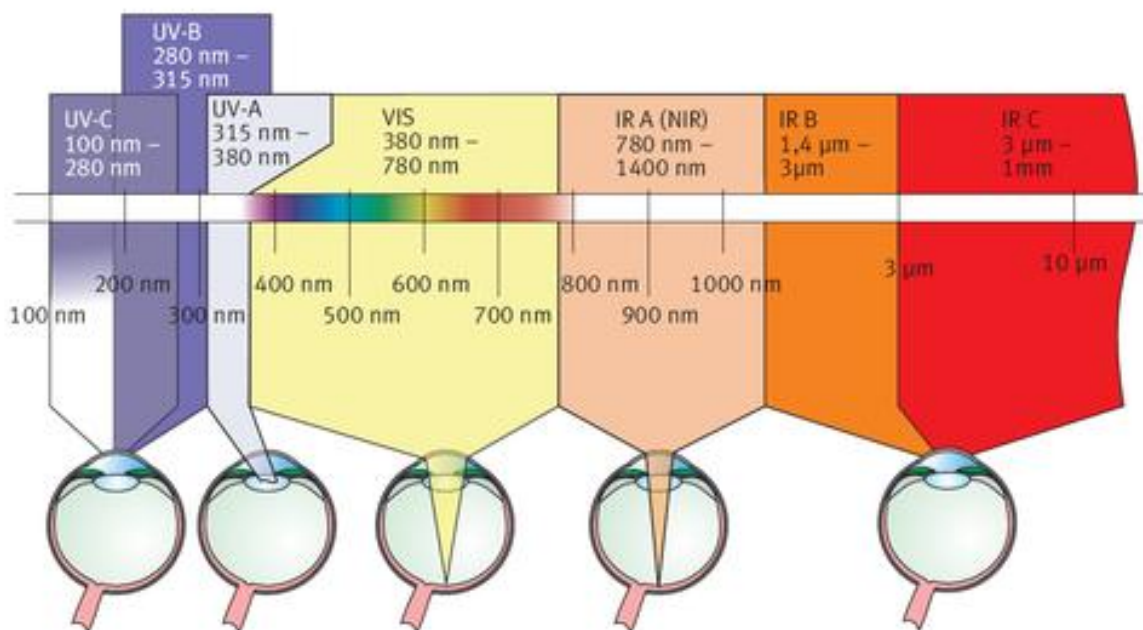
1.2. Videokulogrāfijas metodes darbības pamatprincipi

Viena no populārākajām neinvazīvajām metodēm ir videokulogrāfijas metode. Šajā metodē acs skata pozīcija tiek noteikta, izmantojot informāciju, ko iegūst no nofilmētā video attēla. Datorprogramma ar specifiski izveidotu algoritmu palīdzību veic ierakstītā video attēla apstrādi. Mērķis ir noteikt konkrētas attēla īpašības un iezīmes (piemēram, zīlītes atrašanās vieta, tās centra novietojums, limba un sklēras robežas vieta). Pēc interesējošo iezīmju noteikšanas attēlā, tiek veikta sasaiste starp konkrētiem parametriem un skata pozīcijas noteikšanu katram dalībniekam individuāli.

Videokulogrāfijas metodēm ir izstrādāti daudzi algoritmi, tomēr to princips pamatā ir vienāds. Papildus tiek pielietotas individuālas izmaiņas, kas attiecas uz pielietoto gaismas avotu vai arī kameru skaita un novietojuma variācijām (Duchowski, 2003). Piemēram, Tomono, Iida, & Kobayashi (1989) pielietoja trīs kameru sistēmu un divus dažādā polarizācijas virzienā vērstus gaismas avotus, tādā veidā ļaujot veikt iegūtās informācijas filtrēšanu, atkarībā no gaismas polarizācijas. Savukārt, Merchant, Morrisette, & Porterfield (1974) veiktās sistēmas izmaiņas bija spoguļsistēmas ieviešana acs izgaismošanai, lai IS starojums acī nenonāktu tieši no ierīces, bet gan atstarojoties no spoguļvirsmas. Vienkāršākās izmaiņas parasti tiek veiktas IS starojuma diapazona izvēlē, kā arī kamerās, kuras tiek pielietotas noteikta viļņa garuma starojuma uztveršanai, piemēram, papildus pielietojot IS vai arī redzamās gaismas filtrus.

Lielākā daļa acu kustību pieraksta iekārtu izmanto IS starojumu. Tā kā IS starojums cilvēkam ir neredzams, tas neietekmē relatīvi dabīgos skatīšanās apstākļus, redzes funkcijas un zīlītes darbību. 1.1. attēlā atainotas gaismas spektra absorbcijas vietas cilvēka acs

gadījumā, sākot no UV (ultravioletais starojums), turpinot ar redzamo gaismu un beidzot ar IS starojumu. Redzams, ka UV spektra gadījumā ir iespējams veikt klasifikāciju, atkarībā no gaismas viļņa garumiem un no tā, cik dziļi acs struktūrās tās tiek absorbētas. UV gaismu pielietojot acu kustību novērtēšanā būtu visai sarežģīti, ņemot vērā to, ka mainoties tās intensitātei notiek acs zīlītes muskuļu darbība, zīlītei sašaurinoties vai paplašinoties,



1.1. att. Piemērs gaismas absorbcijai cilvēka acī, atkarībā no gaismas veida un viļņa garuma, izteikta nm (aizgūts no interneta resursa)

Redzamās gaismas gadījumā (VIS) nekāds specifisks viļņu garumu sadalījums netiek veikts un redzams, ka viss gaismas spektra diapazons nonāk līdz acs dziļākiem slāņiem, sasniedzot tīkleni. IS starojuma gadījumā redzams, ka pastāv trīs veidu iedalījumi (A, B, C) un, acu kustību novērtēšanas gadījumā pielietotais IS gaismas starojums pieder pie tuvās IS gaismas daļas (IR A (NIR)). Tas, lai arī nonāk dziļākās acs struktūrās eksperimenta dalībniekam nekaitē, jo parasti iekārtās pielietotais tuvās IS starojuma spektrs ir (~750 nm – 1000 nm) (Majaranta, & Bulling, 2014), kuram nav īpašas ietekmes uz acs dziļākajām struktūrām

IS starojuma metožu pielietošanu *Fehrat* (2012) dēvē arī par aktīvās gaismas sistēmu, jo šajā gadījumā ir svarīgs ne tikai pareizi pielietots algoritms, bet arī pareizs IS avotu novietojums, ko daļēji iekļauj arī kalibrēšanas procesā. IS starojuma izmantošana novērš negatīvu jeb nekontrolējamu atstarošanos no acs struktūrām, pateicoties aktīvai acs

izgaismošanai ar vienotu un kontrolēta viļņu garuma IS starojumu. Šāda veida acs izgaismošanas gadījumā tiek novērsti nevēlamie acs attēla artefakti (*Kunka et al., 2010*).

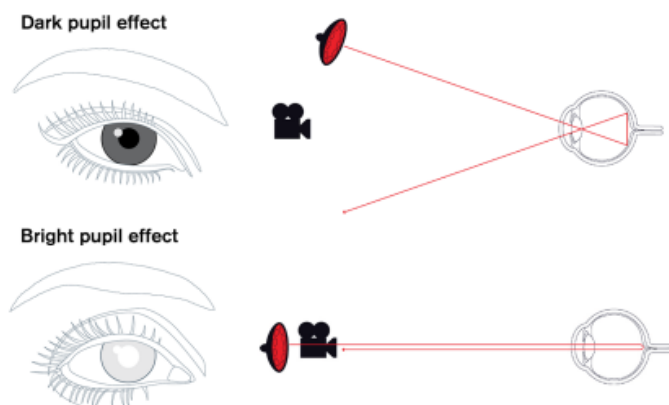
1.2.1. Acs zīlītes atpazīšana

Vairākās videookulogrāfijas metodēs skata pozīcijas novērtēšanai tiek izmantoti tieši zīlītes parametri (centra koordinātas). Zīlītes izmantošanu pamato vairāki apstākļi. Pirmkārt, IS starojums (salīdzinājumā ar redzamo gaismu) būtiski neietekmē zīlītes izmēru, jo IS gaisma ir cilvēkam nesaskatāmā gaismas spektrā (*Duachowski, 2003*). Piedevām, sklēra un varavīksnene absorbē IS-A starojumu, kas palīdz vēl labāk izšķirt zīlīti (*Kunka, & Kostek, 2009*). Savukārt ierīcēs, kuras balstās uz redzamās gaismas pielietojumu, redzamo gaismu absorbē tikai sklēra, līdz ar to varavīksnenes reflekss varētu radīt troksni, kas apgrūtina zīlītes kontūru izšķiršanu. Salīdzinājumā ar citām acs priekšējām daļām (piemēram, sklēru), zīlītes kontūras ir mazākas un asāk definētas. Otrkārt, zīlīti vismazāk ietekmē fizioloģiska acs priekšējo struktūru daļēja aizklāšana vai piesegšana, ko parasti rada plaksti (*Fu, Zang & Liu, 2012*). Tomēr pastāv iespēja, ka tumšāku varavīksneņu īpašniekiem ir grūtāk precīzi noteikt robežu starp varavīksneni un zīlīti (*Morimoto et al., 2000*). Treškārt, zīlītes parametru objektīvs novērtējums ir visai precīzs mērījums (*Twa, et al. (2004)*).

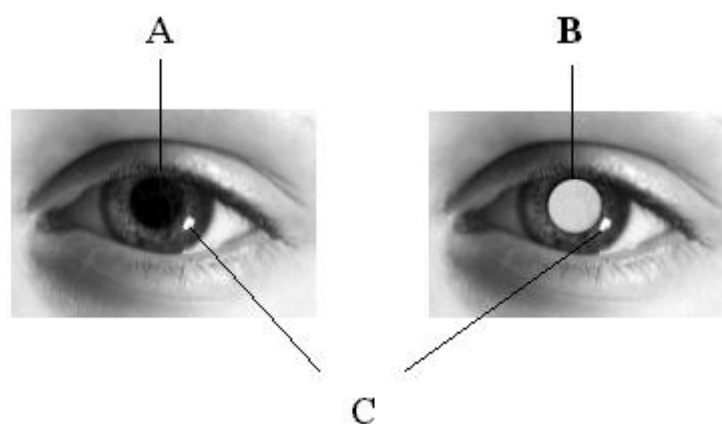
Saskatāmā zīlīte jeb ieejas zīlīte ir patiesās zīlītes attēls, kurš radies no stariem, kuri atstarojušies no radzenes, kas uzvedas kā ieliekta virsma, kura lauž starus (*Li, Kolakowski & Pelz, 2008*). Centra noteikšana redzamajai zīlītes daļai notiek izmantojot noteiktus algoritmus kur, atkarībā no pielietotās tehnikas, ir savas noteiktas aprēķināšanas metodes. Turklāt šīs metodes pielietošanā papildus *Li, Kolakowski & Pelz, (2008)* piebilda, ka šķietamās zīlītes centrs vienmēr sakrīt ar acs optisko asi neatkarīgi no acs novietojuma un skata virziena, jo izejas zīlīte tāpat kā skata virziens tiek novērtēts pēc no acs izejošās gaismas. Patiesās zīlītes centrs un acs rotācijas centrs tiek uzskatīti par esošiem uz acs optiskās ass.

Hansen & Ji (2010) norāda, ka, IS starojumam nākot iekšā pa zīlītes atvērumu, lielākā tā daļa tiek atstarota atpakaļ, tādā veidā radot lielu intensitātes atšķirību. Atkarībā no IS starojuma avota novietojuma, iespējams novērot divu veidu zīlītes attēlus – gaišu un tumšu. Kad IS starojuma avots tiek novietots tuvu uztverošās kameras optiskajai asij (skat. 1.2. att.), no acs dziļākajam struktūrām atstarotā gaisma, kas “iznāk” no zīlītes, nonāk tieši kamerā un tiek iegūts gaišs acs zīlītes attēls, proti, zīlīte ir gaišāka par visu pārējo uzņemtajā attēlā (skat. 1.3. att.). Līdzīgs efekts tiek sasniegts, veicot acs fotografēšanu ar tiešo zibspuldzi, kad tāpat tiek iegūts gaišas zīlītes efekts (*Morimoto, et al., 2000*). Gadījumā, kad IS starojuma avota novietojums nesakrīt ar uztverošās kameras optisko asi (skat. 1.2. att.), tiks iegūts tumšas

zīlītes attēls, proti, zīlīte būs tumšāka par visu pārējo uzņemtajā attēlā (skat. 1.3. att.) (Duchowski, 2003).



1.2. att. Shematisks tumšas zīlītes iegūšanas attēlojums (augšā), kad IS starojuma avots neatrodas uz uztverošās kameras optiskās ass, un gaišas zīlītes iegūšanas attēlojums (apakšā), kur IS starojuma avots atrodas ļoti tuvu vai tieši uz uztverošās kameras optiskās ass (attēls aizgūts no: <https://www.tobiipro.com/learn-and-support/learn/eye-tracking-essentials/what-is-dark-and-bright-pupil-tracking/>).



1.3. att. Tumšas (A) un gaišas (B) zīlītes attēla piemērs video-balstītas iekārtas darbības laikā, ja tiek izmantots IS starojums; C – radzenes reflekss (Morimoto, et al., 2000).

Neatkarīgi no tā, kāds princips ir pielietots un iegūtās zīlītes (tumšas vai gaišas) attēla, sākotnējā video attēla apstrādē tiek pielietots vienāds princips – tiek veikta zīlītes lokalizācija ar globālās sliekšņa noteikšanas metodi, tādējādi iegūstot bināru attēlu, kurā zīlīte ir kā balts objekts uz melna fona. Sliekšnis nosaka pirmo intensitātes kritumu jeb atšķirību attēla histogrammā (Chernyack, 2005). Attēla palielināšana ļauj zīlītei būt vienīgajam objektam, kas aizņem lielāko attēla daļu, tā nodrošinot vienkāršāku parametru analīzi un darbošanos.

Tālāk tiek veikta robežu pikseļu noteikšana tā, lai varētu tikt pielīdzināta piecu parametru elipse, lai precīzāk noteiktu patieso zīlītes formu. Tiklīdz atbilstošā elipses forma tiek piemeklēta, attēls tiek segmentēts jeb sadalīts un tiek veikta zīlītes pikseļu skaita pārrēķināšana relatīvās zīlītes laukumā, un tādējādi iespējams noteikt zīlītes centra atrašanās vietu (*Santis & Iacoviello, 2006*).

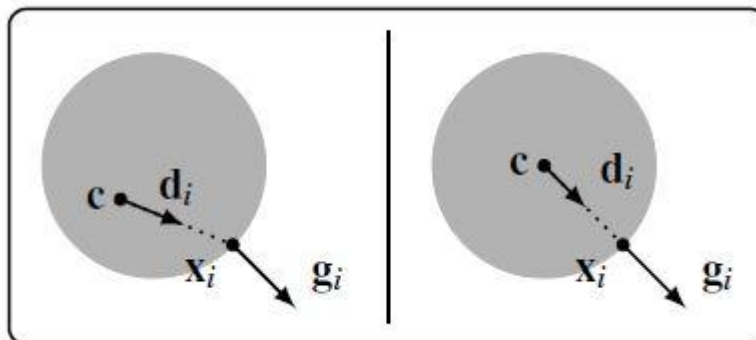
Iskander, et al. (2003) pirms zīlītes centra noteikšanas, pēc formas tā tiek izskaitļota un raksturota kā rotējoša un simetriska vienība. Tālāk simetriskuma mērījumi tiek veikti pielietojot Furjē transformāciju, zīlītes centru definējot kā maksimālās vērtības punktu. Savukārt *Zhu, Moore & Raphan, (1999)* pētījumā tiek pielietots cits zīlītes centra noteikšanas princips. Tajā tiek izmantota stabila procedūra, kur zīlītes centra noteikšanai tiek pielietota labākās pieskaņotās elipses izmantošanas metode. Tas tiek panākts pielietojot algoritmu, kurš balstās uz izliekumu principa un ir spējīgs noteikt leņķiskās izmaiņas pēc zīlītes robežām un izskaitļotu robežu pielīdzināšanas principa. Kopumā, ņemot vērā zīlītes robežas un to izmaiņas, tiek pieņemts elipses modelis, kas visvairāk atbilst konkrētās zīlītes parametru modelim.

Pastāv algoritmi, kuros papildus savā starpā veic gaišas un tumšas acu zīlītes salīdzināšanu, šādā veidā iegūstot efektīvāku zīlītes izvērtēšanu. Šādu metodi pielietoja *Morimoto, et al. (2000)*, izmantojot divus IS starojuma avotus. Šāda veida tehnika tika piedāvāta, lai izvairītos no sliktas kvalitātes un zemas izšķirtspējas attēla radītājam kļūdām (*Ebisawa, & Satoh, 1993*). Tomēr, pateicoties mūsdienu kameru augstajā izšķirtspējām, šāds salīdzinājums jaunākās paaudzes iekārtās vairs netiek pielietots.

Zīlītes centra novērtēšanai tiek pielietots arī masas centra algoritms. Šis algoritms atrod zīlītes apgabalu, sameklējot un izšķirot melnos pikseļus, starp kuriem video attēlā tiek atrasts centrs. Pretēji elipses pielīdzināšanas metodei, masas centra algoritma novērtēšanas metodes gadījumā trokšņu ietekme ir minimāla (*S-R Research Eyelink-CL Manual, p. 71*). Šīs metodes gadījumā, atkarība no skata virziena ir vienādā vērtībā gan horizontālā, gan vertikālā virzienā (*Gagl, Hawelka, & Hutzler, 2011*).

Kā lielāko problēmu acu kustību novērtēšanas laikā *Timm un Barth (2011)* min tieši zemas kvalitātes un izšķirtspējas attēlus, kuru gadījumā acs zīlītes centra novērtējums nav visai precīzs. Savā izstrādātajā pētījumā viņi piedāvāja jaunu pēc viņu domām ļoti precīzu noteikšanas metodi, kura balstās uz attēla gradienta metodes principa. Tāpat pēc šo pētnieku domām kopumā acs zīlītes centra noteikšanas gadījumā tiek pielietots kopumā tikai trīs metodes, piemēram uz iezīmēm balstītā, uz modeli balstītā vai arī hibrīdmetode. Kā alternatīvu jau esošajām metodēm šo pētnieku izstrādātā metode ir daudzpakāpju uz vairākām iezīmēm balstīta metode, kura pat zemas izšķirtspējas attēla gadījumā spēj precīzi noteikt acs

zīlītes centra atrašanās vietu. Ar ģeometrisku metožu palīdzību apļveida objektu centra noteikšana ir iespējama pēc attēla gradientu metodes veicot virziena vektoru analīzi. Metodes principa vizualizācijai tiek piedāvāts 1.4 att..



1.4. att. Uzskatāms piemērs ar tumšākas krāsas apli uz gaiša fona kā līdzību acs varavīksnenei un sklērai, kur attēla kreisajā pusē pārvietojuma vektora \mathbf{d}_i virziens nesakrīt ar gradienta vektora \mathbf{g}_i virzienu kā tas ir labās puses attēla gadījumā nosakot acs zīlītes centru \mathbf{c} (Timma & Barth, 2011)

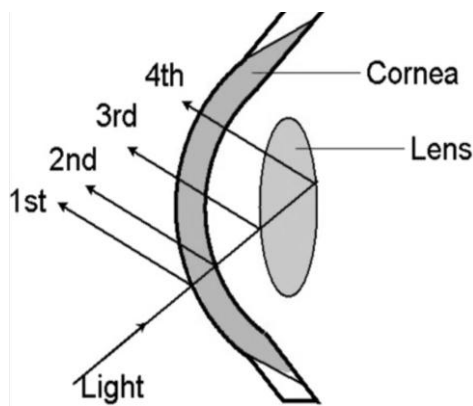
Matemātiskās analīzes gadījumā, piemēram, kad \mathbf{c} ir iespējamais acs zīlītes centrs un \mathbf{g}_i gradienta vektors pozīcijā \mathbf{x}_i , normalizētam pārvietojuma vektoram \mathbf{d}_i pēc virziena būtu jāsakrīt ar gradienta \mathbf{g}_i virzienu. To iespējams panākt vairākkārt acs attēlam pielietojot noteiktu algoritmus, kuros optimālais cirkulāras formas centrs attēlā tiek noteikts pēc attēla pikseļu pozīcijas virziena pārvietojuma algoritma piemeklēšanas attiecīgajam gradienta vektoram. Tomēr piedāvātās metodes gadījumā tās efektivitāte tikusi novērtēta uz jau iegūtu acs attēlu datubāzi un pielietojums mērījuma laikā nav iespējams.

Fizioloģiski zīlītes izmēra izmaiņas parādās kognitīvu procesu dēļ, kā arī apgaismojuma izmaiņu dēļ. Veicot zīlītes diametra izmaiņu novērtēšanu, iespējamās izmaiņas atkarībā no skata virziena. Skata virziena ietekme uz zīlītes diametra izmaiņām no sākuma tika novērtēta acs modelī, kurā zīlītes diametrs saglabājas nemainīgs visu laiku. Sistemātiskie mērījumi acs modeļa gadījumā, lai arī diametrs visu laiku zīlītei palika nemainīgs, parādīja būtiskas izmaiņas zīlītes izmērā atkarībā no skata pozīcijas virziena, īpaši horizontālajos (Gagl, Hawelka, & Hutzler, 2011), ierosinot, ka citā virzienā ejoša zīlītes atbilde veicot teikumu lasīšanu, ir uzskatāma par mērījuma kļūdu (Gagl, Hawelka, & Hutzler, 2011). Mākslīgās acs modelis ar 4,5 mm zīlīti tika izveidots, orientācijas izmaiņas tika veiktas ar goniometra palīdzību. Konkrētās (izmantotajai ierīcei SR-Reserch Eyelink 1000) viedeokulogrāfijas ierīces ražotāji atzina, ka zīlītes izmēru mērījumus ietekmē pati sistēma un tieši skata pozīcijas maiņa. Zīlītes forma mainās no apļa uz elipsi. Papildus kļūda iespējama atkarībā no varavīksnenes anatomijas, tieši tās biezuma, kas tad arī ir saistīta un definē zīlīti (Gagl, Hawelka, & Hutzler, 2011).

1.2.2. Radzenes refleksa novērtējums

Starp daudzām citām acs attēlu raksturojošām iezīmēm, acs zīlītes centrs, iespējams, var tikt uzskatīts par piemērotāko izmantojamo parametru kā atskaites punktu acu kustību novērtēšanas gadījumā. Pētījuma mērķis bija noskaidrot, kā varētu pielietot modeli, kurš balstās tikai uz acs zīlītes centra parametru (*Villanueva, Cabeza & Porta, 2006*). Taču tikai zīlītes centra novietojuma izsekošana tiek uzskatīta par neprecīzu. Kā iemeslu min ietekmi no pacienta iespējamām galvas un visa ķermeņa kustībām. Tāpēc iekārtās, ja tiek izmantots IS starojums, parādās papildus parametri, kurus iespējams ņemt vērā precīzākai acu kustību novērtēšanai. Tas ir radzenes reflekss, kas ir kā papildus atskaites punkts precīzākai interesējošo parametru noteikšanai. Izmantojot gan zīlītes centra koordinātes, gan radzenes refleksu acs skata pozīcijas novērtēšanai, tiek pieļautas minimālas galvas kustības, kuras pati acu kustību pieraksta iekārta spēs kompensēt (*Majaranta, & Bulling, 2014*). Acu kustības visbiežāk tiek novērtētas, ņemot vērā radzenes refleksa un zīlītes centra savstarpējā novietojuma izmaiņas. Tā kā acu kustību laikā radzenes reflekss pārsvarā paliek nemainīgā pozīcijā, to var izmantot kā vienkāršu atskaites punktu zīlītes pozīcijas maiņas novērtēšanai, tādējādi arī ļaujot aprēķināt skatiena vektoru jeb noteikt skata virzienu (*Duchowski, & Vertegaal, 2000*). Tas nepieprasa papildus galvu stabilizējošo iekārtu un sekmīgi tiek pielietota acu kustību mērīšanā bērniem (*Suryakumar, et al., 2007*).

Kā radzenes reflekss tiek izmantots pirmais Purkinjē attēls (skat. 1.5. att.). Tā kā gaisma atstarojas no radzenes stāvākās vietas, kas atrodas priekšā acs optiskajai asij, radzenes reflekss kustās tieši tajā pašā virzienā, kurā acs. Tieši tāpēc Purkinjē attēlu izmantošana ir atzīta par samērā precīzu acu kustību novērtēšanā. (*Young, & Sheena, 1975*). Bieži vien acu kustību novērtēšanas ierīcēs par atskaites punktu tiek ņemts arī ceturtais Purkinjē reflekss no acs virsmas.



1.5. att. Redzams refleksu attēlojums uz acs virsmas pēc Purkinjē refleksu principa, kur gaismai ienākot iekšā acī, no atstarojošās gaismas pirmais reflekss (1st) rodas atstarojoties no radzenes priekšējās virsmas (Cornea), otrs (2nd) no radzenes mugurējās virsmas, trešais (3rd) no lēcas (Lens) priekšējās virsmas, bet ceturtais (4th) no lēcas mugurējās virsmas (Morimoto, et al., 2000).

Tāpat pastāv uzskats, ka video sistēmas pielietojuma gadījumā var traucēt apkārt esošais apgaismojums, kā arī skropstas, varavīksnenes krāsa vai arī kosmētika. Racionālais pamatojums tam, ka acu kustību novērtēšanā tiek vilktas atskaites sakarības starp acs zīlīti un radzenes refleksu ir tāds, ka, lai arī pat pie sīkām galvas kustībām pieraksta video attēlā ir redzamas kustības izmaiņas, to savstarpējais relatīvais novietojums nemainās. Tieši tāpēc papildus Purkinjē refleksa pielietojuma par atskaites punktu tiek uzskatītāka par precīzāku metodi nekā gadījumā, kad tiek vērtēta tikai acs zīlīte. Tomēr, lai arī šādu sistēmu mazāk ietekmē nelielas galvas kustības, šāda veida pieraksta gadījumā tiek iegūti trokšņaināki rezultāti, jo relatīvi lielākas zīlītes gadījumā radzenes refleksa centrs nevar tikt noteikts ar pietiekami augstu precizitāti (Kolakowski, & Pelz, 2006).

1.3. Verģences un akomodācijas mērīšana

Dinamiskie akomodācijas un verģences mērījumi ir nepieciešami, lai pilnīgi spētu analizēt tuvuma triādes atbildi, ko veido akomodācijas, verģences un zīlītes kopīga darbība (Mays, & Gamlin, 1995). Lai arī tas ir ļoti nozīmīgi, to apgrūtina acs ābola rotācijas ietekme uz akomodācijas mērījumiem (Krishan, Shirachi, & Stark, 1977). Dinamiskie optometri, kuru darbība balstās uz trešo Purkinjē refleksu, it kā ir nejutīgi uz nelielām acs ābola rotācijas kustībām un var tikt pielietoti dinamisku akomodatīvās verģences atbilžu iegūšanai. Akomodācijas atbildi uz verģences stimulu uzskata par primāro mehānismu akomodācijai uz tuvumā esoša objekta atbildi triādes darbības laikā (Davson, 1972). Kā arī verģences akomodācijas līdzsvarota darbība ir ļoti nozīmīga normālās akomodācijas atbildes kontrolē

(Fincham, & Watson, 1975). Acs ābola rotācija parādās pakāpenisku disparitātes stimula izmaiņu gadījumā, saskaņā ar Heringa likumu (Bahill et al., 1976). Tiek piedāvāta dinamiska mērīšanas iespēja, kas balstās uz trešo Purkinjē refleksa metodes principu un netiek ietekmēts no acs ābola rotācijas puses ne vairāk kā 5 grādu robežās.

Okulāri motorā sistēma, kas savā starpā sadarbojas binokulārās redzes laikā. Tikai dažas iekārtas, kas parast ir agrāku paaudžu optometri, ļauj vienlaikus novērtēt akomodācijas un vergences sniegto atbildi. Liela ātruma digitālā fotorefraktometra iekārtās izstrāde, kura ļautu ātri noteikt akomodācijas atbildes lielumu (līdz pat 75 Hz). Sinhronizējoties ar video principa stereo acu kustību novērtēšanas sistēmu vienlaikus būtu iespējams novērtēt akomodācijas un vergences sniegto atbildes lielumu. Piemērota jaunu bērnu izpētes gadījumos un potenciāli varētu tikt izmantota klīniskos pētījumos (Suryakamur et al., 2007).

1.3.1. Vergences automātiskā mērīšana

Pamatā vergences darbošanās princips ir abu acu asu vēršana pretējos virzienos. Tiek veikta vai nu konverģējoša vai diverģējoša kustība. Kojima, et al. (2013) pētījumā, kad tika veikta konverģences novērtēšana, tiek minēts, ka gadījumā, kad dalībnieks apskata stereoskopisku attēlu, konverģences daļa ir tā, kas tiek vērsta uz stereo attāla daļu. Tas tiek attiecināms uz eksperimentu, kad tika novērtēta skatīšanās uz 3D attēliem, izmantojot šķidro kristālu brilles.

Templin, Didyk, & Myszkowski (2014) savā pētījumā apgalvo, ka apskatot 3D attēlus, acīm ar vergences palīdzību ir jāspēj ātri pielāgoties jaunam attēla nobīdes lielumam, neskatoties uz konflikta situāciju no akomodācijas puses. Savā pētījumā tika veikta virkne acu kustību novērtēšanas eksperimentu, kur iegūti dati ļautu novērtēt modeli, pēc kura notiek vergences sistēmas pielāgošanās uz mainīgu attēlu, skatoties uz stereoskopisku ekrānu. Tā kā vergences sistēmai ir nepieciešams veikt strauju atbildi uz attēla izmaiņām, binokulārā stabilitāte var tikt izjaukta un var parādīties arī dubultošanās. Vergences darbība tiek veikta pēc diviem darbības posmiem, kad sākotnēji tiek veikta atbilde uz parādīto stimulu, kas notiek visai ātri, kad skats tiek vērsts uz interesējošo vietu. Tālāk sākas lēnā fāze, kas tiek dēvēta arī par tonisko, kad tiek veikta vergences koriģēšana uz mērķi sīkākai saskatīšanai (Templin, Didyk, & Myszkowski (2014).

Pastāv vairāku veida vergences atbildes izvērtēšanas metodes uz dažāda veida stimuliem, piemēram, pulsveida, soļveida vai arī sinusoidālas disparitātes veidā. Par būtiskāko Templin, Didyk, & Myszkowski (2014) uzskata tieši soļveida izmaiņas, kuras sava pētījumā arī izmantoja, lai novērtētu attēla nobīdi. Lielākajā daļā vergences novērtēšanas eksperimentu

tiek pielietoti fizikāli mērķi vai arī pasīvi pārvietojami ekrāni (*Erklens, et al., 1989*). Piemēram, izmantojot tādus vienkāršus stimulus kā vertikālas līnijas, var tikt izslēgti citi vergenci ietekmējoši faktori. Tā vietā, lai laikā mērītu vergences atbildes lielumu, var tikt pielietota acu kustību novērtēšanas iekārta, pēc kuras video ieraksta un datu iegūšanas var izvērtēt vergences atbildes lielumu.

1.3.2. Akomodācijas automātiskā mērīšana

IS starojuma fotorefraktors tīcis pielietots *Abharam, Vilpuru, & Slasser (2003)* pētījumā, lai noteiktu dinamiskās akomodācijas atbildes izmaiņas pērtiķiem. Pielietotās metodes gadījumā tiek nodrošināta elastīga IS starojuma diožu pielietošana un novietošana, kā arī iespējams mainīt kameras atrašanās attālumu, ko dažreiz nav iespējams komerciāli pielietojamiem fotorefraktoriem (*PowerRefractor, Plusoptix*) (*Abharam, Vilpuru, & Slasser, 2003*). Šajā gadījumā tiek pielietota metode, kad tiek noteikts slīpuma profils zīlītes spilgtuma profilam un iegūtie dati tiek sasaistīti ar acs refrakcijas lielumu. Katram eksperimenta dalībniekam tika veikta kalibrēšana, ņemot vērā attiecību starp zīlītes spilgtuma profilu un refrakcijas lielumu. Zīlītes slīpuma profils tika iegūts, veicot atbildes fiksēšanu īsu brīdi pirms jauna akomodatīva stimula parādīšanās. Tas tika darīts ar domu, ka tieši tajā brīdī tiek sasniegts akomodatīva stimula atbildes maksimālās vērtības lielums. Lai beigās noteiktu dinamiskās akomodācijas atbildi, zīlītes vertikālā slīpuma atbilde tika izmērīta iegūtajā video materiālā un analizēta kadru pa kadram. Pētījuma laikā tika konstatēts, ka ir iespējams noteikt mazākās acs lēcas virsmas kustības ar izšķiršanas spēju viens pikselis, kas vēlāk tika pārrēķināts milimetros, ņemot vērā arī acs lēcas optiskā stipruma lielumu.

Liela ātruma akomodācijas atbildes mērījumiem, tika izveidots digitāls ekscentrisks fotorefraktors. IS starojums tika pielietots, kas nāca no LED diodēm, kas ir nedaudz nobīdītas no kameras uzņemšanas ass virziena, kas nodrošina refleksu uz radzenes, kuru tad arī ieraksta video sistēma. Iekārta sastāv no lādiņsaistes jeb CCD kameras (*charge-coupled device*), kas kalpo par attēlveides sistēmu. LED diožu kopums ir izvietots horizontāli un kalpo par gaismas avotu, kas tika uzmontēts uz kameras diafragmas, un alumīnija korpusā. Video tika iegūts no IS kameras, kas tiek komerciāli izmantota. Katrs video kadrs un tā iegūtā vērtība tika pārveidota par akomodācijas atbildi ar individuāla kalibrēšanas vienādojuma palīdzību (*Suryakumur, et al., 2007*).

1.3.3. Vienlaicīga vergences un akomodācijas mērīšana

Lai arī atsevišķi konverģence un akomodācija ir samērā labi un plaši izpētīta, tomēr to vienlaicīga novērtēšana tikusi pētīta maz. Šī uzdevuma veikšanai nepieciešams veikt divu neatkarīgu ierīču sinhronizāciju savā starpā, piemēram, optometru un acu kustību pieraksta iekārtu. Saslēgšana ir sarežģīta un ir izdevusies, piemēram, haplaskopa optometru un SRI sistēmu, dubolto Purkinjē acs kustību pieraksta iekārtu un optometru, kā arī IS optometra un acu kustību pieraksta ierīces apvienojumu (*Suryakumur et al.*, 2007). Tomēr jaunāku pētījumu gadījumā šī mēģinājuma rezultātu atkārtota iegūšana tomēr nav bijusi visai veiksmīga eksperimenta gaitas ne visai precīza apraksta dēļ.

Kojima, et al. (2013) savā pētījumā mēģināja noskaidrot, vai ir iespējams veikt akomodācijas un vergences atbildes mērīšanu un kā tas atšķiras gadījumā, kad tiek apskatīts 3D attēls. Minētajā pētījumā no sākuma tika veikts akomodācijas un konverģences savstarpējas mijiedarbības novērtējums datu iegūšanas laikā, kad dalībniekiem bija uzdevums skatīties uz 2D videoklipu un tikai izdošanās gadījumā salīdzinājums tika veikts arī ar 3D video. Mērījumi tika veikti pielietojot auto-refrakto keratometru WAM-5500 (Grand Seiko Co.Ltd., Hiroshima, Japāna) un acu pazīmju ierakstīšanas iekārtu EMR-9 (NAC Image Technology Inc., Tokyo, Japāna). Daudzi literatūras avoti apgalvo, ka brīdī, kad tiek apskatīts 3D attēls, akomodācija un vergence „skatās” katra uz savu attēla daļu. Akomodācijas gadījumā fiksācija ir uz ekrānu, savukārt vergences sistēma tiek fiksēta uz attēla telpisko komponenti, kas atrodas projām no reālā ekrāna novietojuma. Tā kā dažiem cilvēkiem šo sistēmu sabalansēšana atšķirīgo skata pozīciju dēļ ir traucēta, varētu rasties pat acu nogurums pēc 3D attēlu skatīšanās vai arī nelabums un citi nepatīkami simptomi (*Hoffman, et al.*, 2008; *Ukai, & Howarth*, 2008).

Problēmas, kuras varētu rasties vienlaicīgi darbinot vergences sistēmas novērtēšanas iekārtu, kuras funkcijas pildītu acu kustību pieraksta iekārta un akomodācijas iekārtas novērtēšanas sistēmu, varētu būt sistēmu nesavienojamība līdzīgu parametru iespējamās summēšanās rezultātā. Iespējama vienlaicīgo iekārtu veiksmīga darbināšana tika uzstādīta par daļu no diplomdarba mērķa. Acu kustību pieraksta iekārtas gadījumā tiek izmantots noteikta diapazona IS gaismas spektrs un arī akomodācijas darbības iekārtas darbības laikā darbojas IS gaismas starojums. Interesējošais jautājums vienlaicīgas un veiksmīgas jeb netraucējošas iekārtu darbības laikā ir vai šo IS gaismas spektru pielietošanas laikā nenotiek to summēšanas, kas būtiski ietekmētu acs zīlīti raksturojošo parametru izvērtēšanu turpmākā datu apstrādes un izvērtēšanas procesa laikā. Tikai ar uzskatāmu datu iegūšanu un salīdzināšanu bez kādu citu

konkrētu uzdevumu veikšanas tiks noskaidrots vai pastāv kāds negatīvs iekārtu mijiedarbības brīdis, kurš būtiski ietekmētu eksperimenta laikā iegūto datu turpmāku analīzi un apstrādi.

2. PĒTĪJUMA DAĻA

2.1. Metodes apraksts

Acu zīlītes izmēra novērtēšanai tiks pielietota acu kustību pieraksta iekārta iViewX Hi-Speed (SensoMotoric Instrument, Vācija), ko var redzēt 2.1. att.

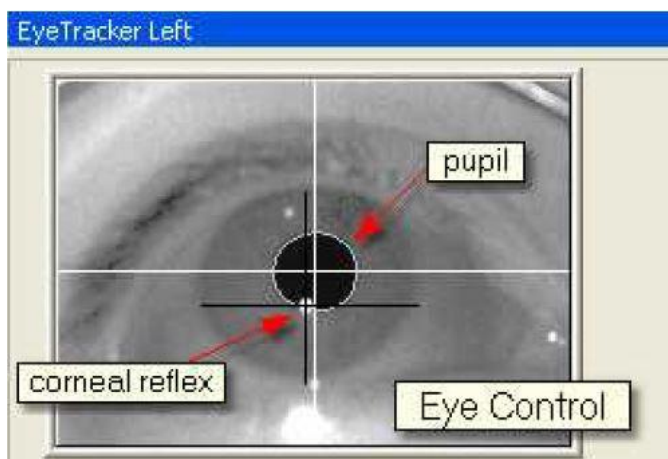


2.1. att. Datu iegūšanai izmantotā acu kustību pieraksta iekārta sānskatā ar tai priekšā novietoto monitoru, kurā tiek rādīti eksperimentam nepieciešamie stimuli.

Acu kustību novērtēšanas uztverošā kamera un IS starojuma diodes ir iestrādātas ar pieres un zoda balstu aprīkotā iekārtas statīvā. Papildus eksperimenta ierīce ir aprīkota ar puscaurspīdīgu spoguļi, lai novirzītu iekārtas IS gaismas starojumu tieši eksperimenta dalībnieka acīs. Kameras pozīciju eksperimenta laikā iespējams mainīt gan horizontālā, gan vertikālā virzienā. Tāpat pēc eksperimenta specifiskas iespējams veikt acu kustību pierakstu gan monokulāri – skatoties ar vienu acu, gan binokulāri – skatoties ar abām acīm. Skaidru acu attēlu iespējams iegūt, veicot puscaurspīdīgā spoguļa pozīcijas maiņu, kā arī mainot video attēla fokusa dziļumu. Tiek veikta novērtēšana ar „tumšas zīlītes” modeli. Analizējot video attēlu, tiek noteikts acu zīlītes centrs un radzenes priekšējās virsmas reflekss jeb atspulgs, kuru savstarpējais novietojums acu kustību laikā norāda uz dalībnieka acs skata virzienu.

Tiek izmantoti divi monitori, kas tiek saslēgti savā starpā, un viens dators. Viens monitors tiek novietots pretī eksperimenta dalībniekam, uz kura tiek rādīti attiecīgie acu kustību novērtēšanai sagatavotie stimuli. Pie otrā monitora eksperimenta vadītājs var vērtēt

eksperimentu un tā gaitu. Eksperimentam sagatavotie stimuli tiek rādīti monitorā, kas no dalībnieka acs plaknes atrodas 600 mm attālumā un ir ar izšķirtspēju 1280 x 1024 px. Pirms eksperimenta veikšanas nepieciešams veikt kalibrēšanu, kuras laikā tiek veikta skata virzienu noteikšana eksperimenta iekārtas ekrāna koordinātās, vienlaikus novērtējot iegūtā attēla kvalitāti. 2.2. att. redzams acs attēls kalibrēšanas brīdī, kur tiek novērtēts acs zīlītes centra un radzenes refleksa attēls. Acs zīlītes aizpildītais laukums vidēji ir 500 x 400 px pie iestatījuma, ka zīlīte ir vidēji 5 mm liela un aizņem aptuveni 1/10 daļu no iegūtā video attēla lieluma.



2.2. att. Eksperimenta veicēja monitorā redzamais acs attēls (kreisā acs), kad vienlaikus ir saskatāms radzenes refleks (atzīmēts ar melnu krustu) un zīlītes centrs (atzīmēts ar baltu krustu), kā arī papildus tiek nodalītas acs zīlītes robežas (*iView X System Manual*).

Iekārtas ierakstīšanas frekvence monokulārā režīmā ir 500 Hz. Kad eksperimenta dalībnieka skatiens ir vērsts uz eksperimenta stimulu, gaisma, kas nāk no IS diodēm, atstarojoties no puscaurspīdīgā spoguļa virsmas un nonāk acī.

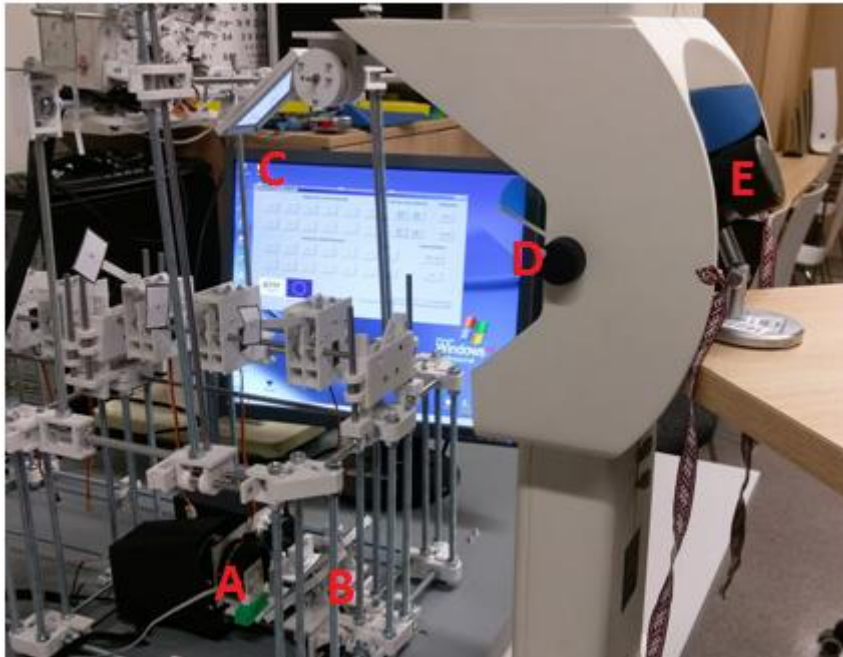
Maksimālā IS gaismas starojuma intensitāte acu kustību novērtēšanas iekārtai novērojama pie 905 nm, spektra pusplatums 57nm (starojuma spektrs noteikts ar Ocean Optics USB4000 spektrometru. Papildus IS starojums tiek nodrošināta ar no sākuma horizontālā, bet pēc tam vertikālā virzienā novietotām deviņām LED IS gaismas diodēm ar izstaroto gaismas viļņa garumu 850 nm. Eksperimenta laikā tiek nodrošināti nemainīgi apkārtējās vides apstākļi. Telpas apgaismojums eksperimentu laikā bija 600 – 700 lx (luksi), bet tieši pie iekārtas tie bija ~100 lx.

2.2. Eksperimenta gaita

Eksperimenta laikā datu pieraksts no sākuma tiks veikts, izmantojot mākslīgu acs modeli ar nemainīgu acs zīlītes diametra izmēru. Tas tika darīts, jo tā ir nemainīga sistēma, kurā parametriem vajadzētu palikt nemainīgiem eksperimenta veikšanas laikā. Reālas acs gadījumā acs zīlītes izmēru var ietekmēt kognitīvie procesi un acu kustības. Tātad, gadījumā, kad darbotos tikai viens IS starojuma avots, salīdzinājumā ar gadījumu, kad tiek darbinātas abas iekārtas vienlaikus, kad tiek pielietots papildus IS starojums, acs modeļa gadījumā nebūtu jābūt statistiski nozīmīgām izmaiņām novērtējamajos parametros.

Lai tiktu iegūts tumšas zīlītes attēls, bija nepieciešams izveidot papildus izejas zīlīti. Tas tika panākts acs modelim piestiprinot klāt baltu papīra lapu ar atvērumu, kura diametrs bija 5 mm. Ar speciāla paaugstinājuma palīdzību modeļa novietojums tika izvēlēts tā, lai maksimāli atgādinātu patiesa eksperimenta nosacījumus, it kā veidojot datu pierakstu kreisajai acij (skat. 2.3. att.).

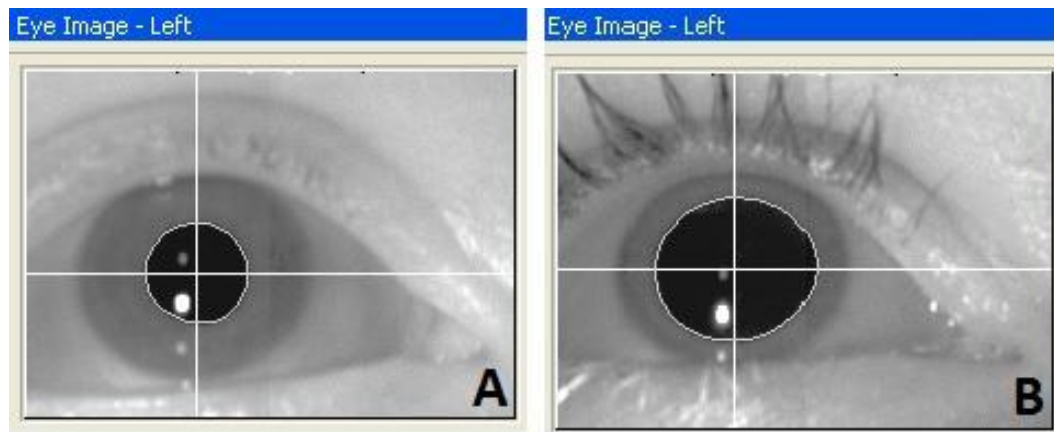
Sākumā 1 min tika veikts mērījums (pēc tam atkārtots vēl 100 reizes), kad tiek darbināta tikai IViewX HiSpeed (SensoMotoric Instruments, Vācija) acu kustību novērtēšanas iekārta. Mērījumu veids tika atkārtots 1 min (ar 100 atkārtojumiem), papildus pieslēdzos horizontāli/vertikāli novietotas IS starojuma diodes, izmantojot LU FMF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā izveidotu akomodācijas darbības novērtēšanas iekārtu, kura balstās uz ekscentriskās fotorefrakcijas principu. 2.3. att. redzams iekārtu veidotās sistēmas izkārtojums ar papildus IS starojuma gaitu līdz acs modelim.



2.3. att. Acu kustību novērtēšanas un papildus IS starojuma iekārtu izveidotā vienotā sistēma datu pieraksta laikā acs modeļa (E) izmantošanas brīdī, kad IS starojuma diodes (A) atrodas vertikālā virzienā un no tām nākošais starojums atstarojas no spoguļvirsmām (B un C) tālāk caur puscaurspīdīgu acu kustību novērtēšanas iekārtas spoguļi nonāks acs modelī

Acs modeļa gadījumā kalibrēšana pirms datu pieraksta netiek veikta, kā arī netiek ņemts vērā radzenes refleksa novietojums datu pieraksta iegūšanas laikā.

Eksperiments tiks atkārtots arī 3 dalībniekiem (redzes asums tuvumā 1,0 decimālajā vienībās, bez acu kustību un organiskām acs problēmām), veicot tādu pašu parametru un nosacījumu salīdzinājumu 20 mērījumiem, kuru ilgums bija 1 s, kā mākslīgās acs modeļa gadījumā, ievērojot nosacījumu, ka tiek novērtēta kreisā acs. Papildus vienam no eksperimenta dalībniekam tiks veikta kreisās acs zīlītes medikamentoza palielināšana, pielietojot tropikamīda preparāta 0,5 % *Sol. Mydriacyl* pilienus. 2.4. att. redzams eksperimenta dalībnieku acs attēlu salīdzinājums bez un ar midriāzes efektu.



2.4. att. Datu pieraksta attēls eksperimenta laikā ar iezīmētām acs zīlītes robežām un tās centra koordinātām, kur A attēlā redzama parasta lieluma acs zīlīte, bet B attēlā acs zīlīte ir paplašināta, pielietojot 2 pilienus 0,5 % Sol. *Mydriacyl*.

Eksperimenta dalībniekiem tika veikta 9 punktu kalibrēšana, kura ir paredzēta akomodācijas novērtēšanas iekārtai, lai noskaidrotu vai ir sasniegta vislabākā iespējamā acs pozīcija un augstākās kvalitātes acs attēls. Tāpat kalibrēšana ir nepieciešama, lai noskaidrotu, vai datu ieraksta laikā, mainoties eksperimenta dalībnieka skata pozīcijai, acu kustību novērtēšanas iekārta spēs izmaiņas reģistrēt jeb vai tās neiziet no reģistrējamā apgabala robežām. Datu pieraksta laikā eksperimenta dalībnieki fiksēja skatu uz balta fona esošu melnu krustu, kura aizņemtais laukums bija 4x4 cm un vienas līnijas platums 0,5 mm, kurš atradās 60 cm attālumā (kalibrētais attālums acu kustību novērtēšanas iekārtai).

2.3. Datu apstrāde

Veicot acu kustību pierakstu eksperimenta laikā, iekārta datus reģistrē .idf (iView Data File) faila formātā. Iegūtie .idf datu faili tiek konvertēti jeb pārveidoti, izmantojot programmu IDF Converter, pēc kā tiek iegūti .txt datu faili, kuri tiek tālāk pielietoti datu analīzei. Turpmākā datu apstrāde tika veikta, pielietojot Microsoft Excel programmu un tajā esošos statistikas analīzes rīkus.

Sākotnēji datu failā tika atlasītas ierakstītās vērtības, pēc kurām var spriest par acs zīlīti raksturojošo parametru iespējamām izmaiņām. Eksperimenta dalībnieku gadījumā pirms datu analīzes tika izvēlēts acs zīlītes centra koordinātes (L Raw X un L Raw Y), kas tika izteikti iekārtas video pikseļos, kā arī acs zīlītes diametrs (L Dia X un L Dia Y), kurš arī tika norādīts iekārtas video pikseļos.

Sākotnēji eksperiments tika veikts, pielietojot acs modeli. Tas tika darīts, jo tā ir nemainīga sistēma, kurā parametriem vajadzētu palikt nemainīgiem eksperimenta veikšanas

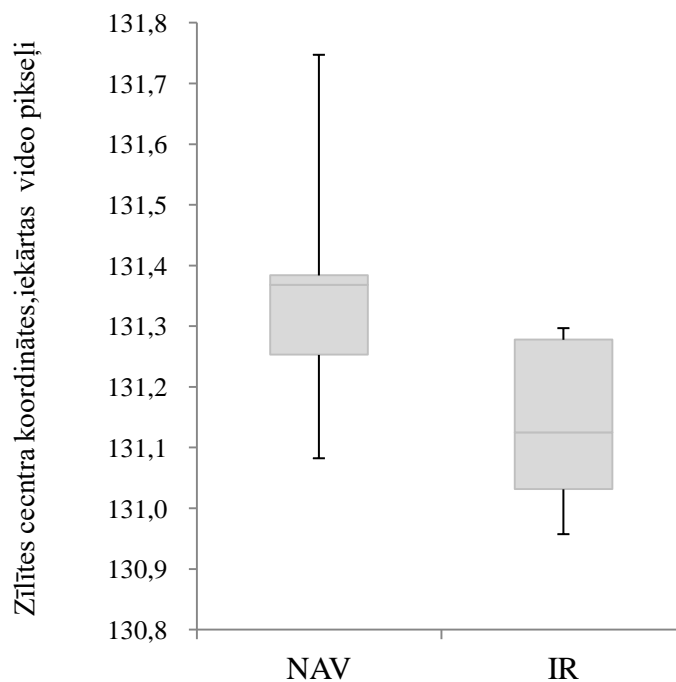
laikā. Reālas acs gadījumā acs zīlītes izmēru var ietekmēt kognitīvie procesi un acu kustības. Tātad, gadījumā, kad darbotos tikai viens IS starojuma avots, salīdzinājumā ar gadījumu, kad tiek darbinātas abas iekārtas vienlaikus, kad tiek pielietots papildus IS gaismas starpums, acs modeļa gadījumā nebūtu jābūt statistiski nozīmīgām izmaiņām novērtējamajos parametros. Lai tiktu iegūts tumšas zīlītes attēlu, bija nepieciešams izveidot papildus izejas zīlīti. Tas tika panākts acs modelim piestiprinot klāt baltu papīra lapu ar atvērumu, kura diametrs bija 5 mm, kas ir kā kalibrācijas lielums acu kustību novērtēšanas iekārtai. Ar speciāla paaugstinājuma palīdzību modeļa novietojums tika izvēlēts tā, lai maksimāli atgādinātu patiesa eksperimenta nosacījumus, it kā veidojot datu pierakstu kreisajai acij.

2.4. Rezultāti

2.4.2. Acs modeļa zīlītes novērtējums

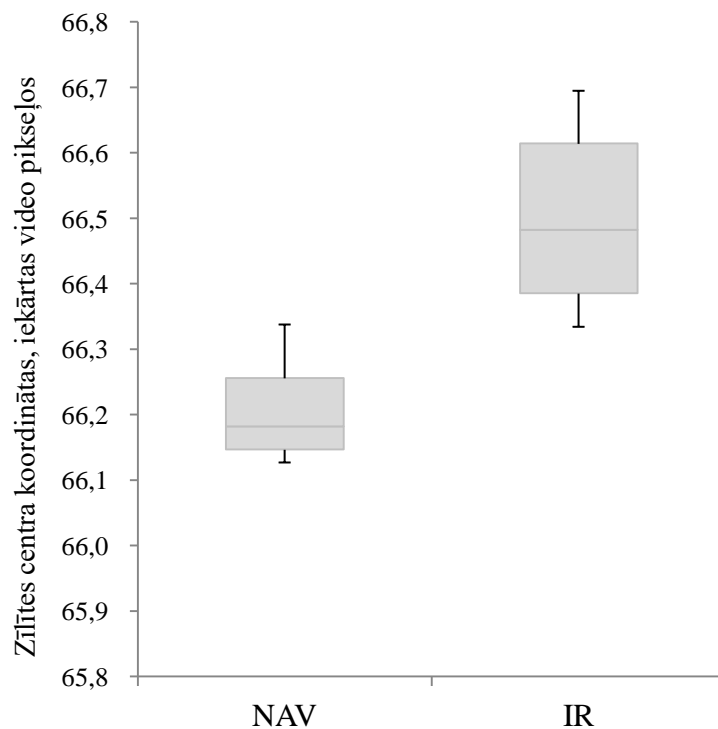
Sākotnēji acs zīlīti raksturojošo parametru novērtējums tika veikts mākslīgās acs modelim. 2.5. attēlā redzams iegūto datu attēlojums mākslīgās acs zīlītes centra horizontālajā koordinātām pie nosacījuma, kad papildus IS starojuma diožu pozīcija ir horizontāla.

Datu attēlojumā ir redzams, ka neskatoties uz to, ka acs modelis ir ar nemainīgiem acs zīlītes parametriem, tomēr vērojamas atšķirības iegūtajos datos gadījumā, atkarībā no papildus IS starojuma pielietojuma. Veicot statistisku datu salīdzināšanu, izmantojot statistikas metodi *t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances*, novēro, ka papildus IS starojums rada statistiski nozīmīgi atšķirības, piemēram, zīlītes centra koordinātu horizontālā virziena gadījumā ($p < 0,001E-20$). Kopumā, pielietojot papildus IS gaismas starojumu, acs zīlītes centra koordinātas horizontālā virzienā tiek novērtētas ar vidēji mazāku vērtību nekā bez papildus starojuma pielietošanas. Kopumā izmaiņas, ņemot vērā iegūto datu vidējās vērtības, samazinās par $0,19 \pm 0,0075$ iekārtas video pikseļiem.



2.5. att. Acs modeļa zīlītes centra horizontālās koordinātes iekārtas video pikseļos gadījumā, kad nav ieslēgts papildus IS starojums (NAV), un pie nosacījuma, kad tas ir ieslēgts (IR), diodēm atrodies horizontālā pozīcijā.

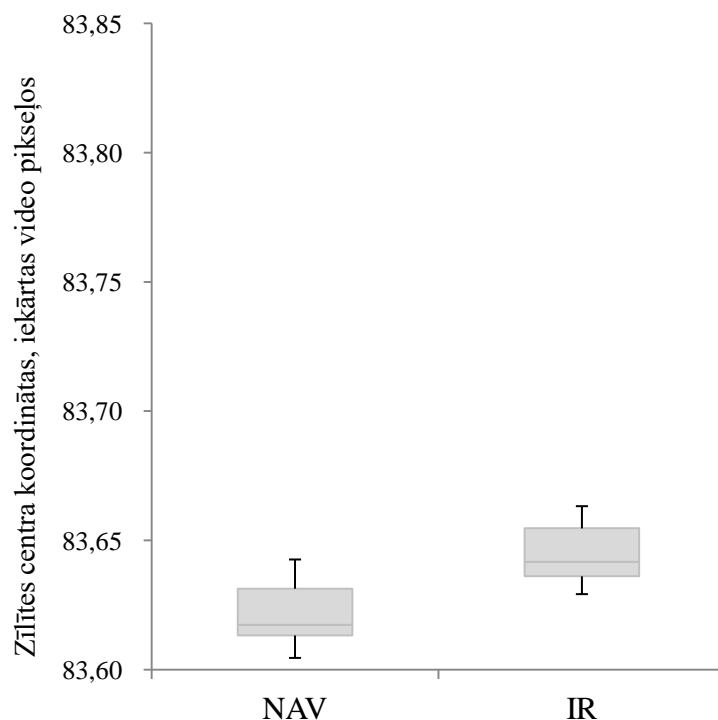
Acs modeļa zīlītei tika veikts arī zīlītes vertikālās centra koordinātes salīdzinājums. Arī šajā gadījumā teorētiski īpašas izmaiņas nebūtu jānovēro. 2.6. att. tomēr parādās izmaiņas zīlītes centra koordinātei vertikālajā virzienā, kas šajā gadījumā pie papildus IS starojuma tikusi novērtēta ar lielāku vērtību. Arī šajā gadījumā novēro, ka papildus IS apgaismojums ietekmē iegūto datu vērtību lielumu ($p < 0,024E-54$). Izmaiņas ir vērtējamas kā acs zīlītes centra vertikālo koordinātu vērtības pieaugums pat par $0,29 \pm 0,0029$ video iekārtas pikseļiem. Kas liek secināt, ka, lai arī iegūto vērtību starpība acs zīlītes centra koordinātēm gan horizontālajā, gan vertikālajā virzienā ir minimāla, bet tomēr statistiski būtiski atšķirīgas. Tas liek domāt par to, ka, papildus IS apgaismojums varētu ietekmēt acs zīlītes centra koordinātes vismaz statistiski, ja jau izmaiņas parādās pat šķietami nemainīgā sistēmā.



2.6. att. Acs modeļa zīlītes centra vertikālās koordinātes iekārtas video pikseļos gadījumā, kad nav ieslēgts papildus IS starojums (NAV), un pie nosacījuma, kad tas ir ieslēgts (IR), diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā.

Acs modeļa gadījumā sākotnēji bija doma izvērtēt arī radzenes refleksa vērtības novērtējumu un to salīdzināšanu pirms un pēc IS starojuma ieslēgšanas. Tomēr veicot ir iespējams apgalvot, ka datu grupas gan horizontālo, gan vertikālo koordināšu gadījumā nav statistiski būtiski atšķirīgas ($p > 0,05$). Kopumā vērtību izmaiņas horizontālo koordināšu gadījumā bija pieaugums par $0,0002 \pm 0,0035\text{px}$, savukārt. Tomēr turpmāk darba izstrādes procesā veicot datu salīdzināšanu radzenes refleks kā parametrs tika izslēgts no kopējās datu analīzes. Acu kustību novērtēšanas iekārtai tas pat tika izņemts no iestatījumiem.

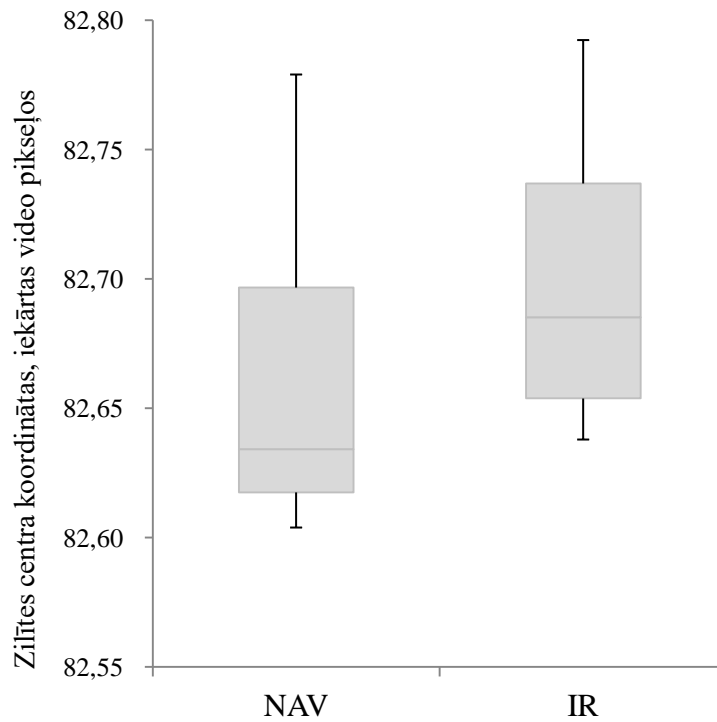
Papildus tika veikts acs modeļa iegūto datu pieraksta salīdzinājums gadījumā, kad tiek mainīta papildus IS starojuma diožu pozīcija no horizontālas uz vertikālu. Tā kā tika veikta tikai diožu pozīcijas maiņa, būtu iespējams veikt arī salīdzinājumu starp rezultātiem ne tikai gadījumā, kad netiek pielietota IS gaisma, ar nosacījumu, kad tā tiek pielietota, bet arī savstarpēju salīdzinājumu datus, atkarībā no diožu pozīcijas.



2.7. att. Acs modeļa zīlītes centra horizontālo koordinātu izmaiņas iekārtas video pikseļos gadījumā, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodas vertikālā pozīcijā.

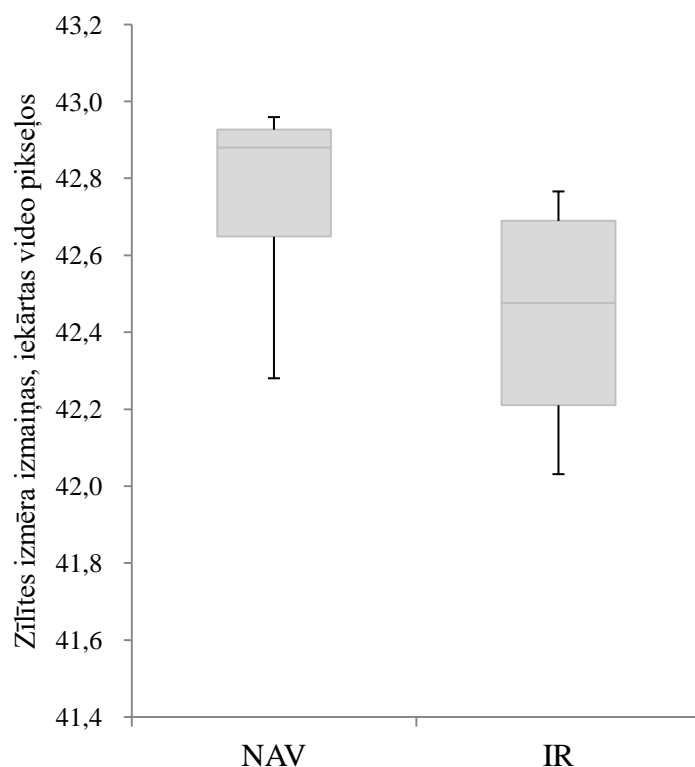
Apskatot datu salīdzinājumu, mainoties IS gaismas pielietošanas nosacījumiem, gadījumā, kad tiek novērtēts acs modelis, novēro ka, lai arī vērtību izmaiņas šķiet nelielas, starp tām ir statistiski būtiska atšķirība.

Acs modeļa zīlītes centra koordinātes vertikālā virzienā, gadījumā, kad diožu novietojums ir vertikāls, ir iespējams apskatīt 2.7. attēla grafiskajā attēlojumā. Veicot datu statistisko salīdzinājumu, ir novērojama statistiski būtiska atšķirība, gadījumā kad mainās IS starojuma pielietošanas nosacījums. Turklāt var redzēt, ka salīdzinājumā ar 2.6. attēlā iegūtajiem datiem, vērtību izmaiņas tomēr ir lielākas, lai arī novērtējums pēc IS starojuma pielietošanas arī ir pieaudzis pat par $0,036 \pm 0,0002$, atainotiem video iekārtas pikseļos.



2.8. att. ACS modeļa zīlītes centra vertikālo koordinātu izmaiņas iekārtas video pikseļos gadījumā, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodas vertikālā pozīcijā.

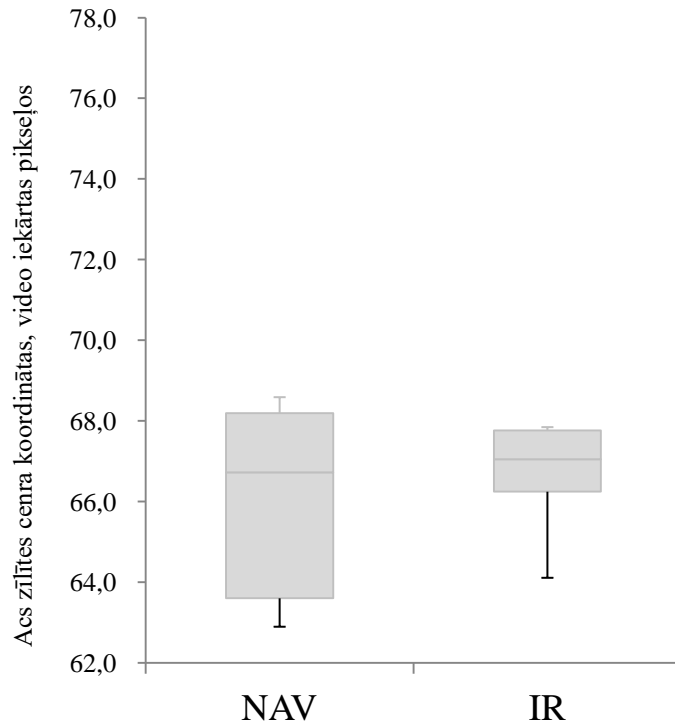
Veicot mākslīgās acs zīlītes izmēra novērtējumu (diametru), horizontālā izmēra gadījumā netika novērotas statistiski būtiskas atšķirības pie nosacījuma, kad netiek pielietots papildus IS gaismas starojums un, kad tas tiek darīts, diodēm atrodas vertikālā virzienā ($p > 0,05$). Savukārt vertikālā acs zīlītes izmēra gadījumā, tika iegūtas vērtību izmaiņas, kuras tika novērtētas kā statistiski būtiski atšķirīgas ($p < 0,026E-17$). Aprakstot izmaiņas skaitliskās vērtībās, vertikālā izmēra gadījumā, pielietojot papildus IS starojumu pie vertikālā diožu novietojuma, tika novērots izmēra pieaugums $0,32 \pm 0,08$ iekārtas video pikseļos, kas ir apskatāms 2.8. att..



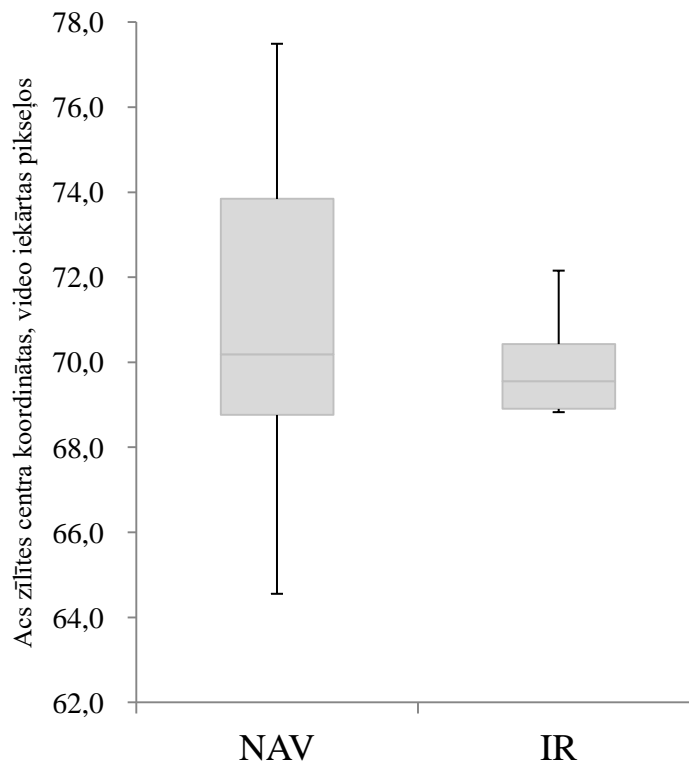
2.8. attēls Acs modeļa zīlītes diametra vertikālās izmaiņas iekārtas video pikseļos gadījumā, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodoties vertikālā pozīcijā.

2.3.3. Dalībnieku acs zīlītes centra koordinātas un diametra izvērtējums

Eksperimenta dalībniekam Nr.1 iegūto datu vērtības iespējams apskatīt 2.9. att., kur ir attēlotas dalībnieka acs zīlītes centra koordinātes izmaiņas horizontālajā virzienā, bet 2.10. att. vertikālajā virzienā. Eksperimenta dalībnieka Nr.1 iegūto datu kopums netika analizēts tik sīki kā, piemēram, acs modeļa gadījumā vai dalībnieku Nr.2 un Nr.3 gadījumā. Šos sākotnējos dalībnieka mērījumus var nosaukt par izmēģinājuma mērījumiem, lai pārlicinātos vai ir iespējams veikt datu salīdzinājumu noteiktiem acs zīlīti raksturojošiem parametriem patiesa eksperimenta dalībnieka gadījumā. Tomēr veicot datu salīdzināšanu un analīzi tika nolemts, ka šie acu kustību pieraksta iekārtai svarīgie acs zīlītes centra koordinātu dati ir pietiekami veiksmīgi, lai tos atspoguļotu darbā.



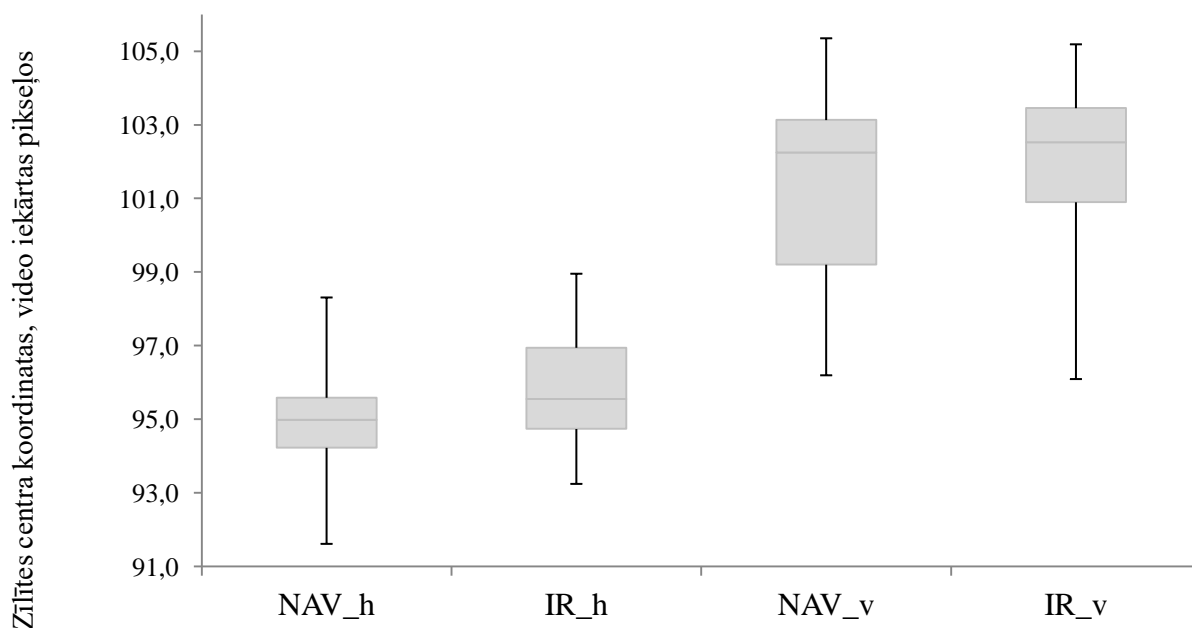
2.9. att. Dalībnieka Nr.1 acs zīlītes centra horizontālo koordinātu izmaiņas, izteiktas video iekārtas pikseļos gadījumā, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā.



2.10. attēls. Dalībnieka Nr.1 acs zīlītes centra vertikālo koordinātu, izteiktas video iekārtas pikseļos gadījumā, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā.

Pēc statistikas salīdzināšanas, novēro, ka nav statistiski būtiskas atšķirības starp abiem papildus IS starojuma nosacījumiem ne horizontālajai, ne vertikālajai zīlītes centra koordinātei ($p > 0,05$). Lai arī acs modeļa gadījumā tika novērotas statistiski būtiskas, lai arī nelielas izmaiņas, eksperimenta dalībnieka gadījumā vērtību starpība nav statistiski būtiski atšķirīgas, kas liecina par to, ka, iespējams, papildus IS starojumam nav lielas negatīvas ietekmes.

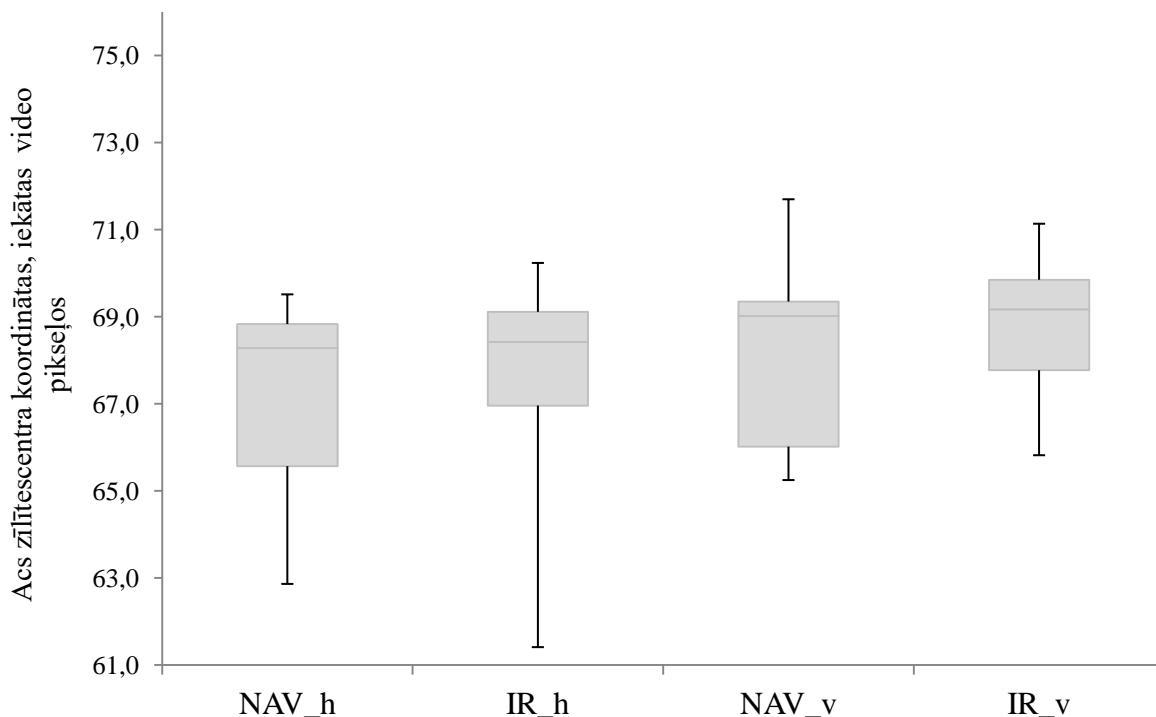
Eksperimenta dalībniekam Nr.2 iegūto datu vērtības iespējams apskatīt 2.11. att., kur attēlotas acs zīlītes centra koordinātu izmaiņas horizontālā virzienā.



2.11. att. Dalībnieka Nr.2 acs zīlītes centra horizontālo koordinātu izmaiņas, izteiktas video iekārtas pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), ar papildus norādītu nosacījumu h-IS gaismas diožu novietojums horizontāli, v-IS gaismas diožu novietojums vertikāli

Statistiski veicot salīdzinājumu diožu pozīcijas ietvaros, nav statistiski būtiskas atšķirības horizontālam izmēra izmaiņām pie horizontāla IS gaismas diožu novietojums ($p > 0,05$), kā arī vertikālas diožu pozīcijas gadījumā. Grafiski atainojot IS gaismas diožu pozīciju rezultātus redzamas vērtību atšķirības, bet statistiski veikts salīdzinājums netika, piemēram zīlītes centra koordinātu horizontālajām izmaiņām bez papildus IS gaismas starojuma starp diožu horizontālu un vertikālu novietojumu, jo dati netika iegūti pie vienādiem apkārtējās vides nosacījumiem jeb ne vienā mērījum iegūšanas reizē.

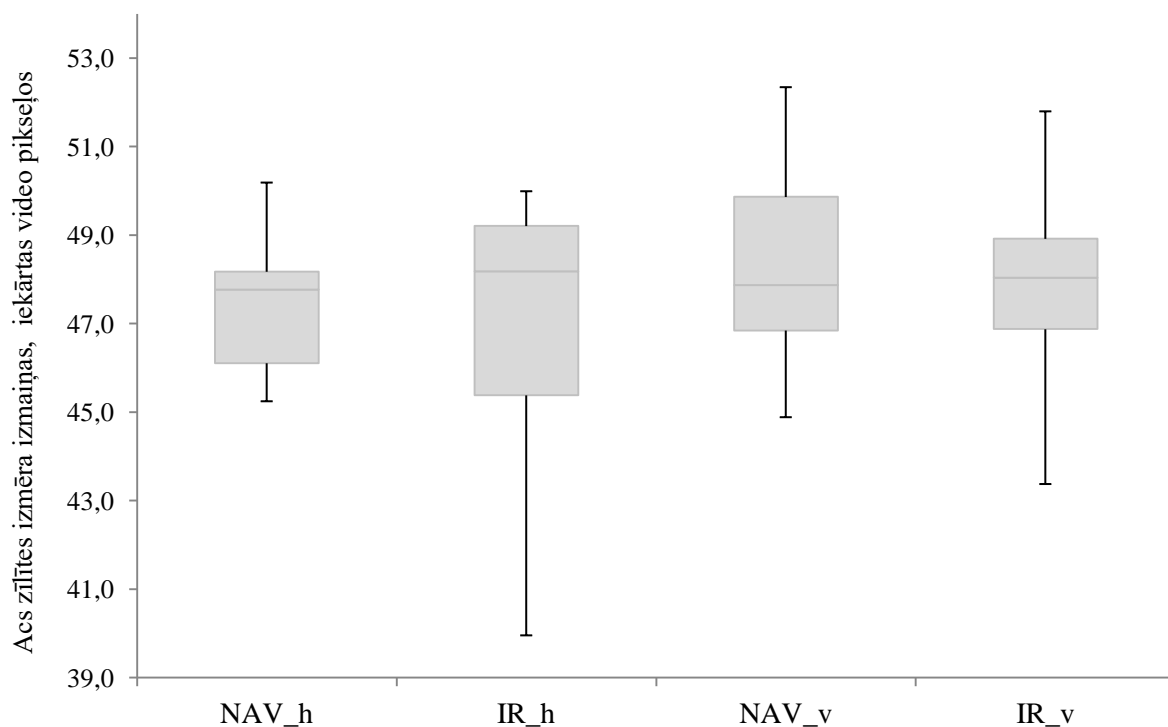
Eksperimenta dalībniekam Nr.2 iegūto datu vērtības acs zīlītes centra koordinātām vertikālā virzienā 2.12. att.. Vizuāls, bet ne statistisks salīdzinājums ir veikts papildus starp diožu novietojumu un IS gaismas pielietojuma nosacījumiem.



2.12. att. Dalībnieka Nr.2 acs zīlītes centra vertikālās koordinātas, izteiktas iekārtas video pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), ar papildus norādītu nosacījumu h-IS gaismas diožu novietojums horizontāli, v-IS gaismas diožu novietojums vertikāli

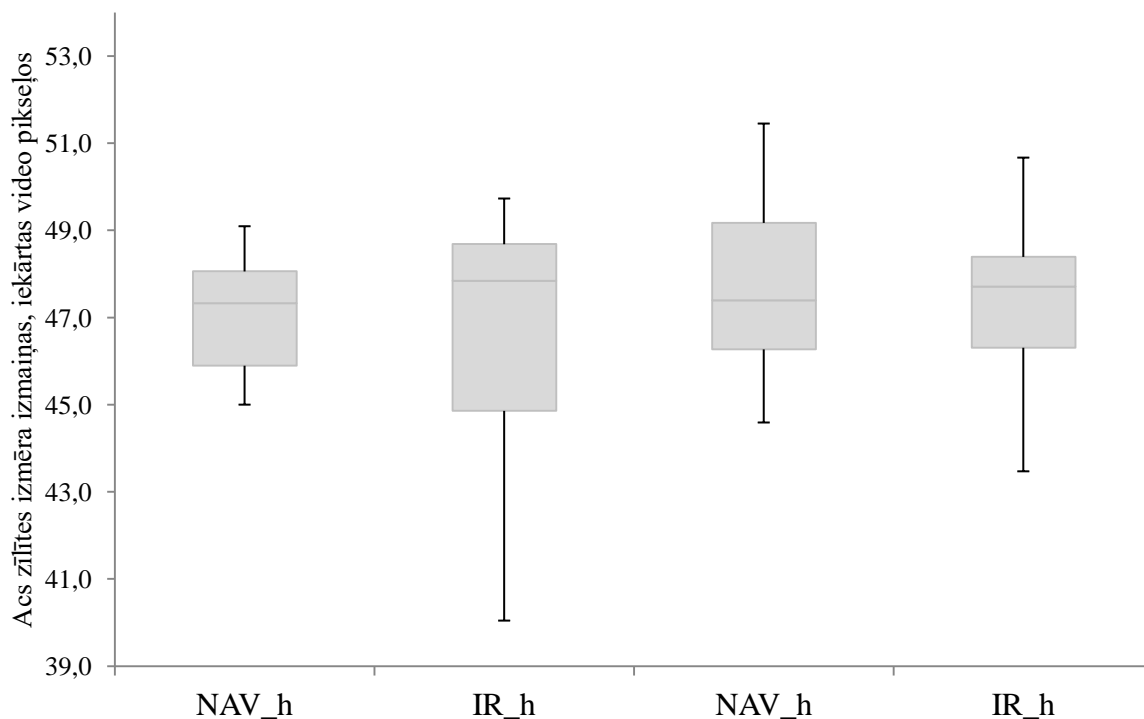
Veicot statistiku novērtējumu acs zīlītes centra vertikālajām koordinātām, nav novērojama statistiski būtiska atšķirība ne horizontāla, ne arī vertikāla IS gaismas starojuma diožu novietojuma gadījumā ($p > 0,05$). Tomēr kopumā, papildus pielietojot IS gaismas starojumu, koordinātu vērtības tika novērtētas kā lielākas gan horizontālas, gan vertikālas diožu pozīcijas gadījumā.

Tālāk tika veikts salīdzinājums acs zīlītes izmēra izmaiņām vertikālā virzienā bez papildus IS starojuma pielietošanas un ar to. 2.13. att. redzams, ka kopā grafiski ir attēlots arī IS starojuma gaismas diožu novietojuma veids. Kopumā veicot statistisku salīdzinājumu IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā virzienā, netika atrasta statistiski būtiska atšķirība ($p > 0,05$) papildus pielietojot IS starojumu. Vertikālā gaismas diožu novietojuma gadījumā statistiski būtiskas atšķirības arī netika saskatītas ($p > 0,05$). Kopumā gan abu veidu diožu novietojumu gadījumos vērtības, kas tika iegūtas ar papildus IS apgaismojumu, tika novērtētas kā augstākas jeb tika novērtēts ka ir noticis horizontālā virziena acs zīlītes diametra pieaugums.



2.13. att. Dalībnieka Nr.2 acs zīlītes izmēra izmaiņas vertikālā virzienā, izteiktas iekārtas video pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), ar papildus norādītu nosacījumu h-IS gaismas diožu novietojums horizontāli, v-IS gaismas diožu novietojums vertikāli

Gadījumā, kad tika veikts iegūto datu salīdzinājums Dalībnieka Nr.2. acs zīlītes izmēra izmaiņām vertikālajā virzienā, tieši tāpat kā iepriekš, grafiski tika savietotas kopā iegūtās vērtības pie divu veidu IS starojuma diožu pozīcijām. Pēc statistiskās datu salīdzināšanas netika novērota statistiski būtiska atšķirība acs zīlītes izmēra izmaiņām horizontāla IS starojuma diožu gadījumā ($p > 0,05$). Salīdzinot vertikālā diožu novietojuma iegūtos datus tieši tāpat netika novērota statistiski būtiskas atšķirības datus, gadījumā, kad tika pielietots papildus IS starojums. Kopumā gan horizontāla, gan vertikāla diožu novietojuma gadījumā dati pēc IS starojuma pielietošanas tika novērtēti ar lielākām vērtībām, bet statistiski būtiskas atšķirības gan netika novērotas. Datu grafisks attēlojums redzams 2.14. attēlā.

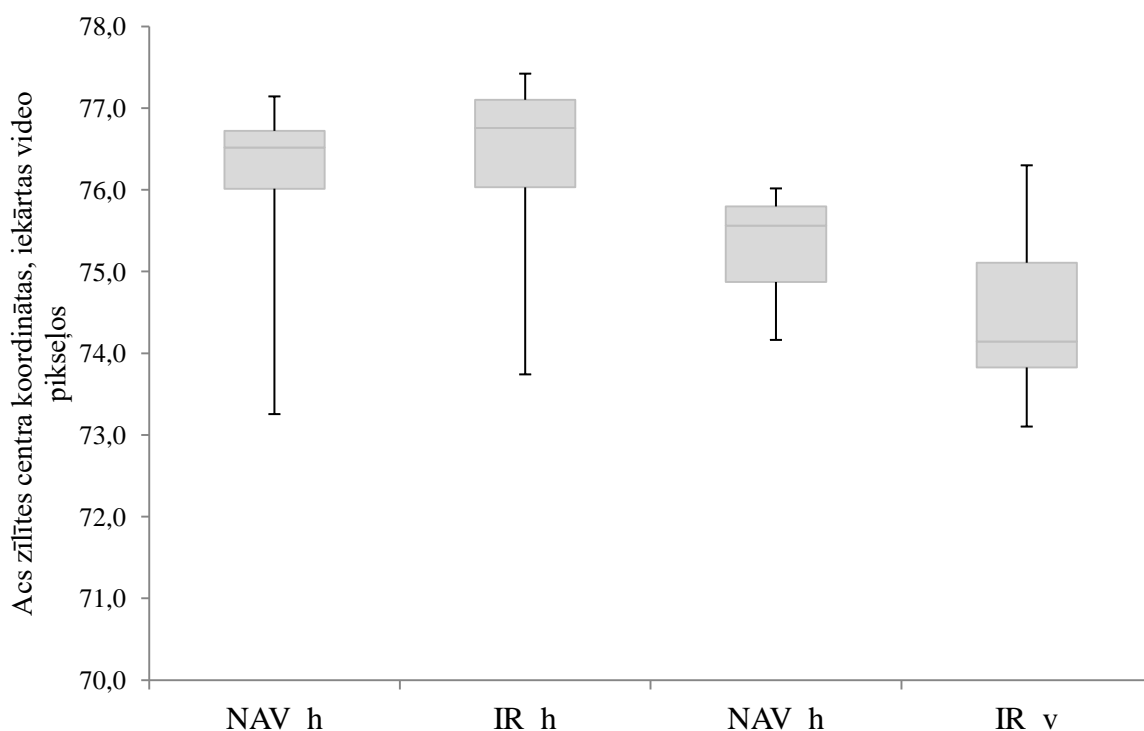


2.14. att. Dalībnieka Nr.2 acs zīlītes izmēra izmaiņas horizontālā virzienā, izteiktas iekārtas video pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaismas (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), ar papildus norādītu nosacījumu h-IS gaismas diožu novietojums horizontāli, v-IS gaismas diožu novietojums vertikāli

Sākotnēji dalībniekam Nr.3 tika atkārtota tāda pati eksperimenta gaita kā dalībniekam Nr.1 un Nr.2.. Pēc tam mērījumu sesija tik atkārtota vēl reizi un šoreiz salīdzinājums tika veikts arī pie nosacījuma, ka papildus tika veikta medikamentoza kreisās acs paplašināšana un datu salīdzinājums tika veikts atkārtoti, kad acs zīlīte līdzīgi kā acs modelim tika padarīta praktiski nemainīga. 2.15. att. redzamas acs zīlītes centra koordinātu horizontālās izmaiņas mērījumu sesijā pirms medikamentozas iejaukšanās IS starojuma diodēm atrodoties horizontālā virzienā, bet 2.16. att. tāda paša parametra izmaiņu novērtējums mainot IS starojuma diožu novietojumu.

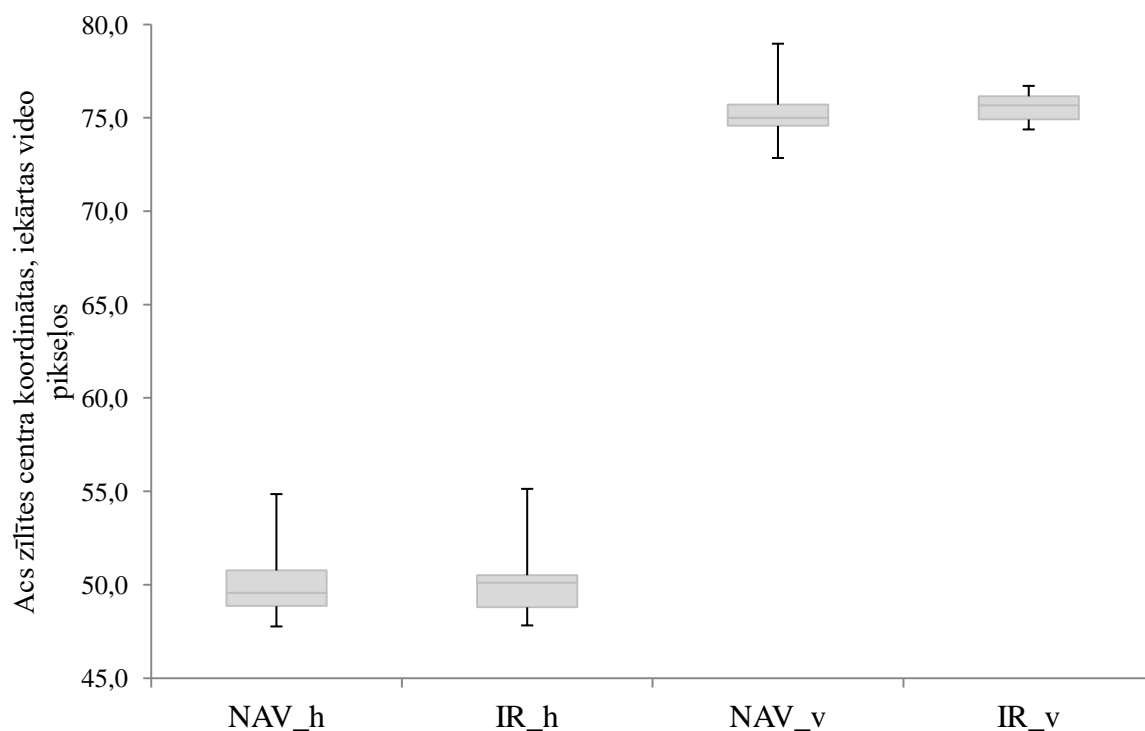
Veicot statistisko analīzi gadījumā, kad dalībniekam Nr.3 tika veikts acu kustību izvērtēšanas pieraksts acs zīlītes centra koordinātēm horizontālā virzienā, vizuāli papildus IS starojuma pielietošanas gadījumā kopumā vērtības tika novērtētas kā mainīgs, salīdzinājumā ar nosacījumu, kad papildus IS starojums netiek pielietots. Vertikāla diožu novietojuma gadījumā pat koordinātu novērtējums samazinājās par $0,82 \pm 0,02$ iekārtas video pikseļiem, kopumā statistiski nozīmīgas atšķirības izmaiņās tika novērotas ($p < 0,0027$) acs zīlītes centra

koordinātu gadījumā, kad papildus IS starojuma diožu novietojums bija vertikālā pozīcijā Horizontāla diožu novietojuma gadījumā izmaiņas bija mazākas jeb $0,33 \pm 0,02$.



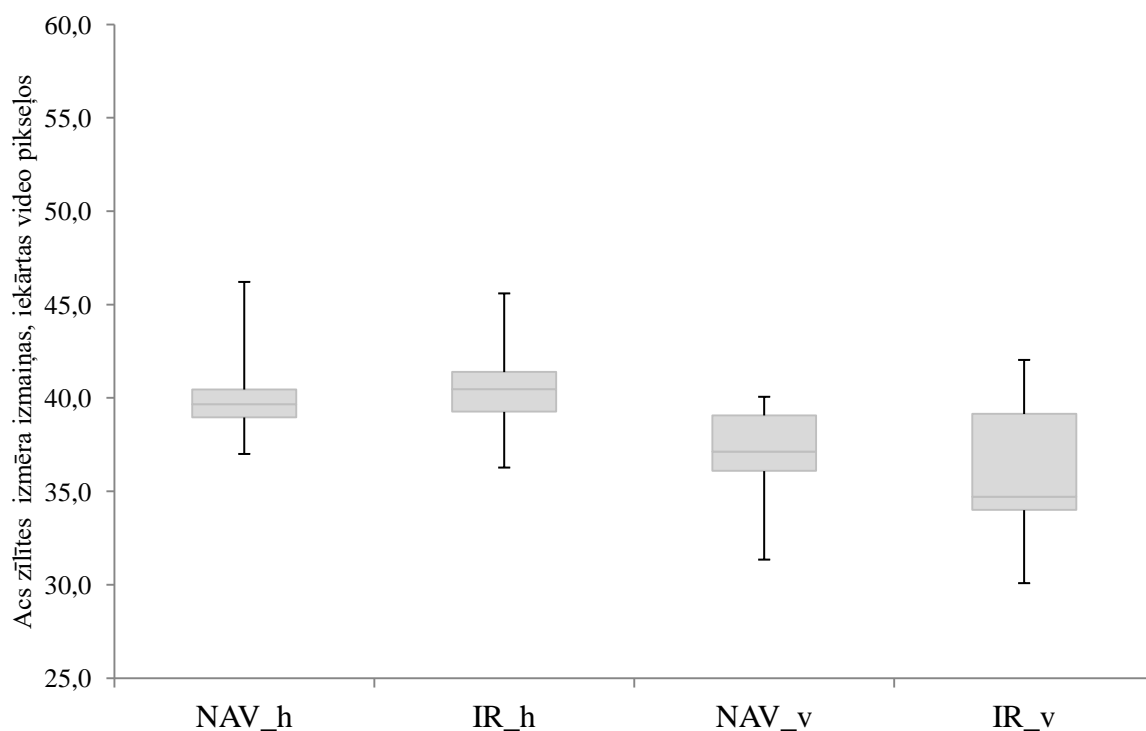
2.15. attēls Dalībnieka Nr.3 acs zīlītes centra horizontālo koordinātu izmaiņas, izteiktas iekārtas video pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā-h un vertikālā pozīcijā-v pirmajā mērījumu sesijā.

Veicot statistisko analīzi gadījumā, kad dalībniekam Nr.3 tika veikts acu kustību izvērtēšanas pieraksts acs zīlītes centra koordinātēm vertikālā virzienā, kas ir apskatāms attēlā, var vizuāli novērtēt, ka papildus IS starojuma pielietošanas gadījumā kopumā vērtības tika novērtētas kā mainīgs. Gan horizontāla, gan vertikāla diožu novietojuma gadījumā papildus IS starojuma pielietošanas gadījumā vērtības palielinājās. Horizontāla diožu novietojuma gadījumā izmaiņas bija $0,13 \pm 0,003$, bet vertikālās diožu pozīcijas gadījumā $0,16 \pm 0,03$. Kopumā gan statistiski nozīmīgas atšķirības netika novērotas ($p > 0,05$) acs zīlītes centra vertikālo koordinātu gadījumā neatkarīgi no IS starojuma pielietošanas un diožu novietojuma virziena. Iespējams, salīdzinājumu veicot starp diožu novietojumu pie viena IS starojuma pielietošanas nosacījuma būtu novērojamas statistiski būtiskas atšķirības ņemot vērā datu kopu stipri atšķirīgo novietojumu grafikā.

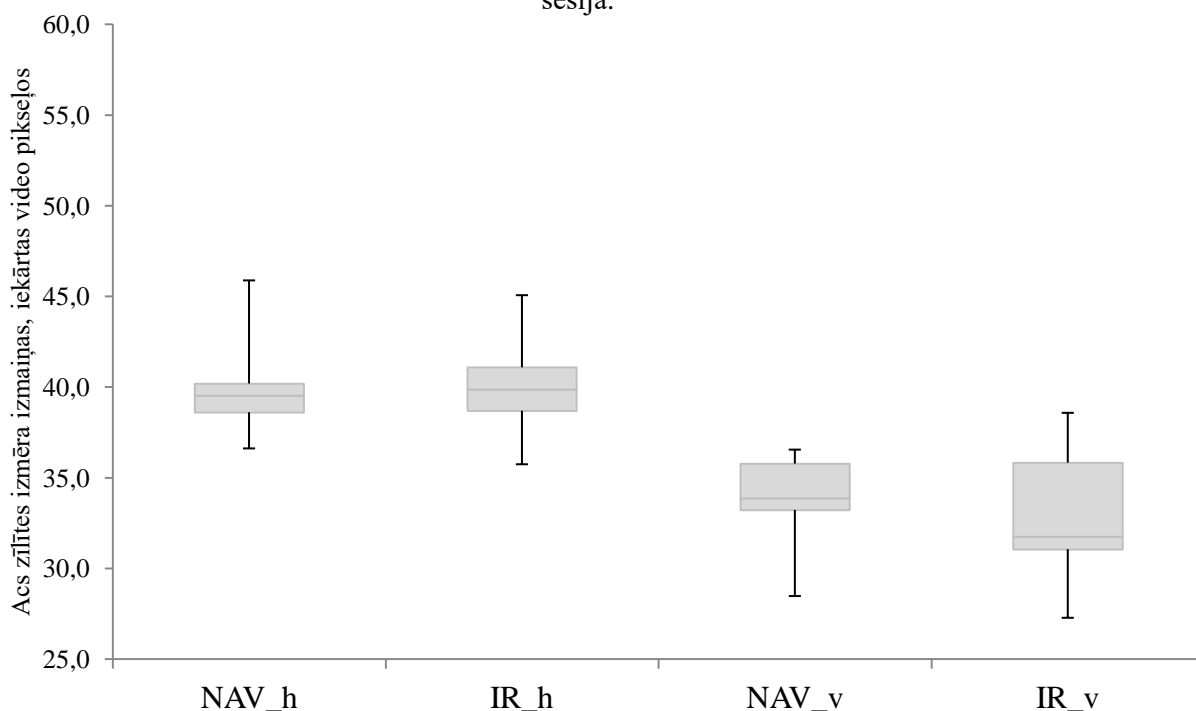


2.16. attēls Dalībnieka Nr.3 acs zīlītes centra vertikālo koordinātu izmaiņas, izteiktas iekārtas video pikseļos, kad nav ieslēgts papildus IS starojums (NAV) un pie nosacījuma, kad tas ir ieslēgts (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā-h un vertikālā pozīcijā-v pirmajā mērījumu sesijā.

Izvērtējot acs zīlītes izmēra izmaiņas dalībniekam Nr.3 pie divām IS starojuma diožu pozīcijām ar un bez papildus IS starojuma pielietošanu netika novērotas statistiski būtiskas atšķirības ($p > 0,05$). Tās nebija vērojamas ne horizontālā izmēra, ne arī vertikālā izmēra gadījumā, ko iespējams apskatīt attiecīgi 2.17.att. un 2.18.att..

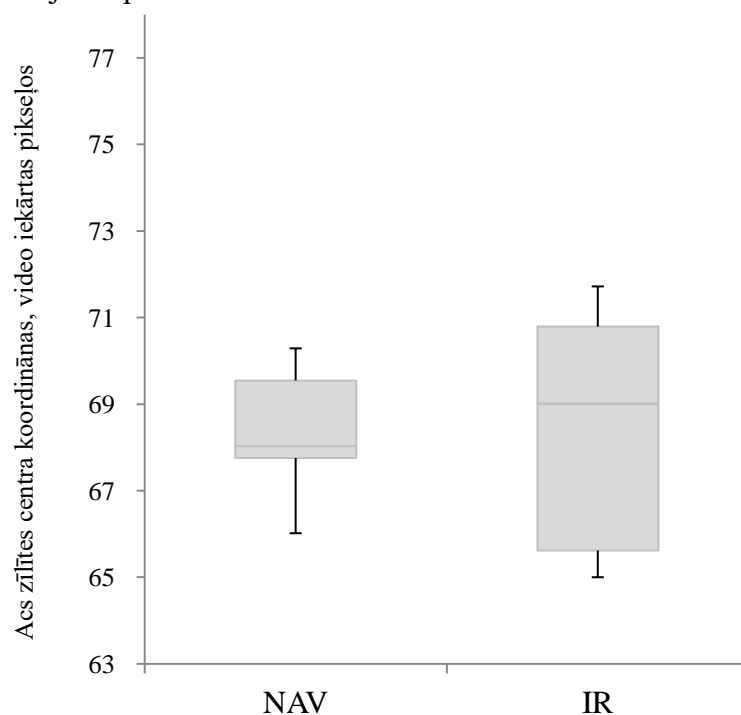


2.17. attēls Dalībnieka Nr.3 acs zīlītes izmēra izmaiņas horizontālā virzienā, izteiktas iekārtas video pikseļos, kad nav ieslēgts papildus IS starojums (NAV) un pie nosacījuma, kad tas ir ieslēgts (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā-h un vertikālā pozīcijā-v pirmajā mērījumu sesijā.

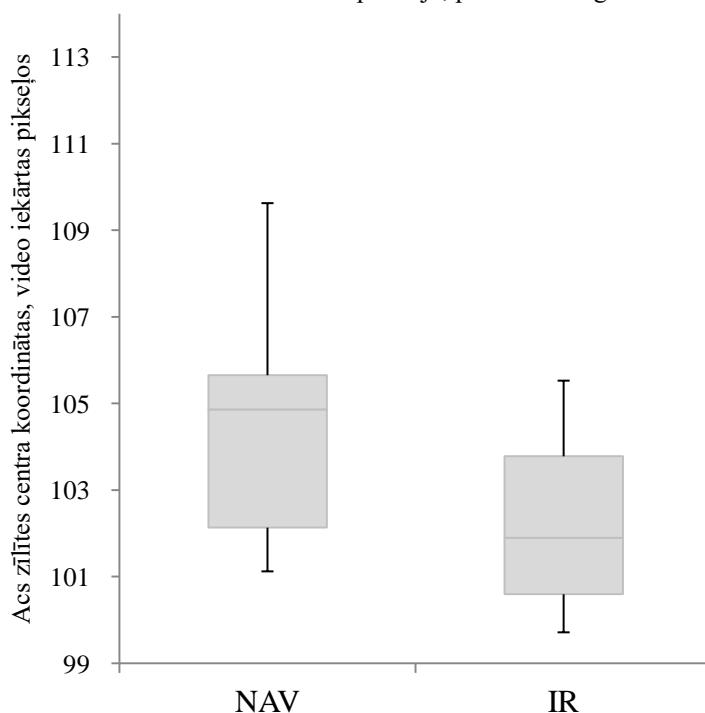


2.18. attēls Dalībnieka Nr.3 acs zīlītes izmēra izmaiņas horizontālā virzienā, izteiktas iekārtas video pikseļos, kad nav ieslēgts papildus IS starojums (NAV) un pie nosacījuma, kad tas ir ieslēgts (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā-h un vertikālā pozīcijā-v pirmajā mērījumu sesijā

Gadījumā, kad tika veikta salīdzināšana acs zīlīti raksturojošiem parametriem ar papildus medikamentozu acs zīlītes paplašināšanu, no sākuma tika veikts acs zīlītes raksturojošo parametru novērtējums IS starojuma diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā ar un bez papildus IS starojuma pielietošanas. Tas atkārtoti tika veikts dalībniekam Nr.3..

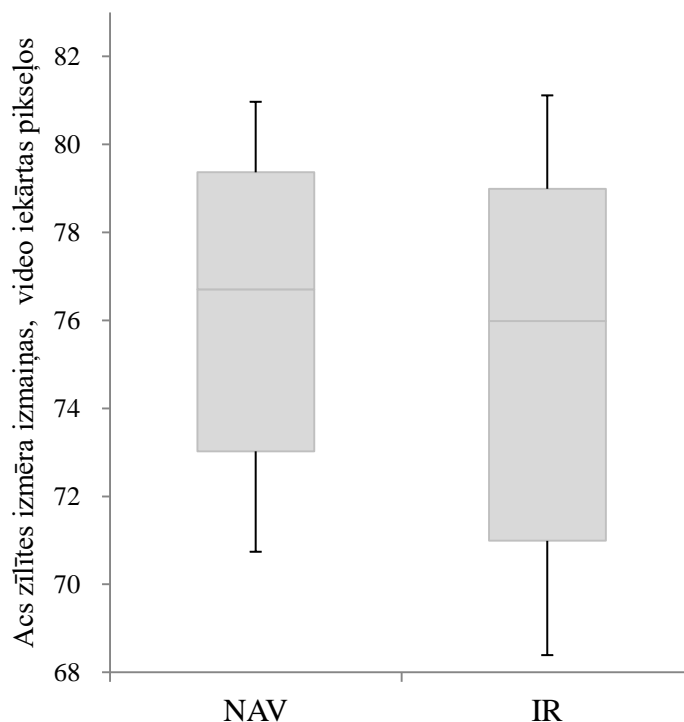


2.19. attēls Dalībnieka Nr.3 acs zīlītes centa koordinātu horizontālā virziena izmaiņas, izteiktas video iekārtas video pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā, pirms mākslīgas acs zīlītes palielināšanas.



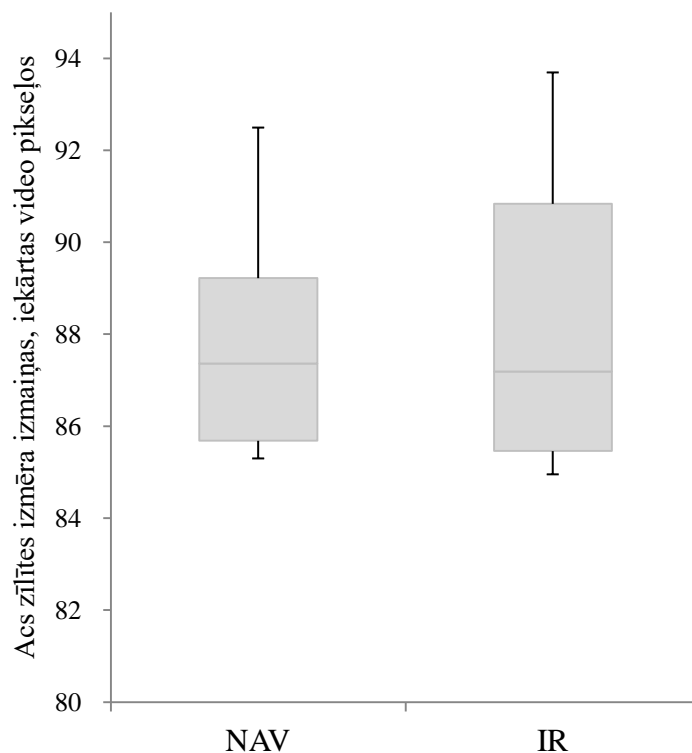
2.20. attēls Dalībnieka Nr.3 acs zīlītes centa koordinātu horizontālā virziena izmaiņas, izteiktas video iekārtas pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā, pēc mākslīgas acs zīlītes palielināšanas.

Veicot statistisku datu salīdzināšanu 2.19. att. atainotajos datos nav novērota statistiski būtiska atšķirība ($p > 0,05$) tāpat kā mākslīgi paplašinātas acs zīlītes gadījumā, kas attēlot 2.20.attēlā. Lai arī vērojamas datu izmaiņas kopumā, pielietojot papildus IS apgaismojumu, sadistiski nozīmīgas atšķirības neparādās.



2.21. att. Dalībnieka Nr.3 acs zīlītes izmēra izmaiņas vertikālā virzienā, izteiktas video iekārtas pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā pirms mākslīgas acs zīlītes palielināšanas.

2.21.att. gadījumā sākotnēji novērtējot acs zīlītes izmēra izmaiņas horizontālā virzienā netiek novērotas statistiski būtiskas atšķirības ($p > 0,05$) bez medikamentozas iejaukšanās un līdzīga tendence saglabājas arī pēc mākslīgas acs zīlītes paplašināšanas. Kopumā var vērtēt, ka, lai arī mākslīgās acs gadījumā izmaiņas bija statistiski būtiski atšķirīgas, līdzīgu apstākļu gadījumā kad eksperimenta dalībniekam tika veikta mākslīga acs zīlītes paplašināšana, līdzīga tendence nesaglabājās un netika novērotas statistiski būtiskas atšķirības.



2.22. att. Dalībnieka Nr.3 acs zīlītes izmēra izmaiņas vertikālā virzienā, izteiktas video iekārtas pikseļos, kad nav ieslēgta papildus IS gaisma (NAV) un pie nosacījuma, kad tā ir ieslēgta (IR), IS gaismas diodēm atrodoties horizontālā pozīcijā pēc mākslīgas acs zīlītes palielināšanas

2.4. Diskusija

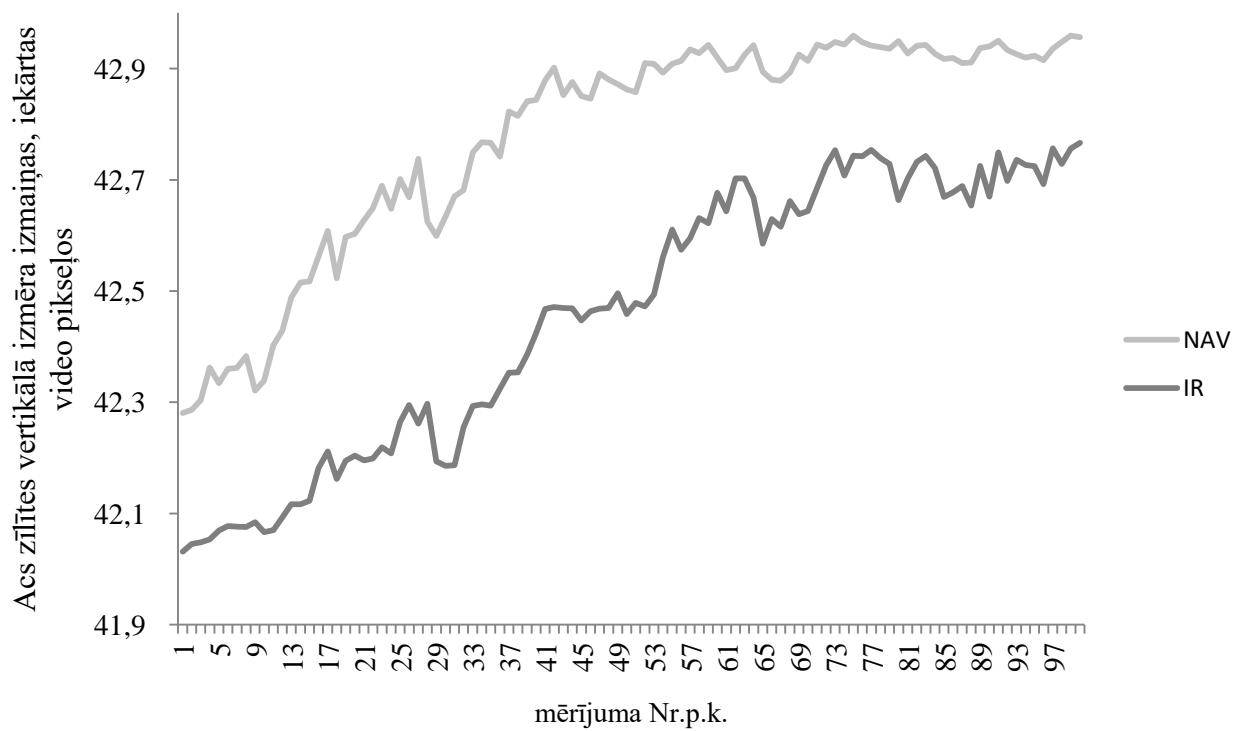
Acu kustību novērtēšanas iekārtas darbības princips pamatā balstās uz acs zīlītes centra novērtējumu un novietojumu. Tomēr gadījumā, kad acs zīlītes izmērs mainās, neatkarīgi no skata pozīcijas saglabāšanas, acs zīlītes centra novietojums var mainīties (*Jashinskis*). Tiek uzskatīts, ka lielākās izmaiņas acs zīlītei notiek tieši horizontālā virzienā kam par iemeslu ir acs zīlītes muskuļi, kuru cirkulārais un vienlaikus arī radiālais novietojums pat minimālu acu kustību laikā, piemēram pie mikrosakādēm, veic rotācijas kustības ar izteiktāku kustību tieši horizontālā virzienā (*Nystrom*).

Lai pārliecinātos, ka izmaiņas iespējamas tikai tad, kad eksperiments notiek ar patiesu dalībnieku, būtu vērtīgi pārliecināties uz nemainīgu parametru sistēmas gadījumā jeb acs modeļa gadījumā. Nemainīgas sistēmas gadījumā ievāktu mērījumu izmaiņām tūri teorētiski nevajadzētu rasties, jo tiek novērstas tik ļoti mērījumus ietekmējošās pat nelielās amplitūdas acu kustības un lielākas amplitūdas galvas kustības. Lai arī acs zīlītes centra izmaiņas tiek novērtētas pēc kalibrēšanā iegūto koordinātu izmaiņām un pārvērstas leņķiskajās acs rotācijas vienībās (Yu, Lin, Tang, Xu, Schmidt, Wang, & Guo, 2015), nemainīga acs modeļa gadījumā, lai arī kalibrēšana netiek veikta, pēc iegūto datu salīdzinājuma nebūtu jānovēro izmaiņas visā

datu pieraksta laikā. Kā svarīgākie mērījumi būtu jānovērtē tieši acs zīlītes centra koordinātu izmaiņas tieši horizontālā virzienā, kā arī papildus acs zīlītes izmēra izmaiņas kopumā. Tā kā papildus IS starojuma iekārtai bija iespējams mainīt diožu novietojumu, tas arī papildus tika darīts, pieļaujot domu, ka iespējams, ja ietekme tomēr būtu no IS starojuma, tad iespējams, mainoties diožu pozīcijai, būtu vērojamas atšķirīgas izmaiņas.

Tā kā acs modeļa gadījumā bija zināms kāds ir acs zīlītes izmērs, pēc iegūtajiem datiem bija iespējams izvērtēt, cik ļoti iekārtas novērtējums atbilda patiesajam acs zīlītes izmēram. Piemēram, horizontāla IS starojuma diožu gadījumā 5 mm zīlīte horizontālā virzienā tika novērtēta kā 41,00 iekārtas video pikseli liela, bet vertikālā virzienā $42,78 \pm 0,2$ iekārtas video pikseļu liela. Kopumā pirmajā gadījumā katrs zīlītes milimetrs tika novērtēts kā $8,2 \pm 0,12E-14$ iekārtas video pikseli, bet otrajā gadījumā kā $8,56 \pm 0,041$ iekārtas video pikseli. Savukārt papildus IS starojuma diodēm atrodoties vertikālā pozīcijā horizontālajam zīlītes izmēra katram mm atbilda $9,8 \pm 0,036E-4$ iekārtas video pikseli, bet vertikālā zīlītes izmēra novērtējuma gadījumā $9,2 \pm 0,016E-13$. Novērtējums 5 mm zīlītei attiecīgi bija $49,00 \pm 0,002$ un 46,00 iekārtas video pikseli. Pielietojot papildus IS starojumu, horizontāla diožu novietojuma gadījumā 5 mm zīlīte horizontālā virzienā tika novērtēta kā 41,00 iekārtas video pikseļu liela, bet vertikālajā virzienā $42,46 \pm 0,24$ ar katra zīlītes milimetra attiecīgu novērtējumu $8,2 \pm 0,12E-14$ iekārtas video pikseli un $8,49 \pm 0,049$. Mainoties diožu novietojumam uz vertikālu pozīciju horizontālais izmēra novērtējums bija $49,00 \pm 0,0008$ iekārtas video pikseli, bet vertikālais $45,51 \pm 0,44$ iekārtas video pikseli. Katra zīlītes milimetra novērtējums iekārtas video pikseļos attiecīgi bija $9,80 \pm 0,00016$ un $9,10 \pm 0,088$.

Uzskatāms salīdzinājums šķietami nemainīgas sistēmas iegūto datu gadījumā apskatāms 2.23. att.. Šeit redzams, ka lai arī šķietami nekas netika mainīts ārējos eksperimenta apstākļos, kā arī acs modeli kā tādā, tomēr ir novērojamas svārstības iegūtajos datos, par kuru nozīmību liecina statistiskie salīdzinājumi iegūto rezultātu apskatā. *Jaschinski* savā pētījumā apgalvo, ka mainoties zīlītes izmēram pat par 1mm mainās acs zīlītes centra novietojums pat par 0,05 mm, kas, piemēram, vergences atbildes novērtēšanas gadījumā ievieš aptuveni $0,5^0$ lielas izmaiņas acs skata pozīcijas novērtēšanā. 1mm acs zīlītes izmaiņas ievieš horizontālus 14 loka minūšu artefaktus gadījumā kad novērtējums tie veikts monokulāri. Kopumā pētnieks atklāja, ka atkarībā no eksperimenta veida un uzdevuma pat 0,4mm zīlītes izmaiņas ir būtiskas.



2.23.att. Acs modeļa zīlītes izmēra izmaiņas vertikālā virzienā pie nosacījuma, kad IS starojums netiek pielietots (NAV) un tiek pielietots (IR) diodēm esot novietotām horizontālā virzienā

SECINĀJUMI

Izstrādājot maģistra darbu, sākotnēji tika domāts veikt acs zīlītes izmēra izmaiņu novērtējumu ar acu kustību pieraksta iekārtas palīdzību, papildus pielietojot papildus IS starojumu acs modelim. Darba gaitā tika izlemts veikt papildinājumu, ievācot mērījumus arī patiesiem eksperimenta dalībniekiem. Kopumā veicot iegūto datu salīdzinājumu un apstrādi, tika secināts:

1. Salīdzinot uz video-balstītās acu kustību pieraksta iekārtas acs modeļa zīlītes novērtēšanas rezultātus bez un ar papildus IS starojumu diožu novietojumam atrodoties horizontālā virzienā, tiek novērotas statistiski būtiskas atšķirības izvēlētajos acs zīlīti raksturojošos parametros.
2. Salīdzinot uz video-balstītās acu kustību pieraksta iekārtas acs modeļa zīlītes novērtēšanas rezultātus bez un ar papildus IS starojumu diožu novietojumam atrodoties vertikālā virzienā, tiek novērotas statistiski būtiskas atšķirības izvēlētajos acs zīlīti raksturojošos parametros.
3. Salīdzinot uz video-balstītās acu kustību pieraksta iekārtas veiktos acs zīlītes novērtēšanas rezultātus bez un ar papildus IS starojuma reālai acs zīlītei, ja acs zīlīte ir nemainīga (medikamentozī paplašināta) netiek novērotas statistiski būtiskas atšķirības izvēlētajos acs zīlīti raksturojošajos parametros.
4. Salīdzināt uz video-balstītās acu kustību pieraksta iekārtas veiktos acs zīlītes novērtēšanas rezultātus bez un ar papildus IS starojuma reālai acs zīlītei, ja acs zīlīte ir kustīga tika novērotas izmaiņas, bet tās nebija statistiski būtiski atšķirīgas.

Kopumā izvērtējot visus iegūtos rezultātus un to statistisko nozīmību var secināt, ka, lai arī video-balstītās acu kustību pieraksta iekārtas tiek uzskatītas ar vienām no modernākajām un precīzākajām iekārtām, pat nemainīgas sistēmas gadījumā var rasties statistiski būtiskas atšķirības mērījumos. Reālas acs zīlītes novērtēšanas gadījumā statistiski būtiskas atšķirības netika novērotas, kas liek domāt par to, ka izvēlēto iekārtu mijiedarbība nav bijusi savstarpējos datus negatīvi ietekmējoša.

NOBEIGUMS

Tā kā šajā diplomdarbā izvirzītie darba uzdevumi līdz šim nav tikuši apspēlēti šādā veidā, kā tas tika darīts, darba praktiskajai daļai varētu ieviest uzlabojumus, praktisko daļu izstrādājot atkārtoti. Par pamatu saglabājot esošajā diplomdarbā izstrādāto metodi un pielietojot izvēlētās iekārtas.

Tā kā pamatā acs zīlītes izmēra izmaiņu novērtējums tika veikts acs modelim un eksperimenta dalībnieku skaits bija neliels, datu precīzākai iegūšanai, ieteiktu palielināt pētījuma dalībnieku skaitu un iespējams vienam dalībniekam mērījumus sesijas veikt vairākas reizes un tad, iespējams, veikt iegūto datu salīdzinājumu. Šajā reizē datu iegūšana netika veikta vienā dienā un, piemēram, acs modeļa gadījumā novietojums attiecībā pret iekārtām katru reizi bija mazliet savādāks, kas, iespējams, ieviesa kļūdu datu pierakstā. Telpā, kurā tika veikts eksperiments darbošanos mazliet ietekmēja telpas apgaismojums, kurš pēc ilgākas eksperimenta sesijas mainījās, kā rezultātā telpas apgaismojuma amplitūdu pilnīgi identisku visa eksperimenta laikā nodrošināt nevarēja

Kopumā šajā diplomdarbā iegūtos rezultātus varētu ņemt par pamatu turpmākai darbu izstrādei novēršot apstākļus, kuri, iespējams, radīja kļūdas šajā mērījumu iegūšanas reizē. Darbības princips ir viegls, un pamatā lielākais darbs ir jāveic datu apstrādes laikā. Uzlabojumi turpmākā izpētē uzlabotu iegūto datu ticamību un palīdzētu saprast vai izvēlētā sistēma patiešām darbojas, lai turpmāk izvēlētās iekārtu sistēmas savstarpējas darbošanās ietvaros izstrādātu jaunus pētnieciskos darbus.

PATEICĪBA

Vēlētos izteikt lielu pateicību darba vadītājai docentei, Dr.phys Aigai Švedei par piedāvāto darba tēmu un ieskatu tajā, kā pareizāk darboties maģistra darba izstrādes laikā. Vēlētos atzinīgi novērtēt darba vadītājas spēju ātri reaģēt un veikt nepieciešamos labojumus diplomdarba izstrādes laikā.

Pateicību vēlētos izteikt docentam, Dr.phys Sergejam Fominam, kurš palīdzēja izprast papildus IS starojuma iekārtas darbības principu, palīdzēja piemeklēt pareizo pozīciju, lai IS starojums patiešām nonāktu nepieciešamajā vietā, kā arī palīdzēja tehniski pareizi veikt iekārtas ekspluatāciju kopumā. Darba tapšanas gaitā ar savām zināšanām palīdzēja arī lektore Mg.sc. Ilze Laicāne. Viņas zināšanas ļoti palīdzēja darba teorētiskā apraksta papildināšanā, kā arī praktiski darbojoties eksperimenta datu ievākšanas laikā.

Lielu pateicību vēlētos izteikt eksperimenta dalībniekiem, kuri piekrita piedalīties diplomdarba praktiskās daļas tapšanā. Vislielāko pateicību vēlētos izteikt savai ģimenei, kura pacietīgi un saprotoši izturējās visā diplomdarba izstrādēs laikā. Viņu morālais atbalsts lika neatlaidīgi darboties un motivēja īpaši pēdējās diplomdarba izstrādes dienās.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Abraham, S., Vilupuru, B. S., & Slasser, A. (2003). Dynamic accommodative changes in rhesus monkey eyes assessed with A-scan ultrasound biometry. *Optometry and Vision Science*, 80(5), 383–394.
- Bahill, A. T., Ciuffreda, K. J., Kenyon, R., & Stark, L. (1976). Dynamics and statistic violations of Hering's law of equal innervation. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 53(12), 786-796.
- Chernyack, D. A. (2005). Iris-based cyclotorsional image alignment method for wavefront registration. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 52(12), 2032–2040.
- Cornsweet, T. N., & Crane, H. D. (1970). Servo-controlled infrared optometer. *Journal of the Optical Society of America*, 60, 548–554.
- Cooper, J., Ciuffreda, K. J., & Kruger, P. B. (1982). Stimulus and response AC/A ratios in intermittent exotropia of the divergence-excess type. *The British Journal of Ophthalmology*, 66, 398–404.
- Davson, H., (1972). *The physiology of the eye*. New York: Academic Press.
- Duchowski A. T., & Vertegaal, R. (2000). Eye-based interaction in graphical systems: theory and practice. *Conference SIGGRAPH 2000*, Course 05, Course notes. ACM, New York.
- Duchowski, A. T. (2003). *Eye tracking methodology: theory and practice* (2nd ed.). London: Springer-Verlag.
- Ebisawa, Y., & Satoh, S. (1993). Effectiveness of pupil area detection technique using two light sources and image difference method. *15th annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, San Diego, 1268–1269.
- Erkelens, C. J., Van Der Steen, J., Steinman, R. M., & Colleeijn, H. (1989). Ocular vergence under natural conditions. II. Gaze-shifts between real targets differing in distance and direction. *Proceedings of the Royal Society of London*, 236(1285), 441-446.
- Fehrat, O. (2012). Eye-Tracking with webcam-based setups: Implementation of a real-time system and an analysis of factors affecting performance. *Computer Vision Center Tehnical report*, 172, 1-43.
- Fincham, E. F., & Watson, J. (1957). The reciprocal actions of accommodation and convergence. *The Journal of Physiology*, 137(3), 488-508.
- Fu, X., Zang, Y., & Liu, H. (2012). A real time video-based eye tracking approach for driver attention study. *Computing and Informatics*, 31, 805-825.

- Gagl, B., Hawelka, S., & Hutzler, F. (2011). Systematic influence of gaze position on pupil size measurement: analysis and correction. *Behavior Research Methods*, 43(4), 1171–1181.
- Glasser, A. (2001). Accommodative optical changes in the primate crystalline lens. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 42.
- Hansen, D. W. & Ji, Q. (2010) In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze. *IEEE Transactions on Pattern analysing and machine intelligence*, 32(3), 478–500.
- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). “Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue,” *Journal of Vision*, 8(3), 1-30.
- Iskander, D. R., Mioschek, S., Trunk, M., & Werth, W. (2003). Detecting eyes in digital images. *Seventh International Symposium Signal Processing and its Applications*, 2, Paris: France, 21–24.
- Jacob, R. (1991). The use of eye movements in human–computer interaction techniques: What you look at is what you get. *ACM Transactions on Information Systems*, 9(2), 152–169.
- Jaschinski W. (2016) Pupils size affects measures of eye positon in video eye tracking: implications for recording vergence accuracy. *Eye movement reserch*, 9, (4).
- Kojima, T., Matsuura, Y., Miyao, M., Shiomi, T., & Takada, H. (2013). Comparison by simultaneous measurement of lens accommodation and convergence in 3D vision and their distributions. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3(6), 635-638.
- Kolakowski, S. M., Pelz, J.B. (2006). Compensating for eye tracker camera movement. *ACM symposium (2006)*, 79-85.
- Krishan, V. V., Shirachi, D., & Stark, L. (1977). Dynamic measurments of vergence accommodation. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 54(7), 470-473.
- Kunka, B., & Kostek, B. (2009). Non-intrusive infrared-free eye tracking method. *Signal Processing Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications Conference Proceedings (SPA)*, 105 – 109.
- Kunka, B., Kostek, B., Kulesza, M., Szczuko, P., & Czyzewski, A. (2010). Gaze-tracking-based audio-visual correlation analysis employing quality of experience methodology. *Intelligent Decision Technologies*, 4(3), 217-227.

- Li, F., Kolakowski, S., & Pelz, J. (2008). A model-based approach to video-based eye tracking. *Journal of Modern Optics: Special Issue on Physiological Optics*, 55, 4-5.
- Majaranta, P., & Bulling, A. (2014). Eye tracking and eye-based human-computer interaction. *Advances in Physiological Computing*, 39-65.
- Mays, L. E., & Gamlin, P. D. R. (1995). Neuronal circuitry controlling the near response. *Current Opinion in Neurobiology*, 5, 763–768.
- Merchant, J., Morrisette, R., & Porterfield, J. (1974). Remote measurement of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 21(4), 309–317.
- Morimoto, C. H., Koons, D., Amir, A., & Flickner, M. (2000). Pupil detection and tracking using multiple light sources. *Image and Vision Computing*, 18, 331-335.
- Myers, G. A., & Stark, L. (1990). Topology of the near response triad. *Ophthalmic and Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 10, 175–181.
- Nystrom, M., Hooge, I., & Andersson R. (2016) Pupil size influences the eye-tracker signal during saccades. *Vision Research*, 121, 95-103.
- Porter, J., Yoon, G., MacRae, S., Pan, G., Twietmeyer, T., Cox, I. G., & Williams, D. R. (2005). Surgeon offsets and dynamics eye movements in laser refractive surgery, *Journal of cataract & Refractive Surgery*, 31, 2058-2066.
- Santis, A. De., & Iacoviello, D. (2006). Optimal segmentation of pupillometric images for estimating pupil shape parameters. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 8, 174-187.
- Suryakumar, R., Meyers, J. P., Irving, L., & Bobier, W.R. (2007). Application of video-based technology for the simultaneous measurement of accommodation and vergence. *Vision Research*, 47, 260–268.
- Susan, M. K., Pelz, J. B. (2006) Compensating for eye tracker camera movement. *ETRA'06 symposium*, San Diego California, 79-85.
- Templin, K., Didyk, P., & Myszkowski, K. (2014). Modeling and optimizing eye vergence response to stereoscopic cuts. *Proceeding of ACM SIGGRAPH*, 33(4), 145.
- Timma, F., & Barth, E. (2011). Accurate eye centre localisation by means of gradient. *VISPAP 2011*, Portugal.
- Tomono, A., Iida, M., & Kobayashi, Y. (1989). A TV camera system which extracts feature points for non-contact eye movements detection. *Optics, Illumination and Image Sensing for Machine Vision*, IV(1194), 2–12.

- Twa, M. D., Bay, M. D., Hayes, J., & Bullimore, M. (2004). Estimation of pupil size by digital photography. *Journal of cataract & Refractive Surgery*, 30, 381-389.
- Ukai, K., & Howarth, P. A. (2008). Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observation. *Displays*, 29, 106-116.
- Villanueva, A., Cabeza, R., & Porta, S. (2006). Eye tracking: Pupil orientation geometrical modeling. *Image and Vision Computing*, 24, 663-679.
- Villanueva, A., & Cabeza, R. (2008). Evaluation of corneal refraction in a model of a gaze tracking system. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(12), 2812–2822.
- Young, L., & Sheena, D. (1975). Survey of eye movement recording methods. *Methods and Designs, Behavior Research Methods and Instrumentation*, 7(5), 397–429.
- Yu, M., Lin, X., Tang, J. Xu, D. Schmidt, X. Wang, Y. Lin, & Y. Guo, (2015). "An Easy Iris Center Detection Method for Eye Gaze Tracking System," *Journal of Eye Movement Research*, 8(3):5, 1-20.
- Zhu, D., Moore, S. T., & Raphan, T. (1999). Robust pupil center detection using a curvature algorithm. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 59(3), 145-157.

Maģistra darbs „Papildus infrasarkanā apgaismojuma ietekme uz acs zīlītes izmēra novērtējumu” 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: Aiga Batare
Stud.apl.nr. ab12209

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

Recenzents: fiziķis, Dr.phys. Varis Karitāns

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

Darbs aizstāvēts maģistra gala pārbaudījuma komisijas sēdē
_____. protokola Nr. _____
Komisijas sekretārs: _____