

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**ACU KUSTĪBU IEKĀRTU IVIEWX HI-SPEED UN
RED500 SALĪDZINĀJUMS**

BAKALaura DARBS

Darba autors: **Nora Barviķe**

Studenta apliecības Nr.: nb15014

Darba vadītājs: Lektore, Prof.mag. Ilze Ceple

RĪGA 2018

ANOTĀCIJA

Darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 31 lapaspuses, tas satur 21 attēlu, 2 tabulas un 24 atsauces.

Darba mērķis: novērtēt acu kustību pieraksta iekārtu IViewX Hi-Speed un IViewX RED500 precizitāti.

Darba uzdevumi: 1. salīdzināt acu kustību pieraksta iekārtu IViewX Hi-Speed un IViewX RED500 noteiktā skata virziena precizitāti uz datora monitora; 2. noteikt fona krāsas ietekmi uz noteiktā skata virziena precizitāti; 3. noskaidrot, kā mainās iekārtu precizitāte atkarībā no attāluma līdz attēla centram.

Rezultāti: Acu kustību pieraksta iekārta IViewX RED500 uzrādīja precīzākus rezultātus, kā IViewX Hi-Speed iekārta. Mainot fona krāsu no baltas uz melnu, precizitāte samazinājās abām iekārtām. Palielinoties attālumam līdz attēla centram, precizitāte samazinājās ar IViewX RED500, bet netika novērotas būtiskas izmaiņas IViewX Hi-Speed mērījumos.

Atslēgas vārdi: Video-okulogrāfija, skata virziena precizitāte, acu kustības, acu kustību analīze

ABSTRACT

Bachelor thesis is written in Latvian on 31 pages. Thesis contains 21 figures, 2 tables and 24 references.

Purpose: to compare the accuracy IViewX Hi-Speed and IViewX RED500 eye trackers.

Tasks: 1. to compare the accuracy of IViewX Hi-Speed and IviewX RED500 eye trackers on a computer screen; 2. to determine the effect of stimulus colour on eye tracking accuracy; 3. to determine the effect of stimulus distance on eye tracking accuracy.

The results: The performance of IViewX RED500 eye tracker was more accurate than with IViewX Hi-Speed eye tracker. Changing stimulus colour from white to black reduced the performance in both eye trackers. With increasing distance to the computer screen IViewX RED500 demonstrated reduced performance. The accuracy of IViewX Hi-Speed was not affected by stimulus distance.

Key words: Video-oculography, gaze accuracy, eye movement, eye movement analysis

SATURS

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	2
1.1. Acu kustības	2
1.1.1. Skata stabilizācijas kustības	2
1.1.2. Skata pārneses acu kustības	3
1.1.3. Fiksācijas acu kustības	4
1.2. Acu kustību pierakstu veidi	5
1.2.1. Sklēras spoles kontaktlēcas	5
1.2.2. Elektro-okulogrāfija (EOG)	6
1.2.3. Video-okulogrāfi	7
1.3. Acu kustību reģistrēšanas iekārtas noteiktie parametri	12
1.3.1. Precizitāte	13
1.4. Parametri, kas ietekmē acu kustību pierakstu	14
2. PĒTĪJUMA DAĻA	18
2.1. Metodika	18
2.1.1. Izmantotās iekārtas	18
2.1.2. Dalībnieku atlase	20
2.1.3. Stimulu apraksts	20
2.1.4. Pētījuma gaita	21
2.1.5. Rezultātu iegūšana	23
2.2. Rezultāti	24
2.2.1. Skata virziena precizitāte IViewX RED500 un IViewX Hi-Speed iekārtām	25
2.2.2. Skata virziena precizitāte atkarībā no attāluma līdz ekrāna centram	27
2.2.3. Skata virziena precizitāte atkarībā no stimula krāsas	29
SECINĀJUMI	31
NOBEIGUMS	32
PATEICĪBAS	33
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	34

IEVADS

Mūsdienās tiek izstrādātas aizvien jaunas acu kustību pieraksta iekārtas, kuru precizitāte un mērījumu atkārtojamība ne vienmēr ir zināma. Tas var ietekmēt gan acu kustību pieraksta rezultātus, gan iegūto rezultātu interpretāciju. Mērījumu precizitāte un atkārtojamība var atšķirties tādos gadījumos, ja tiek izmantotas dažādas skata virziena noteikšanas un apstrādes metodes vai ja tiek veiktas izmaiņas eksperimenta uzstādījumos, analizēti dažādi acs priekšējo daļu parametri. Piemēram, dažādas iekārtas, kas skata virzienu nosaka pēc zīlītes pārvietojuma, zīlītes noteikšanā var pieņemt zīlītes formu gan kā elipsi, gan kā apli. Turklāt bez zīlītes pārvietojuma analīzes pastāv vēl citas pieejas kā atrast skata pozīciju (*Titz et al.*, 2017).

Visefektīvāk vairāku iekārtu salīdzināšanu ir veikt vienādos apstākļos, ar vienādiem stimulu uzstādījumiem, vienādu eksperimenta gaitu un vienlaicīgi, lai novērstu dažādu faktoru ietekmi uz pētījumu rezultātiem, piemēram, apgaismojuma un pacienta noskaņojuma izmaiņas (*Titz et al.*, 2017). Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā ir pieejamas divas acu kustību pieraksta iekārtas, kuru precizitāte savstarpēji Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā iepriekš nav salīdzināta. Bakalaura darba ietvaros tiek salīdzinātas abas nodaļā pieejamās iekārtas un gūts padziļinātāks ieskats iekārtu pielietojamībā redzes uztveres pētījumos.

Darba mērķis: novērtēt acu kustību pieraksta iekārtu IViewX Hi-Speed un IViewX RED500 precizitāti.

Hipotēze: IViewX Hi-Speed acu kustību iekārtas precizitāte ir augstāka, nekā IViewX RED500 iekārtai.

Darba uzdevumi:

1. Salīdzināt acu kustību pieraksta iekārtu IViewX Hi-Speed un IViewX RED500 noteiktā skata virziena precizitāti uz datora monitora;
2. Noteikt fona krāsas ietekmi uz skata virziena precizitāti;
3. Noskaidrot, kā mainās iekārtu precizitāte atkarībā no novērotāja attāluma līdz attēla centram.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

1.1. Acu kustības

Lai iegūtu pēc iespējas vairāk informācijas no apkārējās pasaules, cilvēku acis veic kustības, kuras koordinē sešu acs ārējo muskuļu – augšējā taisnā, iekšējā taisnā, apakšējā taisnā, ārējā taisnā, augšējā slīpā un apakšējā slīpā – kontrakcija katrā acī, rotējot aci trīs asīs – vertikālajā, horizontālajā un torsionālajā, tātad kontrolējot trīsdimensionālo acs orientāciju. Muskuļa darbību orbītā nosaka orbītas rotācijas punkts, kā arī katra muskuļa sākums un piestiprināšanās vieta. (Wong, 2008; Holmqvist et al., 2011).

Wong (2008) sešu muskuļu kustības sistēmu iedala acu kustību grupās:

1. skata stabilizācijas acu kustības, kurās attēls tiek vienmērīgi turēts uz tīklenes
2. skata pārneses acu kustības, kurās foveja tiek pārvietota uz interesējošā objekta;
3. fiksācijas acu kustības.

1.1.1. Skata stabilizācijas kustības

Skata stabilizācijas kustības koordinē acu un galvas kustības, kompensējot cilvēka galvas un ķermeņa kustības, stabilizējot vizuālo pasauli uz tīklenes (Glimcher, 2003). Skata stabilizācijas acu kustības iedala vestibulārajās acu kustībās un optokinētiskajā nistagmā.

Vestibulārās acu kustības izmanto vestibulārā orgāna pusloka cirkulāros kanālus, lai noteiktu precīzu ātrumu kādā galva un ķermenis tiek pārvietoti kādā noteiktā virzienā. Acis tiek pagrieztas tikpat daudz cik galva, tikai pretējā virzienā, lai stabilizētu objekta attēlu uz tīklenes. Šis reflekss tiek izmantots visu laiku, piemēram, staigājot, tas kompensē mazas galvas kustības, kas traucē pilnībā uztvert vizuālo informāciju (Glimcher, 2003). Acīm rotējot, attēls uz tīklenes paliek nekustīgs pat tad, kad galva un ķermenis veic nelielas kustības (Wong, 2008; Rayner, 1998). Vestibulārais aparāts nosaka galvas kustību ātrumu un dod signālu veikt tādas pašas amplitūdas un ātruma acu kustības pretējā virzienā (Glimcher, 2003).

Optokinētiskās acu kustības tiek veiktas, balstoties uz fotoreceptoru, sniegto informāciju par attēla kustības ātrumu un virzienu, kādā objekti pārvietojas pāri tīklenei. Ar šīs informācijas palīdzību tiek veiktas noturīgas acu kustības, kas ir ar vienādu ātrumu, bet pretējā virzienā (Wong, 2008; Rayner, 1998; Glimcher, 2003). Optokinētisko nistagmu izraisa vienmērīga liela attēla apgabala pārvietošanās pāri visam redzes laukam (piemēram, caur logu novērojama attēls, cilvēkam braucot ar vilcienu). Kustību ietvaros tiek izvēlēts noteikts objekts redzes laukā, kam ar lēnas sekošanas acu kustībām tiek izsekots. Tiklīdz objekts vairs neatrodas redzes laukā, redzes sistēma veic strauju skata pārnesi uz jaunu izvēlētu objektu.

Optokinētiskais nistagms ir grūdienveida nistagms, kura lēnā daļa ir kustīgā objekta virzienā un ātrā daļa ir pretējā virzienā. Optokinētisko nistagmu var novērot, pārvietojoties ar transportu, piemēram, braucošā vilcienā skatoties ārā pa logu (*Furman, 2014*).

Vestibulārā sistēma un optokinētiskās acu kustības darbojas saskaņoti, kontrolējot atbilstošo kompensējošo acu kustību (*Furman, 2014*). Šo abu acu kustību neirālās sistēmas precīzi kompensē acu rotāciju, aktivējot acu kustību muskuļus, lai izveidotu saskaņotu acu rotācijas kustību. Rezultātā, neskatoties uz galvas kustībām, skata līnija paliek nemainīga (*Glimcher, 2003*).

1.1.2. Skata pārneses acu kustības

Skata pārneses acu kustību sistēma ģenerē acu kustības, kas nodrošina interesi piesaistošā objekta attēla novietošanu uz fovejas (foveja – tīklenes reģions ar maksimālo fotoreceptoru koncentrāciju, kur redzes asums ir visaugstākais (*Martinez-Conde et al., 2004*)). Skata pārneses acu kustību sistēmu iedala versiju un vergēncu acu kustībās. Versijas ir abu acu kustības vienā virzienā un tās iedalās lēnās sekošanas acu kustībās un sakādēs. Vergēncu acu kustības novērojamas (konverģence, diverģence un vertikālās vergēnces kustības) tad, kad objekts pārvietojas tālāk vai tuvāk no cilvēka (*Brazis et al., 2011*). Šiem mehānismiem ir dažādas īpašības un tie iesaista dažādus centrālās nervu sistēmas apgabalus (*Wong, 2008*).

Vergēncu acu kustību laikā acis pārvietojas pretējā virzienā, lai viena objekta attēls tiek turēts vienlaicīgi un abu acu fovejām (*Wong, 2008; Rayner, 1998*). Konverģences acu kustības acis ievirza uz iekšu, lai fiksētu uz tuvumā esošu objektu, piemēram, lasot, strādājot ar datoru. Diverģence ir pretēja konverģencei, kur abas acu redzes asis tiek virzītas uz āru, fokusējot uz objektu, kas atrodas tālumā.

Versiju sistēma sastāv no divām okulārajām sistēmām, kas ļauj attēlam palikt uz tīklenes centrālās daļas (foveolas): lēnas sekošanas acu kustības, kad objekts pārvietojas vienmērīgi un ir nepieciešams saskaņot acu kustību ātrumu ar objekta pārvietošanās ātrumu, un sakādiskās acu kustības (*Brazis et al., 2011*)

Lēnas sekošanas acu kustības ir acu kustības, kuru, ietvaros neliela izmēra, kustīga objekta attēls tiek saglabāts uz fovejas (*Rayner, 1998*). Lēnas sekošanas acu kustību stimulē ir mērķa pārvietošanās prom no fovejas un galvenais uzdevums ir tam izsekot (*Rayner, 1998; Brazis et al., 2011*). Šīs acu kustības nevar izsekot objektus, kas pārvietojas ātrāk par 30-40 grādiem sekundē. Kad interesējošais objekts kustas cilvēka priekšā gan galva, gan acis var tikt izmantotas, lai objekta attēls būtu uz fovejas. Lai viss izdotos, svarīgi, ka nervu sistēma aizkavē vestibulo-okulāro refleksu, kura laikā acis skatītos uz objektu, bet galva būtu vērsta citā virzienā (*Brazis et al., 2011*). Šo kustību galvenais mērķis ir spēja novērtēt objekta

pārvietošanās ātrumu un saskaņot to ar acu kustību ātrumu, kas minimizē attēla “slīdēšanu” pa tīkleni, vērojot objekta pārvietošanos (*Glimcher, 2003*).

Sakādes ir straujas acu kustības, ar kuru palīdzību skata virziens tiek pārnests no viena objekta uz otru (*Holmqvist et al., 2013; Rayner et al., 1998; Glimcher, 2003*). To mērķis ir interesi piesaistošā objekta attēlu, kas vispirms tiek uztverts redzes lauka perifērijā, novietot uz fovejas (*Rayner et al., 1998*). Kā norāda *Holmqvist et al. (2013)*, lai izpildītu sakādes kustību, nepieciešamas 30-80ms, turklāt lielākā daļa sakāžu uzreiz neapstājas, sasniedzot mērķi, bet acs mazliet svārstās, līdz iegūst optimālo skata pozīciju. Sakādes iesaista smadzeņu stumbru un kortikālo mehānismu, lai identificētu mērķi un pārvietotu skatu tā virzienā (*Glimcher, 2003*). Jāpiemin sakāžu latenci, kas ir laiks no mērķa parādīšanās brīža līdz sakādes uzsākšanai. Tā sastāv no pārraides laika aferentajā un eferentajā ceļa centrālās apstrādes ceļos. Fiksācijas punkta noņemšana pirms perifērijā demonstrētā mērķa parādīšanās var saīsināt sakādisko acu kustību latenci līdz 90 līdz 120ms. Bez stimula izmaiņām un fiksācijas punkta pazušanas sakādisko acu kustību latence ir no 200 līdz 220ms (*Darrien et al., 2001*).

Brazis et al. (2011) apraksta četrus sakāžu veidus:

- Refleksīvās sakādes – izprovocē pēkšņa vizuālā mērķa parādīšanās vai trokšņa izdzirdēšana. Šīs sakādes nav gribai pakļautas.
- Nolūka sakādes – iekšēji vadītās sakādiskās acu kustības. Tās var būt vizuāli vadītas, kuru mērķis ir noķert uz foveas mērķa attēlu, kas bija redzams tīklenes perifērijā. To mērķis ir atrast mērķa attēlu, ko vēl vai vairs neredzam, kad attēlam bija jāatrodas specifiskā vietā. Ir arī atmiņas vadītas nolūka sakādes, kas balstītas uz atcerētas attēla pozīcijas, kas bija redzama pirms mirkļa tīklenes perifērijā vai uz kuru bija vērsts skatiens pirms ķermeņa rotācijas.
- Antisakādes – apzinātas sakādes, kas vērstas pretējā virzienā, nekā pēkšņi parādījies laterāls mērķa attēls.
- Spontānās sakādes – iekšēji provocētas, bet bez mērķa un notiek kopā ar citiem procesiem aktivitātēm (kā runāšanu) vai skatīšanos tumsā.

1.1.3. Fiksācijas acu kustības

Jau sen zināms, ka mūsu acis nekad nav mierā, pat veicot fiksāciju. Ir apstiprināti trīs galvenie acu kustību veidi, kas apraksta acu kustības fiksācijas laikā: tremors, dreifs un mikroskādes (*Martinez-Conde et al., 2004*).

Tremors ir bez perioda viļņveida, nelielas amplitūdas, nepārtrauktas acu kustības, ar augstu frekvenci – apmēram 90Hz (*Martinez-Conde et al., 2004; Wong, 2008*). Tās ir

vismazākās acu kustības un tās ir grūti precīzi pierakstīt. Tremora kustību ieguldījums redzes uztverē nav skaidri zināms. Tremors ir neatkarīgs abās acīs, kas uzliek fizikālu limitu vizuālās sistēmas spējai, lai tā steroredzes laikā saskaņotu atbilstošos punktu uz tīklenes (*Martinez-Conde et al.*, 2004).

Dreifs ir lēnas, vienmērīgas acu kustības, kas notiek mikrosakādes starplaikos un aci novieto pozīcijā, kas atrodas prom no fiksācijas punkta, novēršot stabila objekta attēla izbalēšanu un izzušanu, kas noris pie nemainīga tīklenes šūnu kairinājuma (Wong, 2008; Rayner, 1998). To svarīgākā nozīme ir saglabāt precīzu vizuālo fiksāciju, kad nav mikrosakādes, vai brīdī, kad mikrosakāžu kompensācija ir relatīvi vāja. Tāpat kā tremori, dreifs ir trokšņa un acu muskuļu neirālās darbības rezultāts (*Martinez-Conde et al.*, 2004).

Mikrosakādes ir mazas, straujas acu kustības, kas veidojas apzinātas fiksācijas laikā. Tās pārvieto tīklenes attēlu no desmit līdz pat vairāku simtu fotoreceptoru amplitūdā un ilgst apmēram 25 milisekundes. Mikrosakāžu nozīme ir labot nepareizu acu novietojumu pēc dreifa. Piemēram, ja dreifs aiznes fiksācijas mērķi prom no fovejas, mikrosakādes tiecas novietot mērķi atpakaļ (*Wong, 2008; Martinez-Conde S.*, 2005).

Kopumā ir trīs acu kustību grupas – skata stabilizācijas jeb vestibulārās un optokinētiskās acu kustības, skata pārneses jeb sakādes, vergences, lēnās sekošanas acu kustības un fiksācijas acu kustības jeb tremors, dreifs un mikrosakādes. Lai pierakstītu un pētījumos izmantotu iegūto informāciju no acu kustību, piemēram, kas cilvēkam ir interesējošs objekts, cik ātri cilvēks novēršas, cik stabilas ir acu kustības, ir nepieciešamas speciālas iekārtas, kuras tiks aprakstītas nākamajā nodaļā.

1.2. Acu kustību pierakstu veidi

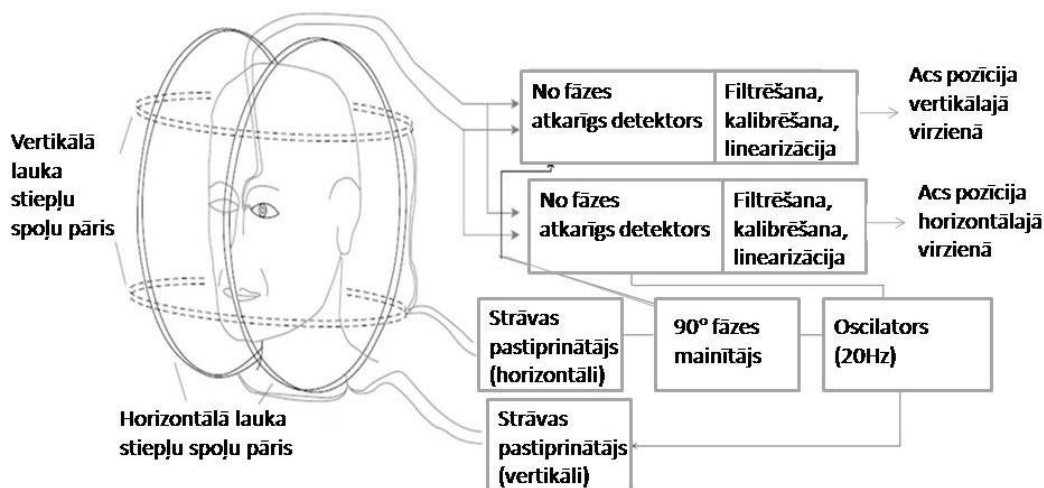
1.2.1. Sklēras spoles kontaktlēcas

Sklēras spoles kontaktlēca ir viena no visprecīzākajām acu kustību mērījumu metodēm, kurā pie acs tiek pievienots mehānisks vai optisks atskaites objekts, kas iebūvēts kontaktlēcā. Kontaktlēca tiek uzlikta tieši uz acs vai ķirurģiski implantēta sklērā (*Duchowski, 2017; Kimmel et al.*, 2012). Šī metode mēra acs pozīciju attiecībā pret galvu, bet tā nav piemērota skata virziena noteikšanai (*Duchowski, 2017*).

Šīs metodes pamatā ir mainīga elektriskā lauka spēja izraisīt strāvu stieples spolē. Ja spole atrodas paralēli maiņstrāvas magnētiskā lauka plaknei, strāva neradīsies, bet strāva radīsies, ja stieples spoles plakne nav paralēla magnētiska lauka līnijām. Strāvas amplitūda būs proporcionāla spoles laukumam, kas projicējas plaknē, kas ir perpendikulāra magnētiskā

lauka līnijām (skat. 1.1. att.). Indukcijas spole apņem laukumu, kas aptuveni atrodas zīlītes plaknē. Horizontālās acu kustības maina strāvu, ko izraisa horizontālais maiņstrāvas magnētiskais lauks, vertikālās acu kustības maina strāvu, ko izraisa vertikālais maiņstrāvas magnētiskais lauks. Ir iespējams pievienot vēl vienu indukcijas spoli, ko var izmantoto, ja nepieciešams noteikt stimula pozīciju, kas atrodas paralēli acs optiskajai asij, tādējādi mērot torsionālās acu kustības (Borah, 2006). Kontaktlēca pārsedz radzeni un sklēru, tai ir pievienotas dažādas mehāniskas vai optiskas ierīces: atstarojošie fosfori, līniju diagrammas un stieples spoles (Duchowski, 2017).

Šī sistēma dod augstu telpisko ($<1^\circ$) izšķirtspēju ar precizitāti 1-2% no acu kustību pieraksta diapazona. Dalībnieks var brīvi kustināt galvu, kā arī sistēma sniedz mērījumus visās trijās asīs un tās darbību neietekmē plakstu aizvērsana vai apkārtējās vides apgaismojums (Borah, 2006). Iekārtas trūkums ir tāds, ka tā rada diskomfortu un ir ļoti invazīva, kā arī kontaktlēca var radīt izmaiņas acu struktūrās – radzenes deformāciju vai ievainot akomodācijas muskuļus, kā arī izkropļot atrasto skata pozīciju (Kimmel et al., 2012; Duchowski, 2017; Du, 2016). Lēcas ievietošanai nepieciešama aprūpe un prakse, kā arī šai sistēmai ir ierobežots darba ilgums un tā prasa papildus ķirurģisku iejaukšanos radot, papildus eksperimenta kavēkļus (Kimmel et al., 2012; Duchowski, 2017).

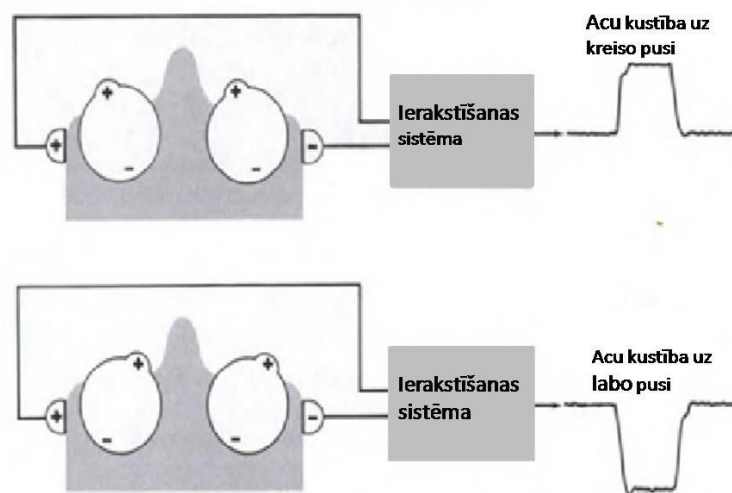


1.1. att. Schematiska ilustrācija kā acu kustības tiek mērītas ar spoles kontaktlēcu (Borah, 2006)

1.2.2. Elektro-okulogrāfija (EOG)

Elektro-okulogrāfijas metode balstās uz novērojumu, ka acs tīklinei ir negatīvāks elektriskais lādiņš no 0,4 līdz 1,0 mV salīdzinājumā ar radzeni. Šī lādiņu atšķirība veido elektrisku dipolu, kas aptuveni atrodas vienā līmenī ar acs optisko asi (Borah, 2006). Elektro-okulogrāfija ir elektriska acu kustību pieraksta iekārta, kas pieraksta potenciāla atšķirību starp

elektrodiem, kas novietoti apkārt acij, mērot radzenes-tīklenes potenciālu. Šis potenciāls ir redzams kā atšķirība starp potenciāliem starp acs ābola priekšpusi un mugurpusi (skat. 1.2. att.). Lai mērītu horizontālās acu kustības, elektrodi tiek novietoti pie acs kaktiņa, bet, mērot vertikālās acu kustības, elektrodi tiek novietoti virs vai zem acs. Svarīgi novietot elektrodus pēc iespējas tuvāk acij, lai nesamazinātu nomērītā potenciāla vērtību (*Stern et al.*, 2001).



1.2. att. Acs kā dipols. Acij kustoties, elektroda potenciāls kļūst negatīvāks, skatoties pa labi, vai pozitīvāks, skatoties pa kreisi, atkarībā no acs kustības virziena (*Stern et al.*, 2001)

EOG var izmantot, lai mērītu acs kustības pa labi un pa kreisi līdz 70 grādiem, parasti to precizitāte ir $\pm 1,5-2,0$ grāds (*Stern et al.*, 2001). Līdzstrāvas novirzes augstais un neparedzamais ātrums padara šādas iekārtas mazāk piemērotas precīziem skata virziena mērījumiem, tāpēc EOG tiek pielietots, lai noteiktu acs kustības attiecībā pret galvas pozīciju, nevis telpas objektu, ko novērotājs ir apskatījis (*Duchowski*, 2017; *Borah*, 2006). Līdzstrāvas novirze parasti ir mazāka, nekā acu kustību ātrums, tādējādi EOG ir piemērots lēnā un ātrā nistagma mērījumiem un fiksācijas un sakāžu mērījumiem, gadījumos, kad nav nepieciešama precīza skata virziena noteikšana (*Borah*, 2006). Izmantojot elektro-okulogrāfu, iegūtie dati var būt kļūdaini, ja plaksti traucē mērījumiem vai daļēnīks ir neuzmanīgs (*Du et al.*, 2016).

1.2.3. Video-okulogrāfi

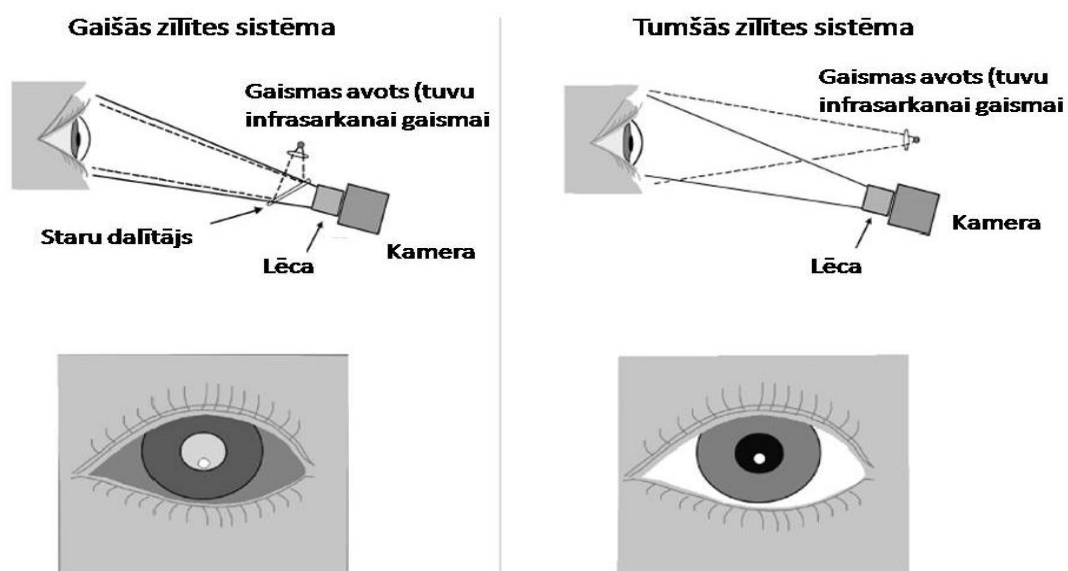
Video-okulogrāfijā acs pozīcijas izmaiņas laikā nosaka, izmantojot vienu vai vairākus infrasarkanās gaismas avotus un uztverošo video kameru (*Duchowski*, 2017). Acs tiek izgaismota ar zemas jaudas infrasarkanā gaismu, kas atstarojas no acs priekšējās virsmas. Tālāk acs attēlu uztver iekārtā iestrādāta kamera (*Naruniec et al.*, 2016). Video-okulogrāfi savstarpēji var atšķirties ar darbības frekvenci, pieejamo darbošanās attālumu, galvas kustību kompensācijas metodi, iespējām iekārtu izmantot binokulāri vai monokulāri, kā arī ar zīlītes

attēlošanu (vai tiek izmantota gaišas/tumšās zīlītes sistēma vai abas). Augstāka darbības frekvence ļauj labāk pierakstīt sakādes un smalkas amplitūdas acu kustības, bet gaišās/tumšās zīlīte sistēma iespaido, cik labi iekārta ir piemērota eksperimenta dalībniekiem un apstākļiem (Du et al., 2016).

Infrasarkanā gaisma tiek atstarota no acs priekšējām struktūrām, un to uztver uztverošā kamera. Tā kā infrasarkanā gaisma nav redzama cilvēkiem un tās jauda ir zema, tā neietekmē cilvēku, kurš piedalās pētījumā (gaisma nav redzama un nerada izmaiņas acu struktūras) (Naruniec et al., 2016). Uztverošajā kamerā veidojas acs attēls, kas tālāk tiek nosūtīts uz attēla analīzes programmu. Attēla analīzes galvenais uzdevums ir atrast radzenes priekšējās virsmas atstarojuma jeb 1.Purkinjē atstarojums un zīlītes centra novietojumu, lai tālāk izvērtētu attiecību starp radzenes refleksa un zīlītes centra atrašanās vietu, kas tālāk arī nosaka, kur ir vērsts acs skata virziens (Duchowski, 2017; Katz, 2002). Divi atsauces punkti (zīlītes centra un radzenes reflekss) ir nepieciešami, lai atdalītu acu kustības no galvas kustībām. Pozīciju atšķirība starp zīlītes centru un radzenes atstarojumu izmainās tikai ar acs rotāciju, bet paliek relatīvi konstanta pie mazām galvas kustībām (Duchowski, 2017).

1.Purkinjē atstarojums ir novērojams kā mazs balts aplis zīlītes apgabalā. Zīlīte, savukārt ir novērojama kā melns vai koši balts aplis (atkarībā no tā vai tiek lietota gaišā vai tumšā zīlītes sistēma). Tāpēc, ka infrasarkanās gaismas avots ir novietots fiksētā pozīcijā 1. Purkinjē atstarojuma novietojums ir relatīvi stabils, bet acs ābols un tātad zīlīte pie acu kustībām rotē orbītā (Duchowski, 2017). Jaunākās paaudzes acu kustību iekārtas nosaka arī ceturto Purkinjē atstarojumu, kas ir īsts attēls un atstarojas no acs lēcas aizmugurējās virsmas (Katz, 2002; Duchowski, 2017). Duālie Purkinjē attēlu acu mērītāji atdala rotācijas un translācijas acu kustības. Abi atstarojumi kustās kopā ar vienādu attālumu translācijas acu kustībās, bet rotācijas acu kustībās attēli kustas ar dažādiem attālumiem (Duchowski, 2017).

Video-okulogrāfijā tiek izmantotas divu veidu acs zīlītes izgaismošanas sistēmas – gaišā un tumšā zīlītes sistēma, kas nosaka, kā zīlīte tiek izgaismota attiecībā pret varavīksneni. Gaišā zīlītes sistēmā infrasarkanās gaismas avots atrodas vienā līmenī ar kameras optisko asi un zīlīte izskatās gaišāka nekā varavīksnene, jo atstarojums no tīklenes tiek novirzīts uz kameru, turpretī tumšās zīlītes sistēmā infrasarkanās gaismas avots ir novirzīts prom no kameras, tātad zīlīte izskatās tumšākā nekā varavīksnene, jo atstarojums no tīklenes ir novirzīts prom no kameras (skat. 1.3. att.) (Bojko, 2013).



1.3. att. Gaišās un tumšās zīlītes sistēmu ilustrācija. Gaišās zīlītes sistēmas paraugā, no tīklenes atstarotā gaisma tiks novirzīta tieši uz kameru, izveidojot gaišu zīlītes un tumšāku varavīksnes attēlu. Tumšās zīlītes gadījumā gaisma tiks novirzīta prom no kameras, izveidojot tumšu zīlīti un gaišāku varavīksneni (Borah, 2006)

Gaišās zīlītes sistēmu parasti izmanto tumšos apstākļos, kad zīlīte ir liela, bet tā nav piemērota darbam ārpus telpām. Tumšās zīlītes sistēma tiek izmantota apgaismotās telpas un vēl labāk dabiskā apgaismojumā. Gaišās zīlītes sistēmā zīlīte ir gaiša, tāpēc ir mazākā iespēja, ka uztveršanai traucē tumšāki elementi kā acs skropstas vai ēnas, bet tumšās zīlītes sistēmā skropstas, īpaši, ja uz tām ir uzklāta skropstu tuša, var traucēt mērījumiem. Šīs īpašības dēļ, gaišās zīlītes sistēma labāk strādā, ja acs ir gaišā krāsā, bet tumšās zīlītes sistēma- tumšā krāsā (Bojko, 2013). Gaišās zīlītes sistēmu no sākuma izmantoja, lai kompensētu zemu kontrasta jutīgumu kamerā, palielinot gaismas daudzuma atšķirību starp zīlīti un varavīksneni, bet, uzlabojoties tehnoloģijām, kontrasts starp zīlīti un varavīksneni ir pietiekami labs pat tumšās zīlītes sistēmā. Diemžēl nav neviens pētījums, kas salīdzinātu abu sistēmu datu kvalitāti, bet, neskatot izmantoto sistēmu, datu kvalitāti ietekmē arī kameras kvalitāte un citas acu izsekošanas iekārtas daļas (Holmqvist et al., 2011).

Video-okulogrāfiem ir dažas priekšrocības, kāpēc tos būtu labāk izmantot acu kustību analīzes eksperimentos:

- Tie sniedz iespēju vizuāli apskatīt un ierakstīt acu kustības (Gans R. , 2001).
- Tā ir precīza metode, ko ir viegli attēlot grafiski un tā nav invazīva (Duchowski, 2017).

- Divu kameru video-okulogrāfi ļauj novērtēt acu kustības katrai acij, nav nepieciešama atkārtota kalibrēšana un pacienta sagatavošana, elektrodu novietošana un pilnībā tumša telpa (*Gans, 2001*).
- Tie ir ērti pielietojami pediatriškos izmeklējumos, jo tā samērā viegli izmantojama un sniedz izglītojošu/klīnisku sapratni par bērna psihi, uztveri un neiromuskulāro acs kustību pamatu (*Gans, 2001*).

1.2.3.1. Statiskie video-okulogrāfi

Vispopulārākie video-okulogrāfu veidi ir statisko acu kustību pieraksta video-okulogrāfi, kur gan infrasarkanā gaisma, gan acu kamera netiek pārvietota. Ir iekārtas, kas vairāk un kas mazāk ierobežo galvas kustības. Acu kustību iekārtām, kas ierobežo galvas kustības ar zoda un pieres balsta palīdzību, ir iespēja iegūt precīzākus datus (*Holmqvist et al., 2011*).

Acu kustību iekārtām, kas neierobežo galvas kustības, kamera parasti atrodas tuvu iekārtas ekrānam, bez saskarsmes ar dalībnieku (*Holmqvist et al., 2011*). Infrasarkanās diode (viena vai vairākas) tiek novietotas noteiktās pozīcijās pret iekārtas kameru, kamēr infrasarkanās gaismas jutīgā kamera reģistrē gaišas vai tumšas zīlītes attēlu. Galvas kustību kompensācija tiek veikta, izmantojot vairākus infrasarkanās gaismas avotus vai kādu citu atsaucis stimulu, kas raksturo tikai galvas kustības (*Naruniec et al., 2016, Holmqvist et al., 2011*).

Lielāka attāluma dēļ un tāpēc, ka kamerām ir zemāka izšķirtspēja vai datu pieraksta frekvence, dati no šīm iekārtām nereti ir ar zemāku kvalitāti nekā no iekārtām, kas ierobežo galvas kustības (*Holmqvist et al., 2011*). Attēla apstrāde ir prasīgāka iekārtām, kas neierobežo galvas kustības, jo acu pozīcija nav konstanta attiecībā pret iekārtu, jo galva tiek brīvi kustīnāta (*Naruniec et al., 2016*). Lai gan pastāv iespējamība, ka dati var būt neprecīzāki, nekā ar iekārtām, kas ierobežo galvas kustības, šīm iekārtām ir vairākas priekšrocības: ar tām ir vieglāk darboties, dalībniekiem ir vieglāk pierast un vienīgi ar šo iekārtu var mērīt zīdaiņu acu kustības, kā arī tai var pievienot papildus ierīces, kas nerada papildus datu pieraksta traucējumus (*Holmqvist et al., 2011*).

Statiskas acu kustību pieraksta iekārtas var izmantot datu pierakstam vienā plaknē, piemēram, datora monitorā, žurnālā. Tie dod datu failus ar koordinātām plaknes koordinātas sistēmā (*Holmqvist et al., 2011*).

1.2.3.2. Pie galvas piestiprināmie video-okulogrāfi

Pie galvas piestiprinātajām acu kustību pieraksta iekārtām kamera un infrasarkanās gaismas avots ir piestiprināti pie ķiveres, cepures vai speciāli izgatavotām brillēm. Šīs kameras ne tikai ieraksta, ko patiesi dalībnieks redz, bet arī atļauj dalībniekam kustēties, kamēr tiek ierakstītas acu kustības, it īpaši, ja pieraksta datori ir mazi un viegli. Šīs iekārtas ir ļoti piemērotas pētījumiem, kas izvērtē, kā cilvēki uzvedās ikdienas situācijās un apstākļos, piemēram, strādājot, iepērkoties, sportojot vai vadot automašīnu, (*Holmqvist et al.*, 2011; *Du et al.*, 2016)

Acu kameras leņķis uz aci var tikt mainīts un pielāgots katram dalībniekam un uzdevumam atšķirīgi. Šīm iekārtām ir pievienotas arī skata kameras ķiverei, kas filmē skata virzienu. Pieraksta sistēma pārklāj skata koordinātas ar skata video, kas ar kustīga marķiera palīdzību nosaka, kur dalībnieks skatās (*Holmqvist et al.*, 2011).

1.2.3.3. Video-okulogrāfi, kas mēra galvas kustības

Lai noteiktu galvas pārvietojumu noteiktās iekārtās tiek iestrādātas speciālas ierīces, kas reģistrē galvas kustības. Galvas kustības mērītājs ir ierobežota pie galvas piestiprināmo video-okulogrāfu ierīces versija. Iekārtai ir maza kamera, kas piestiprināta uz speciālas galvas iekārtas ar četrām gaismas izstarojošām diodēm vienas plaknes stūrī (*Holmqvist et al.*, 2011).

Novērtējot diožu gaismas novietojumu kameras attēlā, programma aprēķina galvas pozīcijas attiecību pret monitoru, kompensējot galvas kustības. Šī metode darbojas diez gan labi, bet svarīgi, ka plakne ir aptuveni perpendikulāra skata līnijai un tā darbojas tikai vienā plaknē. Šī iekārta atgādina statisko pierakta iekārtu, kas neatļauj galvas kustības. Precizitāte diemžēl ar laiku samazinās, ja acu kustību iekārta noslīd attiecībā pret galvu (*Holmqvist et al.*, 2011).

No iepriekš minētā var secināt, ka ir pieejamas dažādas acu kustību iekārtas – sklēras spoles kontaktlēca, elektro-okulogrāfi, video-okulogrāfi. Tie atšķiras ar pieeju kā tiek pierakstītas acu kustības, izmantojot magnētisko, elektrisko lauku vai infrasarkanā gaismu, ar kontaktlēcū, diožu vai radzenes atstarojuma palīdzību, kā arī ar iespējām izmantot dažādos apstākļos – ikdienas vai laboratorijas. Turpmākā darba gaitā tiks apskatīts, kādi parametri tiek mērīti ar acu kustību iekārtām.

1.3. Acu kustību reģistrēšanas iekārtas noteiktie parametri

Acu kustību iekārtas izsekojamību raksturo iekārtas neapstrādāto datu skaits, kas tiek zaudēts veicot mērījumus. Jo lielāks skaits datu tiek pazaudēti, jo izsekojamība ir sliktāka (Bojko, 2013). Dati tiek zaudēti, kad dalībnieks mirkšķina acis, ja nav pareizi uzstādīta kamera, kā arī ja tiek veiktas galvas kustības, ko iekārta vairs nevar pierakstīt.

Telpiskā izšķirtspēja apraksta mazāko acs pozīcijas izmaiņu, ko iekārta ir spējīga ticami pierakstīt. Telpiskā izšķirtspēja ir atkarīga no datu pieraksta atkārtojamības, ko nosaka spēja vienlīdz precīzi noteikt skata virzienu divos blakusesošos punktos (Blignaut et al., 2013).

Izsekošanas diapazons norāda, cik lielā diapazonā dalībnieks drīkst kustināt galvu un skatīties uz sāniem, lai acu kustību iekārta varētu ierakstīt acu pozīciju (Bojko, 2013; Holmqvist et al., 2011). Izsekošanas diapazons ir svarīgs lieliem stimuliem. Piemēram, ja eksperimentā nedrīkst kustināt galvu, skatoties uz lasāmā teksta stūriem, acis būs jāpagriež uz sāniem un iekārta, iespējams, nevarēs vairs pietiekami precīzi ierakstīt acu kustības. Izsekošanas diapazons ir mazāk būtisks gadījumos, kad tiek demonstrēti nelieli stimuli un dalībniekam nav jāizdara lielas amplitūdas acu kustības, lai redzētu visus stimulus kopā (Holmqvist et al., 2011).

Datu atjaunināšana ir frekvence raksturo uztverošās kameras datu pieraksta frekvenci (datu pieraksta biežumu sekundē) (Borah, 2006). Piemēram, zemākā frekvence acu kustību iekārtām ir 20 – 30Hz, bet lielākā līdz pat 1000 – 2000Hz, kas ir visātrākā datu pierakstīšanas frekvence. Jo lielāka ir šī frekvence, jo lielāks infrasarkanās gaismas daudzums ir nepieciešams. Pirms 2010.gada ar 1000 – 2000Hz frekvenci acu kustības pierakstīja tikai sklēras spoles kontaktlēcas un duālo Purkinjē iekārtas, taču mūsdienās ir pieejami arī citi video-okulogrāfi sasniedz šādu frekvenci (Holmqvist et al., 2011).

Atkārtojamība ir mērījums, kas nosaka, cik acu kustību iekārta ir spējīga uzticami atkārtot mērījumus. Telpiskā un temporālā atkārtojamība ir noteiktās skata virziena pozīcijas un laika dispersija mērījumu atkārtojamība divos dažādos mērījumos. Ja acs skata virziens atrodas tajā pašā pozīcijā divu atsevišķu mērījumu gadījumā, pie labas atkārtojamības iekārta uzrādīs abas acs pozīcijas kā vienādas (Bojko, 2013). Atkārtojamība parasti ir no 0,001 līdz 1 grādam, zemākā vērtība norāda to, ka datu pieraksta ticamība ir augsta, bet augstākā vērtība norāda, ka skata virziena noteikšana var būt neprecīza. (Nyström et al., 2012). Tā kā ražotāju sniegtā atkārtojamība tiek mērīta ar mākslīgo aci, mērot reālos apstākļos atkārtojamība būs mazāk precīza (Bojko, 2013).

1.3.1. Precizitāte

Telpiskā precizitāte ir attālums starp oriģinālo un pierakstīto skata pozīciju. Temporālā precizitāte jeb latence ir laika atšķirība starp ieraudzīto un parādīto stimula laiku (*Blignaut et al.*, 2013).

Telpiskā precizitāte jeb sistēmiskā kļūda (skat. 1.4. att.) tiek mērīta kā attālums, grādos, starp zināma stimula novietojumu un noteikto skata virzienu, kad dalībnieks fiksē uz stimulu. Telpisko precizitāti var noteiktam katram stimulam atsevišķi, kā arī noteikt kopējo iekārtas precizitāti, izrēķinot vidējo nobīdi no visām iegūtajām vērtībām (*Blignaut et al.*, 2013).

Parasti acu kustību iekāru telpiskā precizitāte ir no 0,5 līdz 1,0 grādiem, 1 grāda neprecizitāte ir, apmēram, 1,3cm liela atšķirība starp oriģinālā stimula novietojumu un iegūtā skata pozīcijas novietojumu uz datora monitora, kas atrodas 68,6cm attālumā (*Bojko*, 2013). Zema telpiskā precizitāte neietekmē mērījumus, ja stimuli ir pietiekami liela izmēra un starp tiem ir liels attālums, bet, ja starp stimuliem ir mazs attālums, nenoteiktība, pat no 0,5 līdz 1,0 grādam ir kritiski svarīga, lai pareizi analizētu iegūtos datus. Neprecizitāte acu kustību iekārtā vai neprecizitāte acu kustību sistēmā, kā arī slihta kalibrēšana, galvas kustības, astigmātisms, acu aizvērsana, kā arī citi parametri ietekmē iegūto datu precizitāti (*Blignaut et al.*, 2013)



1.4. att. Iekārtu telpiskā precizitāte raksturo atšķirību starp fiksācijas mērķa un noteiktā skata virziena, Atkārtamība raksturo acu kustību iekārtu spēja uzticami atkārtot skata pozīcijas mērījumu (*Nyström et al.*, 2012)

Pēc veiktā mērījuma ir iespējams noskaidrot acu kustību pieraksta iekārtas, izsekojamības intervālu, telpisko izšķirtspēju, izsekošanas diapazonu, pierakstu atkārtamību un precizitāti. Šajā darba tiks salīdzinātas iekārtu precizitātes, tāpēc darba nākamajā apakšnodaļā tiek aprakstīts, kas varētu ietekmēt šos iegūtos datus.

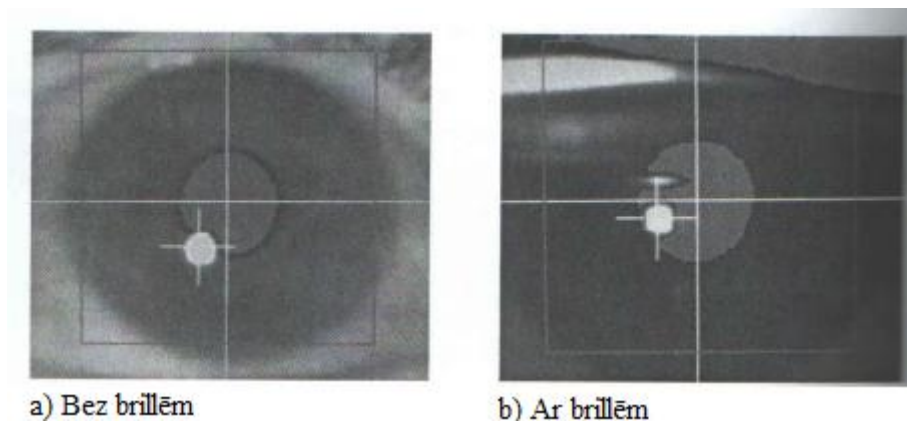
1.4. Parametri, kas ietekmē acu kustību pierakstu

Ņemot vērā, ka acu kustību iekārtas lielākoties darbojas pēc tumšās zīlītes principa, nosakot, kur atrodas tumšākais attēla laukums (zīlīte) un tā izmaiņas pie dažādiem skata virzieniem, iekārtas precizitāti var ietekmēt tādi faktori, kas traucē atpazīt zīlīti vai izmaina tās formu attēlā. Viens no biežāk sastopamajiem faktoriem, kas kavē precīzu datu iegūvi, ir dalībnieku skropstas. Skropstu tuša traucē acs attēla iegūšanu caur skropstām. Ja mērījuma laikā dalībnieks ir lietojis skropstu tušu, labi rezultāti sagaidāmi dalībniekiem ar lielām, atvērtām acīm un skropstām, kas aug prom no acs (*Holmqvist et al.*, 2011). Tumšās zīlītes acu kustību izsekotāji, var sajaukt zīlīti skropstas ar tušu. Tas ietekmē gan kalibrēšanas, gan acu kustību pieraksta precizitāti. Risinājums ir paprasīt dalībniekam nelietot skropstu tušu uz acu kustību pieraksta laiku (*Bojko*, 2013).

Plakstu noslīdēšanas problēma pieaug līdz ar dalībnieka vecumu, kā arī atsevišķos citos gadījumos. Noslīdējuši plaksti ir liela problēma acu izsekošanas pētījumos pat, ja nav lietota skropstu tuša, jo plaksti vai skropstas aizsedz zīlīti, kā rezultātā zīlīte vairs netiek attēlota kā apaļa un tās forma pie dažādiem skata virzieniem ir mainīga (*Holmqvist et al.*, 2011). Noslīdējuši plakstiņi un garas skropstas daļēji vai pilnīgi aizsedz zīlīti it īpaši zemākajā zonā (*Bojko*, 2013). Neprecīza zīlītes uztvere var netikt novērota, veicot kalibrēšanu, kad dalībnieks ir vairāk satraukts un fokusējas, kā rezultātā acis ir vairāk atvērtas. Taču, kad pie uzdevuma ir pierasts un dalībnieks atbrīvojas, acis tiek aizsegtas. Risinājumi: ja iespējams, pārvietot kameru vai spoguļus, lai filmētu aci zemāk; ja dalībnieks ir noguris, mērījumu veikt citā dienā; izmantot plāksterus, lai fiksētu augšējo plakstu (*Holmqvist et al.*, 2011).

Kā norāda *Holmqvist et al.* (2011), acu kustību pieraksta precizitāti var ietekmēt arī briļļu korekcijas lietošana. *Holmqvist et al.* (2011) apraksta vairākus veidus kā brilles apgrūtina acu kustību pieraksta veikšanu:

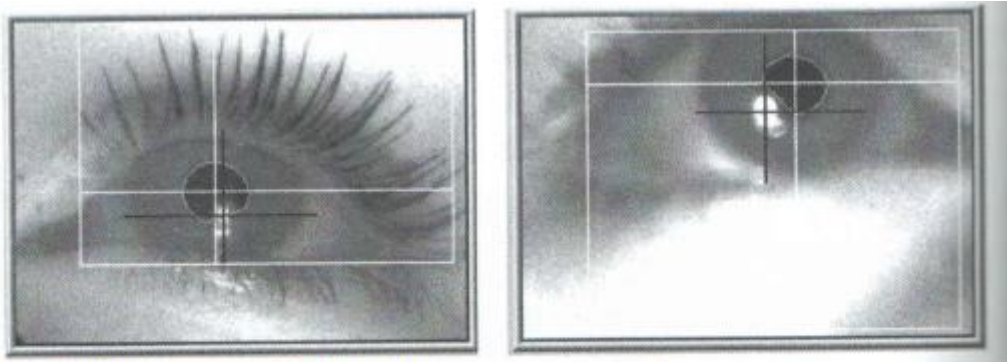
- Brilles vai to pārklājums attēlu var padarīt tumšāku, samazinot kontrastu starp zīlīti un varavīksneni, kas samazina precizitāti un atkārtotāmību tumšās zīlītes sistēmā.
- Atstarotā gaisma no radzenes var tikt atstarota atpakaļ acī un dot sekundāru, bet vājāku radzenes atstarojumu, kas atradīsies augstāk.
- Ēnas no briļļu malām var apgrūtināt iekārtas iespējas atrast zīlīti tumšās zīlītes sistēmā (skat. 1.5. att.).



1.5. att. Briļļu izraisītais efekts vienam dalībniekam. Attēls a) bez brillēm un attēls b) ar brillēm, kurā var novērot papildus atstarojums mazliet virs radzenes atstarojuma, tumšākais attēls ar mazāku kontrastu, un lielu atstarojumu augšējā kreisajā kvadrantā (*Holmqvist et al.*, 2011)

Infrasarkanās gaismas atstarošanās novērojama arī pašās brillēs. Ja infrasarkanās gaismas atstarojums no briļļu virsmas ir virs zīlītes vai blakus radzenes atstarojumam, jebkurā skata virziena pozīcijā datu kvalitāte būs samazināta. Šī problēma ir īpaši izteikta dalībniekiem, kuri nēsā vecas, saskrāpētas brilles vai polarizētās brilles. Brilles ar pretatspīdumu klājumu rada mazākus atstarojumus (*Holmqvist et al.*, 2011). Risinājums ir mainīt kameras leņķus, lai pārvietotu papildus atstarojumus tālāk no zīlītes un radzes atstarojumu (*Bojko*, 2013). Jāpiemin arī bifokālās brilles, kurām ir norobežojums tuvuma un tāluma zonām, kas var padarīt kalibrēšanu sarežģītu un datu pierakstīšanu gandrīz neiespējamu (*Holmqvist et al.*, 2011).

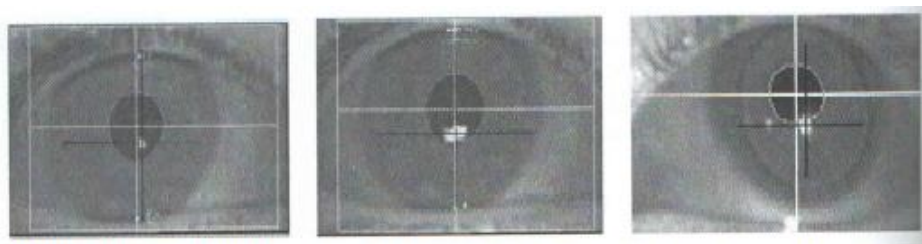
Arī kontaktlēcas ietekmē acu kustību pierakstu. Dažreiz, ja nav perfekta atbilstība starp lēcu un acs ābolu, zem kontaktlēcas var izvietoties mazi gaisa burbuļi (*Holmqvist et al.*, 2011). Kad infrasarkanā gaisma ir atstarota šādā sistēmā, gaisma tiek sadalīta vairākos atstarojumos (*Bojko*, 2013). Acij pārvietojoties, šie burbuļi pārvietojas tai līdzi. Acu kustību iekārta var izvēlēties jebkuru no šiem atstarojumiem kā radzenes atstarojumu un pārvietoties starp tiem. Tā rezultātā rodas milzīgi liels datu skaits un izskatās, ka acs pārvietojas ļoti ātri, veidojot optiskos artefaktus (*Holmqvist et al.*, 2011). Risinājums ir vienkāršs: samazināt kameras fokusu (*Bojko*, 2013). Kā rezultātā, šie mazie burbulīši saplūst vienā lielākā radzenes atstarojumā. Dati būs mazāks precīzi, jo lielākais radzenes atstarojums, nobīda zīlīti uz malu (skat. 1.6. att.) (*Holmqvist et al.*, 2011).



a) Fokusētā kamerā redzami divi radzenes atstarojumi b) Samazināts kameras fokuss; Vairāki radzenes atstarojumi saplūduši vienā

1.6. att. Kameras fokusa divi stāvokļi, kas ietekmē radzenes atstarojumu skaitu. Jāpiemin, ka b) (samazinātā fokusa kameras) gadījumā, lai gan izsekošana ir stabila, tomēr zīlītes atrašana ir apgrūtināta dodot mazu nobīdi (*Holmqvist et al.*, 2011)

Cietās kontaktlēcas ciešāk pieguļ acij, tātad neveidojas nekādi gaisa burbuļi, un dati tiek savākti ar maksimālo kameras fokusu (skat. 1.7. att.). Cietās kontaktlēcas ir ļoti labi redzamas acu kameras attēlos. Dati var tikt ietekmēti tikai tad, ja kontaktlēcas robežas pārvietojas pāri radzenes atstarojumam (*Holmqvist et al.*, 2011).



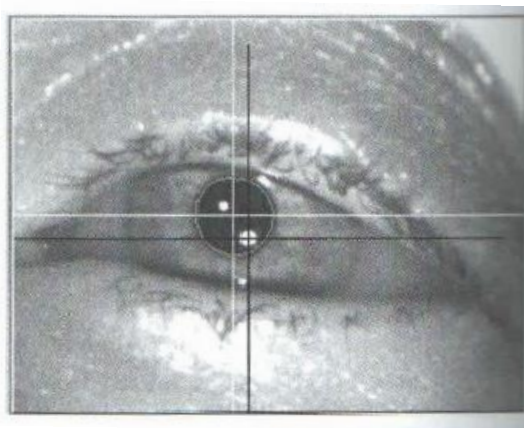
a) Radzenes atstarojumā nav redzami gaisa burbuļi b) Gaisa burbuļu izraisītais efekts radzenes atstarojumā c) Cietās kontaktlēcas bez gaisa burbuļiem

1.7. att. Mīksto a), b) un cieto c) kontaktlēcu izraisīties efekti (*Holmqvist et al.*, 2011)

Ja acu kustības tiek ierakstītas ārpus telpām vai iekārta atrodas vietā, kur ir tieša saules gaisma, no saules nākušās lielākās infrasarkanās gaismas dēļ, var tikt izmantīts acī nonākušās infrasarkanās gaismas daudzums. Rezultātā iegūtie dati tiek pilnīgi pazaudēti. Problēmas risinājums ir žalūziju izmantošana vai veikt mērījumus telpā bez logiem, kas arī ļauj nodrošināt nemainīgus apstākļus vairākās pētījuma sesijās. Jāsaka, ka arī dažas griestu lampas var būt traucējošas acu kustību izsekošanai (*Holmqvist et al.*, 2011).

Dažreiz ir novērojama papildus gaismas atstarošanās zīlītes rajonā. Tas pārvietojas ļoti strauji, bet, līdzko tas sasniedz zīlītes robežu, atstarojums pazūd. Tas veidojas lēcas aizmugurē un tāpēc redzams tikai cauri zīlītei (skat. 1.8. att.) (*Holmqvist et al.*, 2011). Šo

atstarojumu izmanto duālie Purkinjē acu kustību izsekotāji un tas ir iemesls, kāpēc tie ir tik precīzi un tiem ir mazs izsekošanas diapazons. Retos gadījumos tie traucē uztvert radzenes atstarošanu un var samazināt datu precizitāti, bet, ja kamera nav fokusā, tad šis atstarojums ir lielāks un kavē zīlītes zonas aprēķinus (*Holmqvist et al.*, 2011).



1.8. att. Ceturtais Purkinjē atstarojums augšējā kreisā zīlītes kvadrantā (*Holmqvist et al.*, 2011).

Baltais krusts ir zīlītes, bet melnais ir radzenes atstarojuma pozīcija

Kad pacienta acis asaro, radzenes atstarojums sadalās vairākos mazākos atstarojumos, līdzīgi kā sadalījās radzenes atstarojums ar kontaktlēcām. Tas var notikt, ja ir alergiska reakcija ziedputekšņu sezonā vai dalībnieks nemirkšķina, pētījumā sniegto instrukciju dēļ. Koncentrējoties uz stimulu, nemirkšķināšana padara acis sausas, un acs to kompensē ar papildus asarošanu. To var atrisināt ar manuālo kalibrēšanu bez vai ar nelielu datu zudumu (*Holmqvist et al.*, 2011).

Retos gadījumos tumšu zīlīšu sistēmā, ir iespējams, ka infrasarkanā gaisma ir gandrīz vienāda ar skata līniju, un redzams atstarojums un radzenes. Tas padara zīlītes identifikāciju grūtu vai par neiespējamu. Risinājums: pārvietot gaismu un spoguļi (*Holmqvist et al.*, 2011).

Līdz šim esam uzzinājuši, kādas ir acu kustības, apguvuši dažādas acu kustību pieraksta metodes, kā arī, kādus parametrus sniedz acu kustību pieraksta iekārtas un kas var ietekmēt šo parametru precizitāti. Pētījuma turpmākajā daļā tiks salīdzināti divi Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā pieejamie video-okulogrāfi, ar kuru palīdzību tiks novērtēts skata virziens, skatoties uz stimuliem ar dažādām raksturīgām pazīmēm. Pētījuma daļā tiks izanalizēta video-okulogrāfu pierakstīto datu precizitāte un izvērtēts, kas varētu ietekmēt šo datu precizitāti.

2. PĒTĪJUMA DAĻA

2.1. Metodika

2.1.1. Izmantotās iekārtas

Sensomotoric Instruments (Vācija) izstrādātie IViewX video-okulogrāfi ir tumšās zīlītes acu kustību sistēmas, kas skata virziena analīzē izmanto infrasarkanā apgaismojumu un datorizētu attēlu apstrādi. Acs attēli tiek analizēti datu pieraksta laikā, nosakot acs zīlītes pozīciju, aprēķinot tās centra novietojumu un atbrīvojoties no artefaktiem. Kalibrēšanas laikā informācija par zīlītes pozīciju tiek pārreķināta skata pozīcijā. Iekārta nosaka vienu vai vairākus radzenes atstarojumus, kam tiek izsekots, lai kompensētu kameras un galvas pozīcijas izmaiņas (*SensoMotoric instruments*, 2009).

2.1.1.1. IViewX RED500

Remote Eyetracking device (RED) ir iekārta, kuras kamera mēra acu kustības bez tieša kontakta ar aci, tā ir ne-invazīva acu kustību mērīšanas metode (skat. 2.1. att.). Ar IViewX RED sistēmu mērījumi tiek veikti binokulāri, kur mērījumus var veikt attālumā, kas ir no 60 līdz 80 centimetriem no datora ekrāna. Izsekošanas diapazons ir 40x40cm 70cm attālumā. Skata pozīcija tiek ierakstīta ar precizitāti, kas ir mazāka par 0,5 grādiem, izmantojot 870nm infrasarkanās gaismas avotu (*SensoMotoric instruments*, 2009).



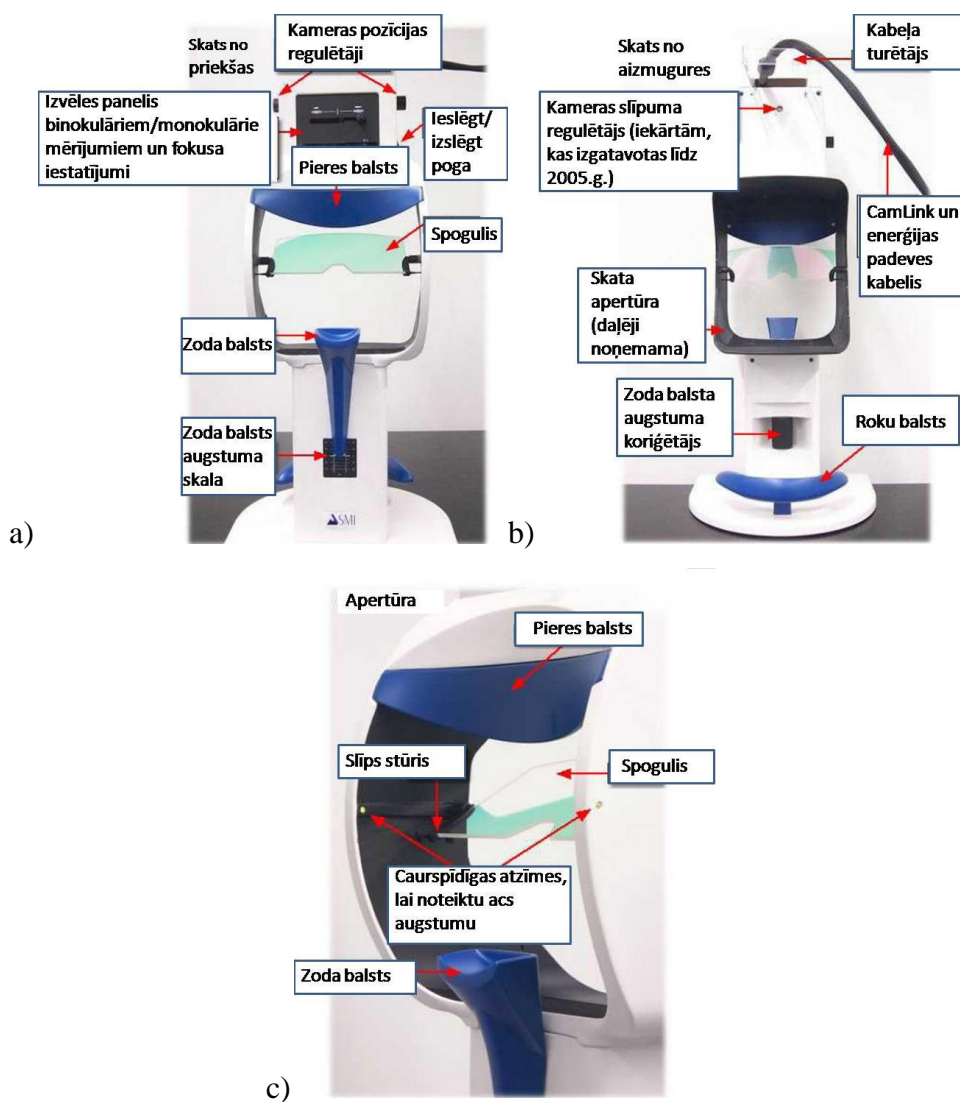
2.1. att. IViewX RED acu kustību izsekošanas iekārta (*SensoMotoric instruments*, 2009)

IViewX RED sistēmu iespējams izmantot tad, kad stimuli un darba diapazons ir ierobežots, piemēram, uz datora monitora, plakāta, gaismas projektora, ar ļoti ierobežotām dimensijām. Tā kā šai sistēmai ir divi infrasarkanās gaismas avoti, tā automātiski kompensē

mazas galvas kustības, izsekojot radzenes atstarojumu. Dalībnieks nevar brīvi kustēties, jo tikai mazas galvas kustības tiek kompensētas un eksperimenta laikā dalībniekam jāstāv vai jāsež mierīgi. Rezultātā iegūst datus ar skata pozīcijām kalibrēšanas laukumā, ko iespējams izmantot citās datu analīzes programmās (*SensoMotoric instruments*, 2009).

2.1.1.2. IViewX Hi-Speed

Pētījumā tika izmantota arī IViewX Hi-Speed (skat. 2.2. att.) iekārta, kas darbojas ar 1250Hz lielu frekvenci un kas nosaka katras acs skata virzienu uz datora monitora. IViewX Hi-Speed aci apgaismo ar infrasarkanās gaismas diožu un plakana spoguļa palīdzību. Seja un noteiktas acs struktūras infrasarkano gaismu starojumu atstaro, un starus uztver speciāla, tam paredzēta videokamera. Zilīte infrasarkanos starus absorbē un tā ir redzama kā augsta kontrasta tumša elipse (*SensoMotoric instruments*, 2009).



2.2. att. IViewX HiSpeed acu kustību izsekošanas iekārtas sastāvdaļas, a) attēlots skats no priekšpuses, b) skats no aizmugures un c) aparatūra (*SensoMotoric instruments*, 2009)

Kamera un infrasarkanās gaisma ir iekšā izsekošanas kolonā ar integrētu ergonomisku pieres/zoda balstu, kas stabilizē dalībnieka galvu pirms kameras, nav nepieciešams lieki patērēt laiku kameras uzstādīšanai vai papildus iekārtas, kas stabilizētu galvas kustības. Šī sistēma ir ērta dalībniekam, kā arī tā nodrošina pietiekami augstu precizitāti pat pēc ilga datu ierakstīšanas laika. Skata pozīcija tiek ierakstīta ar precizitāti, kas ir no 0,25 līdz 0,5 grādiem, izmantojot 910nm infrasarkanā gaismu. (*SensoMotoric instruments*, 2009).

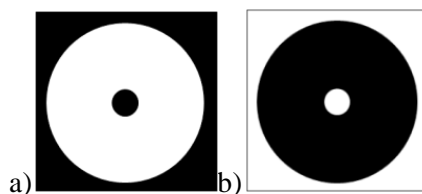
2.1.2. Dalībnieku atlase

Eksperimentā piedalījās 10 dalībnieki – 9 sievietes un 1 vīrietis, vecumā no 18 līdz 29 gadiem, kuriem eksperimenta veikšanai nebija nepieciešamas kontaktlēcas vai brilles, kas varētu radīt papildus atstarošanas. Eksperimenta dalībniekiem nebija novērojamas acu struktūru izmaiņas, piemēram, sašaurināta acs sprauga, kā arī uz eksperimenta laika uz skropstām nebija uzlikta skropstu tuša.

2.1.3. Stimulu apraksts

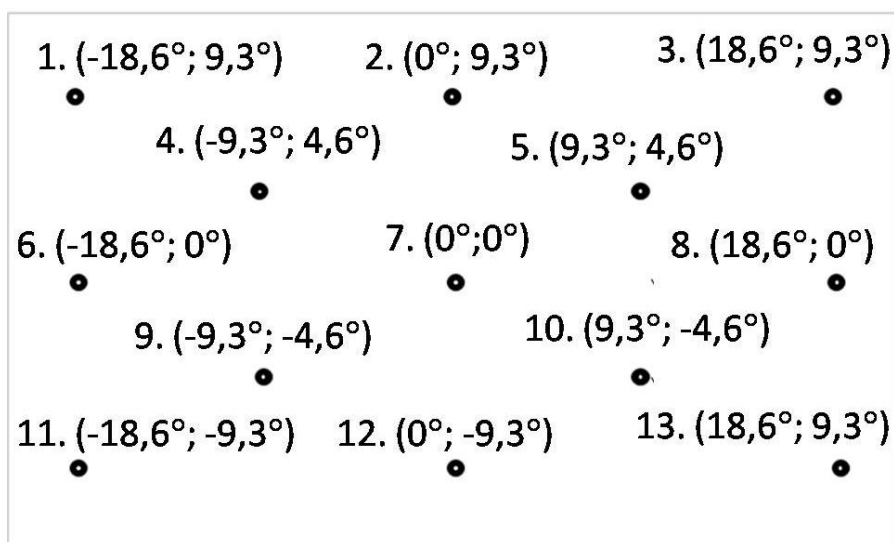
Eksperimentā izmantoto stimulu dizains tika balstīts uz *Blignaut et al.* (2013) veikto pētījumu, kurā tika salīdzināta acu kustību pieraksta izsekojamība, precizitāte un atkārtojamība starp trīs etniskajām grupām. Pētījumā tika izmantoti deviņi 3x3 režģī novietoti stimuli uz melna fona (*Blignaut et al.*, 2013)

Eksperimentā tika izmantots 0,14 grādu plats riņķveida stimul, kuram apkārt bija 0,84 grādu liels disks. Pirmajā uzdevuma stimula un fona krāsa bija melna, bet disks bija baltā krāsā (skat. 2.3. a) att.). Otrajā uzdevumā stimula un fona krāsa bija balta, bet diska krāsa – melna (skat. 2.3. b) att.).



2.5. att. Eksperimentā izmanto stimulu izskats un krāsas. Attēlā a) redzams melns riņķveida stimul uz melna fona, kam apkārt ir balts disks un, kas tika izmantots pirmajā uzdevumā, attēlā b) redzams balts riņķveida stimul uz balts fona ar melnu disku ap to, kas tika izmantots otrajā uzdevumā

Minētie stimuli atradās 13 dažādās pozīcijās uz datora ekrāna, kas tika novietots 60 cm attālumā no dalībnieka. Starp stimuliem vertikāli bija 4,6 grāda nobīde un horizontāli bija 9,3 grādu nobīde (skat. 2.4. att.).



2.6. att. Eksperimentā izmanto stimulu novietojums un attālums starp stimuliem uz datora monitora attēloti uz balta fona

2.1.4. Pētījuma gaita

Telpas apgaismojums apstākļi eksperimenta laikā bija fotopiski (777lux), monitora spožums baltam fonam bija vidēji 147 cd/m² un melnam fonam 0,14 cd/m².

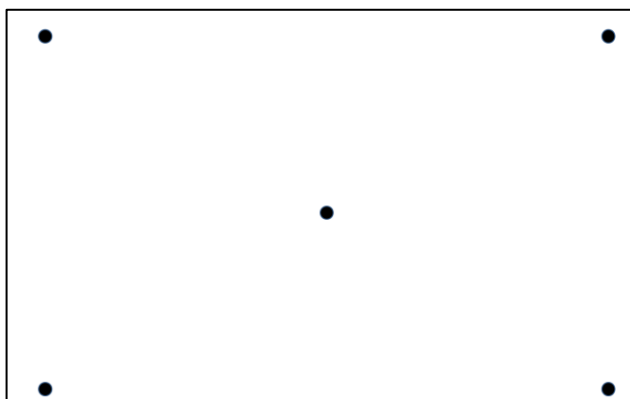
2.1.4.1. Kalibrēšana

Video-okulogrāfi relatīvas acu kustības var ierakstīt bez kalibrēšanas. Tomēr, sistēmām, kurām nepieciešams noteikt skata virzienu uz ekrāna vai noteiktā telpas apgabalā, kā tas bija arī šajā pētījumā, pirms mērījumu veikšanas nepieciešams veikt iekārtas kalibrēšanu, lai saistītu orbitālo zīlītes pozīciju ar punktu testa personas redzeslokā (*SensoMotoric instruments*, 2009).

Kalibrēšanas procesā IViewX sistēma noteica saistību starp acs zīlītes novietojumu kameras attēlā un dalībnieka skata virzienu telpā jeb skata pozīciju. Pirms kalibrēšanas uzsākšanas, iekārtas uzstādījumos nepieciešams noteikt plakni telpā, kurā acs kustības tiks veiktas. Kalibrēšanu ir cieši ieteikts veikt pirms katra mērījumu kā atsauces mērījumu, jo mērījumu gaitā var mainīties dalībnieka pozīcija un tādējādi arī noteiktais skata virziens (*SensoMotoric instruments*, 2009).

Kalibrēšana laikā dalībnieks fiksēja uz noteiktiem punktiem iekārtā noteiktās pozīcijās, kamēr sistēma analizēja zīlītes novietojumu acs attēlā. No iegūtas informācijas sistēma

izveidoja nepieciešamo algoritmu, lai pārvērstu zīlītes pozīciju par skata pozīciju visiem plaknes punktiem. Noteiktās skata pozīcijas precizitāte noteica kalibrēšanas precizitāti, pēc sekmīgas kalibrēšanas procesa sistēma bija gatava veikt mērījumus (*SensoMotoric instruments*, 2009). Šajā pētījumā tika izmantota 5 punktu kalibrēšana (skat. 2.5. att.) un kalibrēšanas laukums bija ar 1680x1050px izmēru. Punkti tika rādīti dinamiski, izmantojot SMI Experiment Center (*Sensomotoric Instruments*, Vācija).



2.7. att. Kalibrēšanā izmantoto punktu novietojums

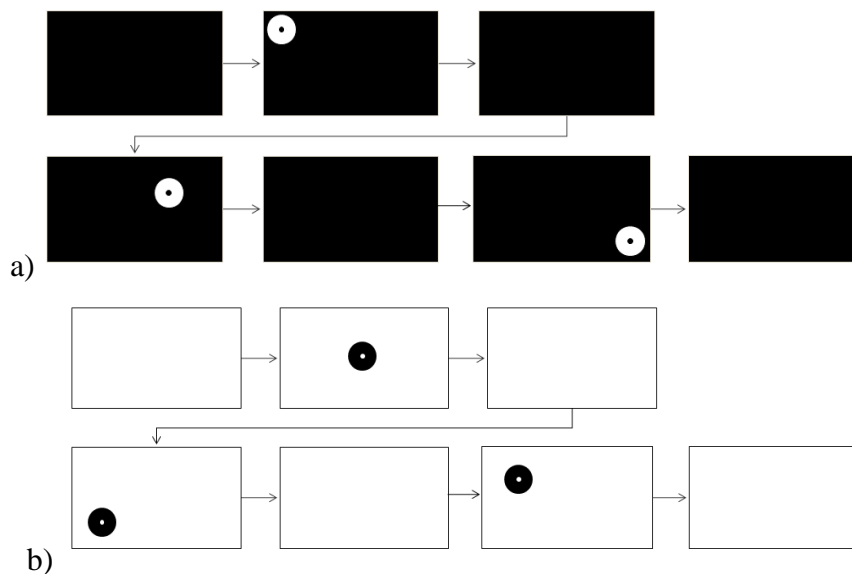
2.1.4.2. Validācija

Pēc kalibrēšanas sekoja validācija, kuras mērķis bija noteikt kalibrēšanas precizitāti. Eksperimenta dalībnieks fiksēja uz mērķiem, kas bija novietoti zināmās pozīcijās, un sistēma salīdzināja pierakstīto skata pozīciju ar mērķu pozīciju un izrēķināja nobīdi. IViewX sistēma uz nomērītās skata pozīcijas uzzīmēja sarkanu krustu, ar kura palīdzību tika nomērīta nobīde no kalibrēšanā izmantotajiem punktiem un katram punktam tika uzrakstītas trīs vērtības: x-vērtība, y-vērtība un nobīdes vektors, kas aprēķināts no x un y vērtībām. Pēc tam sistēma izrēķināja vidējo nobīdes vērtību (*SensoMotoric instruments*, 2009).

2.1.4.3. Mērījumu veikšana

Vispirms eksperimenta dalībniekam 4 sekundes tika rādīts vienkrāsains fons bez stimula. Pēc tam, kādā no 13 pozīcijām, pēc nejaušības principa, tika rādīts stimuls, kas bija redzams 2 sekundes, un eksperimenta dalībniekam bija jāfiksē uz šo stimulu. Pēc stimula parādīšanas sekoja 1 sekundes liels intervāls, kurā neviens stimuls nebija redzams (skat. 2.6. att.). Pēc tam atkal tika demonstrēts stimuls citā pozīcijā. Šī secība atkārtojās tik ilgi, līdz dalībniekam tika demonstrēti visi 13 stimuli. Visu stimulu secīgai demonstrācijai bija nepieciešamas 43 sekundes. Kopā eksperiments tika veikts vienam cilvēkam uz balta un melna fona 3 reizes, katru reizi atkārtojot visus iepriekšminētos soļus. Vispirms tika veikti visi trīs mērījumus uz melnā fona un pēc tam uz baltā fona un vispirms ar IViewX RED500

iekārtu uz abiem foniem un pēc vairāku dienu intervāla ar IViewX Hi-Speed uz abiem foniem.

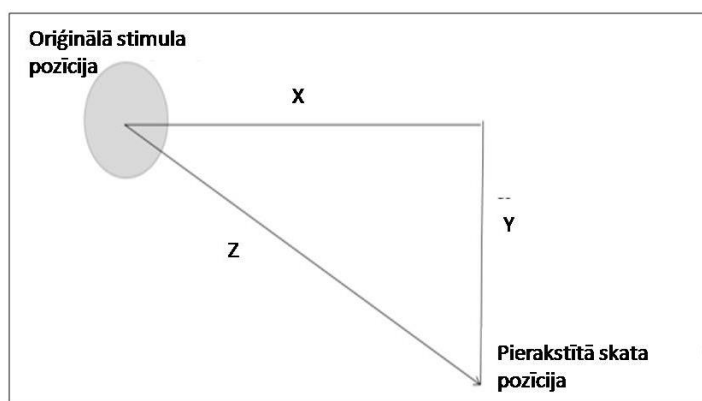


2.8. att. Mērījumu veikšanas ilustrācija uz a) melna un b) balta fona

2.1.5. Rezultātu iegūšana

Lai izvērtētu pierakstītā skata punkta precizitāti, tika izrēķināta kopējā nobīde, kas tika aprēķināta no iegūtās attāluma atšķirības horizontālā un vertikālā virzienā, salīdzinot ar oriģinālo stimula novietojumu. Lai iegūtu kopējo nobīdes lielumu, tika izmantota Pitagora teorēma, kur kopējā nobīde (Z) bija vienāda ar kvadrātsakni no attāluma atšķirība horizontālā (X) virzienā celtu kvadrāta un summējot ar attāluma atšķirību vertikālā (Y) virzienā celtu kvadrātā: (skat. 2.7. att.).

$$Z = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (1)$$

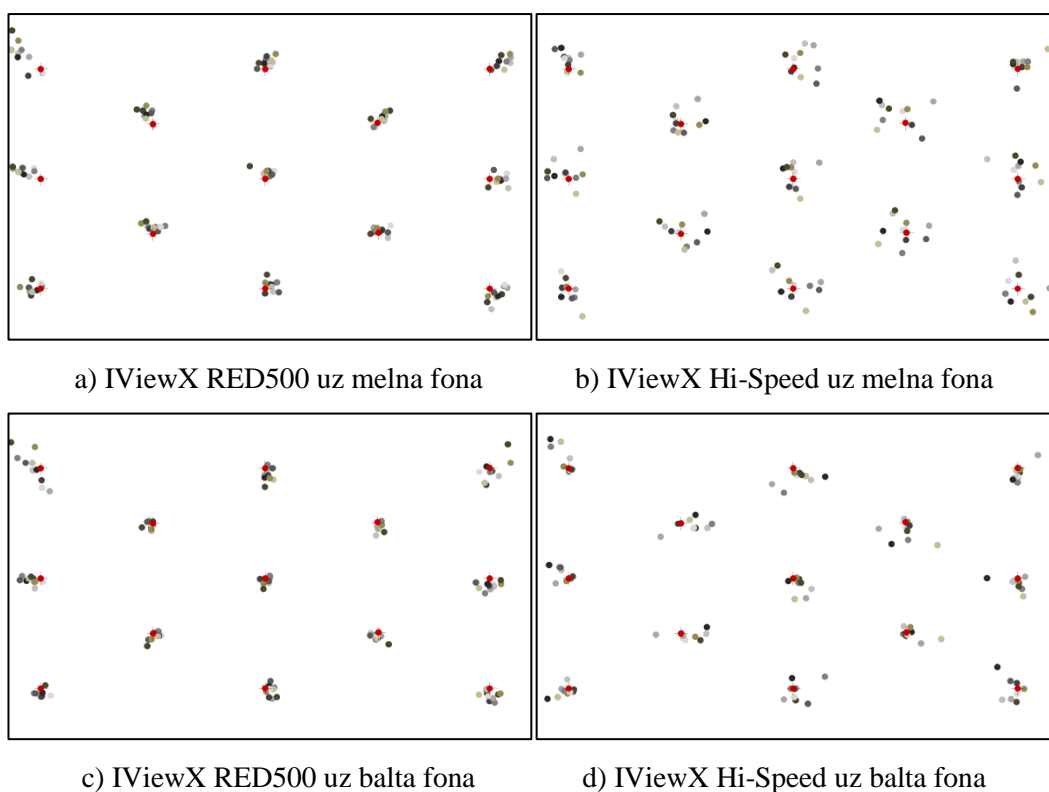


2.9. att. Darbā izmantotās kopējās nobīdes iegūšanas ilustrācija

Lai iegūtu kopējo punkta nobīdi tika izmantoti dati, kas iegūti no dalībnieka vadošās acs tuvumā, kas tika noteikta pirms eksperimenta uzsākšanas ar *Miles* testa palīdzību. Tā kā abām iekārtām bija atšķirīgas datu atjaunošanas frekvences, IViewX RED500 – 500Hz un IViewX Hi-Speed – 1250Hz, tika pieņemts, ka vienā sekundē ietilpst 250 dati, lai vienādotu abas izvēlētās iekārtas (ar IViewX RED500 tika apskatīta katra otrā iegūtā vērtība, bet IViewX Hi-Speed – katra piektā iegūtā vērtība katrā no punktiem).

2.2. Rezultāti

Izanalizējot visu eksperimenta dalībnieku iegūtos rezultātus visos 13 stimulu novietojumos, tika iegūti dati par visu dalībnieku skata virzieniem. Visu dalībnieku rezultāti demonstrēti attēlā, kas attēlotas 2.8 attēlā.



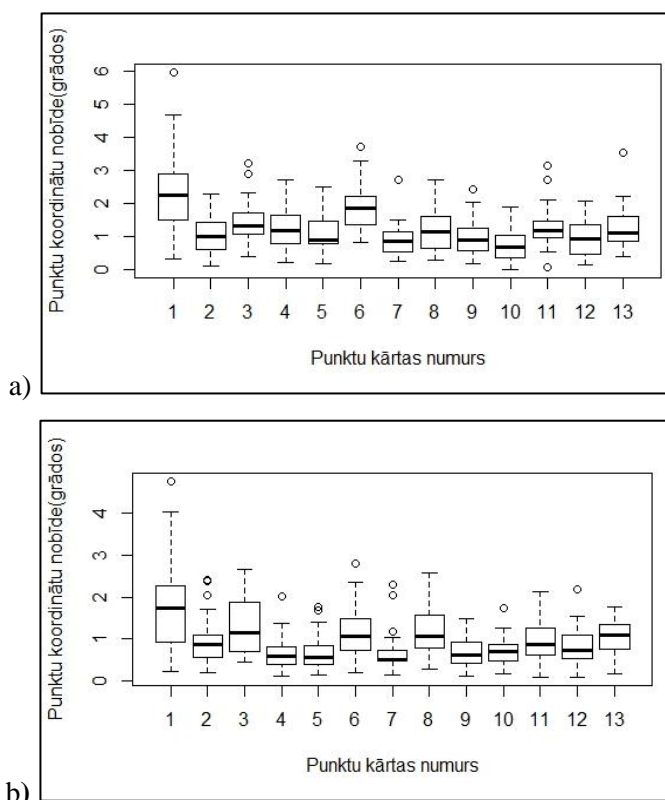
2.10. att. Visu dalībnieku vidējais skata pozīcijas novietojums katrā no oriģinālajām stimula pozīcijām, kas apzīmēti ar sarkanu krustu. Viena dalībnieka rezultāti visos attēlos ir atzīmēti ir vienu krāsu

2.2.1. Skata virziena precizitāte IViewX RED500 un IViewX Hi-Speed iekārtām

2.2.1.1. IViewX RED500

Uz melnā fona IViewX RED500 precizitāte bija robežās no 0,77 līdz 2,38 grādiem, kur precīzākie bija 10., 7., un 12. punkta iegūtie rezultāti un mazāk precīzie bija 1., 3., un 6. punkta iegūtie rezultāti (skat. 2.9. a) att.).

Uz baltā fona precizitāte bija robežās no 0,67 līdz 1,72 grādiem, kur precīzākie bija 5., 9., 4., un 7. punkta iegūtie rezultāti un mazāk precīzie bija 1., 3., un 6. punkta iegūtie rezultāti (skat. 2.9. b) att.).

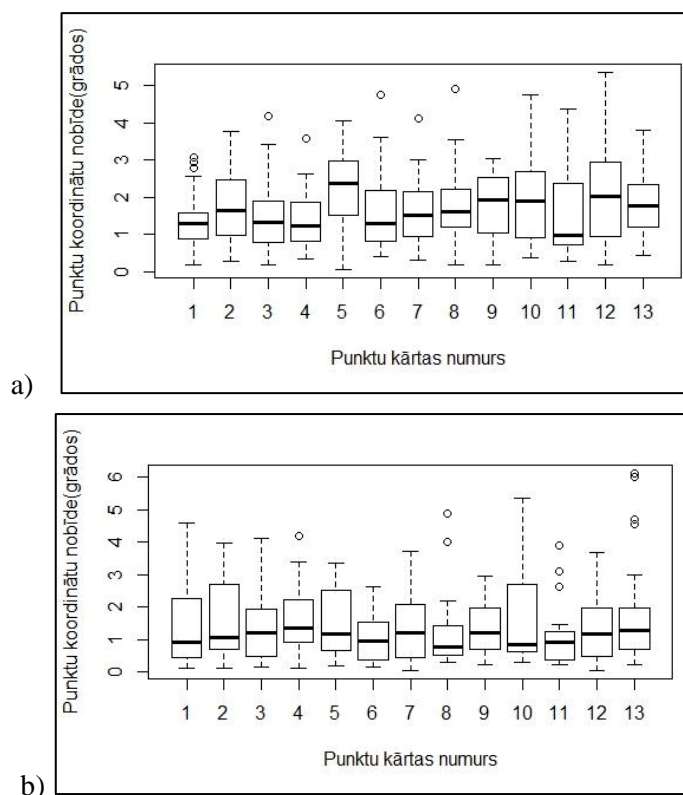


2.11. att. Iegūtās nobīdes vidējs lielums, augšējā un apakšējā kvartile, vērtību apjoms un pierakstītie dati, kas būtiski atšķirās no citām iegūtajām nobīdes vērtībām ir apzīmēti ar tukšiem aplīem, mērot ar IViewX RED500 iekārtu uz a) melna un b) balta fona

2.2.1.2. IViewX Hi-Speed

Uz melnā fona IViewX Hi-Speed iekārtas precizitāte bija robežās no 1,26 līdz 2,02 grādiem, kur precīzākie bija 1., 7., un 11. punkta iegūtie rezultāti un mazāk precīzie bija 5., 13., un 9. punkta iegūtie rezultāti (skat. 2.10. a) att.).

Uz baltā fona precizitāte bija robežās no 0,87 līdz 1,64 grādiem, kur precīzākie bija 6., 11., 7., un 8. punkta iegūtie rezultāti un mazāk precīzie bija 2., 4., un 13. punkta iegūtie rezultāti (skat. 2.10. b) att.).



2.12. att. Iegūtās nobīdes vidējs lielums, augšējā un apakšējā kvartile, iegūto vērtību apjoms un pierakstītie dati, kas būtiski atšķirās no citām iegūtajām nobīdes vērtībām ir apzīmēti ar tukšiem apliem, mērot ar IViewX Hi-Speed iekārtu uz a) melna un b) balta fona

Lai pārbaudītu vai nobīdes lielums starp iekārtām bija būtiski nozīmīgs, tika salīdzinātas IViewX RED un IViewX Hi-Speed vidējās iegūtās nobīdes visos punktos ar divpusējo t-testu savstarpēji atkarīgām izlasēm, uz balta un melna fona. Uz melnā fona iegūtie rezultāti nenorādīja uz statistiski būtiskām atšķirībām starp IViewX Hi-Speed (vid.=1,56, sd=0,22) un IViewX RED500 (vid.=1,27, sd=0,44) iegūto datu precizitāti ($t(12) = 2,18, p > 0,05$).

Savukārt, uz baltā fona iegūtie rezultāti norādīja uz statistiski būtiskām atšķirībām starp IViewX Hi-Speed (vid.=1,27, sd=0,24) un IViewX RED500 (vid.=0,96, sd=0,31) iegūto datu precizitāti ($p < 0,05$). Lai statistiski uzzinātu, kuras iekārtas iegūtie dati bija precīzāki, tika izvērtēta t-vērtība, kas ir attiecība starp starpību starp divām grupām un starpību vienas grupas ietvaros. Jo lielāka noteiktā t-vērtība, jo ir lielāks pierādījums pret nulles hipotēzi un jo tuvāk t-vērtība ir nullei, jo pastāv lielāka iespējamība, ka starp mērījumiem nav būtiski nozīmīgas atšķirības. Ja t-vērtība bija lielāka par nulli, tad Hi-Speed iegūtie dati bija ar lielāku nobīdi,

nekā ar RED500 iegūtie dati. Šajā gadījumā t -vērtība bija $t(12)=2,57$, kas parāda, ka uz baltā fona iegūtie dati ar IViewX Hi-Speed bija lielāku nobīdi, nekā ar IViewX RED500 iegūtie dati.

Tā kā nav veikti pētījumi, kas salīdzinātu šīs abas iekārtas, var izdarīt secinājumus tikai no ražotāja sniegtās informācijas, kur precizitāte ar IViewX Hi-Speed (0,25-0,5 grādi) bija labāka nekā ar IViewX RED500 ($<0,5$ grādiem) (*SensoMotoric instruments*, 2009). Pēc iegūtajiem datiem var secināt, ka uz melnā fona abu iekārtu iegūtās nobīdes nebija statistiski būtiski atšķirīgas, ko izskaidrot ar to, ka ar IViewX RED500 tika iegūts viens punkta dati, kas būtiski atšķīrās no visiem pārējiem punktiem, bet IViewX dati bija mazāk izkliedēti, kas kopumā nesniedza būtiski statistiski atšķirīgus datus. Ar IViewX RED500 iegūtie dati bija precīzāki, nekā ar IViewX Hi-Speed uz baltā fona, tā kā iegūtie rezultāti nesakrīt ar ražotāja norādītajām precizitātēm. IViewX Hi-Speed zemo precizitāti varētu skaidrot ar izvēlēto pētījuma dizainu, izmanto monitora izmēra neatbilstība, jo pētījumā tika izmantots monitors, kas izstrādāts speciāli IViewX RED500 sistēmai. Piemēram, mainot monitora izmēru, Tobii 4C acu kustību pieraksta iekārta pielāgo to maksimālajam pieļaujamam monitora izmēram. Tomēr tiek norādīts, ka acu kustības tiks izsekotas tikai maksimāli pieļaujamā monitora izmērā, tāpēc precizitāte nebūs augsta (*Tobii eyetracking*, 2016).

2.2.2. Skata virziena precizitāte atkarībā no attāluma līdz ekrāna centram

Lai izvērtētu kā stimula attālums no centra ietekmē datu precizitāte, tika izmantots vienvirziena ANOVA tests. Rezultāti norādīja uz statistiski būtisku attāluma ietekmi uz mērījuma precizitāti ar IViewX RED500 iekārtas iegūtajiem datiem, izvērtējot skata virziena precizitāti gan uz balta ($F(12,117) = 5,99$ $p<0,05$), gan uz melna fona ($F(12,117) = 8,68$ $p<0,05$). Apskatot mērījumu precizitāti atkarībā no stimulu attāluma līdz ekrāna centram ar IViewX Hi-Speed acu kustību iekārtu iegūtie dati nenorādīja uz būtisku attāluma ietekmi uz mērījumu precizitāti ne baltiem stimuliem uz melna fona ($F(12,117) = 0,93$ $p=0,52$), ne melniem stimuliem uz balta fona ($F(12,117) = 0,87$ $p=0,58$).

Lai noskaidrotu, kuru punktu novietojumam ir vislielākā ietekme uz datu precizitāti, ar IViewX RED500 iegūtajiem datiem tika veikts *Post-Hoc Tukey* tests, kura rezultāti attēloti 2.1. tabulā (dati uz melna fona) un 2.2. tabulā (dati uz balta fona). Vienas grupas ietvaros bija visas iegūtās nobīdes vidējās punkta vērtības, kas būtiski neatšķiras no viena no otras, bet, salīdzinot, datus, kas neatrodas vienā grupā, var noskaidrot, kuros punktos iegūtie dati būtiski atšķiras.

Dati uz melnā fona tika iedalīti trīs grupās. Dati norāda, ka 10., 7., 12., 9., 2., un 5. punktu dati bija būtiski statistiski atšķirīgi no 6. un 1. punkta datiem, jo tie nekad nebija vienā grupā. 8., 4., 13., 11., 3. punktu dati bija būtiski statistiski atšķirīgi no 1. punkta datiem, tātad 1. punkta dati bija būtiski statistiski atšķirīgi no visām iegūtajām nobīdēm, izņemot 6. punktā iegūtajiem datiem.

2.1. tabula

Tuckey testa rezultāti uz melna fona ar IViewX RED500

Punkta kārtas numurs	1.grupas vidējās vērtības, grādos	2.grupas vidējās vērtības, grādos	3.grupas vidējās vērtības, grādos
10	0,83		
7	0,94		
12	1,02		
9	1,02		
2	1,12		
5	1,14		
8	1,33	1,33	
4	1,38	1,38	
13	1,39	1,39	
11	1,41	1,41	
3	1,54	1,54	
6		2,04	2,04
1			2,57

Arī dati uz baltā fona tika iedalīti trīs grupās. Tie norāda, ka 5., 9., 4., un 7. punktu dati ir būtiski statistiski atšķirīgi no 3. un 1. punkta datiem, jo tie nekad nebija vienā grupā. 10., 12., 11., 2., 13. punktu dati bija būtiski statistiski atšķirīgi no 1. punkta datiem.

Tuckey testa rezultāti uz balta fona

Punkta kārtas numurs	1.grupas vidējās vērtības, grādos	2.grupas vidējās vērtības, grādos	3.grupas vidējās vērtības, grādos
5	0,72		
9	0,73		
4	0,73		
7	0,74		
10	0,78	0,78	
12	0,91	0,91	
11	0,96	0,96	
2	1,02	1,02	
13	1,13	1,13	
8	1,22	1,22	1,22
6	1,25	1,25	1,25
3		1,41	1,41
1			1,85

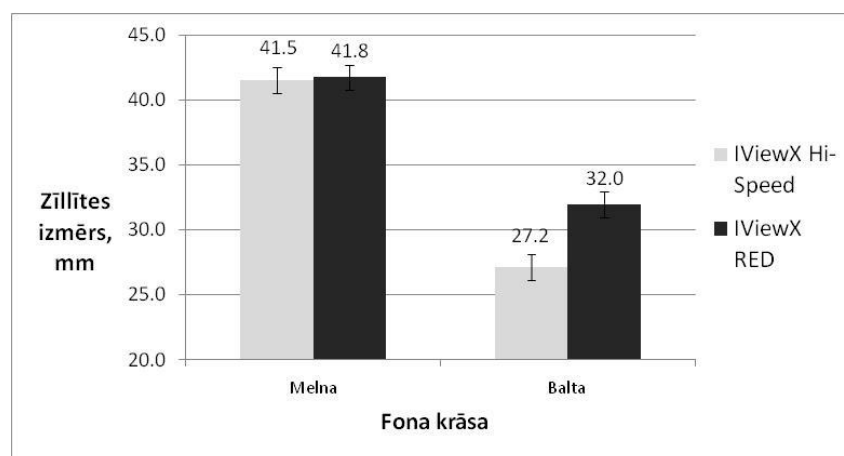
Ar IViewX Hi-Speed iegūtie dati bija savstarpēji ar mazāku atšķirību starp punktiem, bet IViewX RED500 dati uzrāda, ka attālinoties no attēla centra, precizitāte samazinās un 1. punkta novietojums visbūtiskāk ietekmē precizitāti. 2017.gadā veiktā pētījumā *Feit et al.* ieguva līdzīgus rezultātus, salīdzinot Tobii EyeX un SMI REDn acu kustību iekārtas. Viņi novēroja, ka palielinoties attālumam līdz centram, datu izkliede kļuva lielāka un iegūto datu precizitāte samazinājās, visneprecīzāk tika pierakstīts mērķis, kas atradās monitora labajā apakšējā stūrī (*Feit et al.*, 2017).

2.2.3. Skata virziena precizitāte atkarībā no stimula krāsas

Lai izvērtētu precizitāti atkarībā no stimula krāsas, tika veikts divpusējais t-tests atkarīgiem datiem. Rezultāti norādīja uz statistiski būtiskām atšķirībām starp acu kustību pieraksta precizitāti uz melnā (vid.=1,27, sd=0,44) un uz baltā (vid.=0,96, sd=0,31) fona ($T(12) = 4,66, p < 0,05$), veicot mērījumus ar IViewX RED500 iekārtu. Arī ar IViewX Hi-Speed iekārtu rezultāti norāda uz statistiski būtiskām atšķirībām starp mērījumu precizitāti uz melnā (vid.=1,56, sd=0,22) un baltā (vid.=1,27, sd=0,24) fona ($T(12) = 3,91, p < 0,05$).

Tā kā, mērot ar melniem stimuliem, zīlītes diametrs bija lielāks (skat. 2.11. att.), rezultātu atšķirības var izskaidrot ar iekārtu uzstādījumu, jo šīs iekārtas izmantoja tumšās zīlītes sistēma. Tā sniedz labākus rezultātus gaišos apstākļos, kad zīlītes izmērs ir mazāks, ja

zīlīte ir lielāka, tad arī dati būs neprecīzāki (Bojko, 2013). Kādā citā pētījumā, izmantojot Tobii TX300 acu kustību pieraksta iekārtu, iekārtas atkārtojamība un izsekojamība, mainoties fona un stimulu krāsai, nebija statistiski nozīmīgas. Precizitāte bija augstākā uz melna fona attēlotiem stimuliem divām no trīs etniskajām grupām. Autori to skaidro ar izmantojamo programmatūras algoritmu, ko izmanto ražotājs, lai atrastu zīlīti, kas starp ražotājiem un iekārtām var atšķirties (Blignaut et al., 2013).



2.13. att. Zīlītes diametra izmērs un standartnovirzes kameras attēlā milimetros uz melna un balta fona ar IViewX RED500 un IViewX Hi-Speed iekārtām

SECINĀJUMI

1. Salīdzinot IViewX RED500 un IViewX Hi-Speed acu kustību iekārtas tika iegūts, ka, izvērtējot skata virzienu uz datora ekrāna, IViewX RED500 iekārtas datu precizitāte ir augstāka, nekā IViewX Hi-Speed iekārtas precizitāte.
2. IViewX RED500 iekārtas precizitāte datora ekrāna centrā bija augstāka, nekā ekrāna perifērijā. IViewX Hi-Speed iekārtas precizitāte dažādos ekrāna apgabalos būtiski neatšķīrās.
3. Acu kustību iekārtu precizitāte ir augstāka, demonstrējot objektus uz gaiša ekrāna (balta fona), kad zīlītes izmērs ir mazāks, salīdzinājumā ar rezultātiem, kas iegūti veicot mērījumus uz tumša ekrāna, izmantojot stimulus uz melnā fona un zīlītes izmērs ir lielāks.

NOBEIGUMS

Bakalaura darba ietvaros tika salīdzinātas Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā pieejamas divas acu kustību pieraksta iekārtas, kuru precizitāte savstarpēji Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā iepriekš nav salīdzināta un tika gūts padziļinātāks ieskats iekārtu pielietojamībā redzes uztveres pētījumos. Pēc bakalaura darbā iegūtajiem rezultātiem jāsecina, ka IViewX RED500 iekārtas dati ir ar augstāku precizitāti, nekā IViewX Hi-Speed dati. IViewX Hi-Speed iegūtos datu precizitāte būtiski neatšķiras dažādos datora ekrāna apgabalos, bet IViewX RED500 precizitāte ir zemāka datora ekrāna perifērijā. Gan IViewX Hi-Speed, gan IViewX RED500 precizitāti ir augstāka, kad stimuli tiek demonstrēti uz gaiša ekrāna, salīdzinot ar stimuliem uz tumša ekrāna.

Tā kā parasti pētījumos izmanto iekārtu dotās atjaunošanās frekvences, ieteiktu izpētīt IViewX RED500 un IViewX Hi-Speed precizitāti, nesamazinot iegūto datu daudzumu. IViewX RED500 precizitāti varētu uzlabot, ja tiek izmantots zoda/ pieres balsts. Lai samazinātu IViewX RED500 neprecizitāti monitora stūros, iespējams nepieciešams palielināt izvēlēto attālumu starp monitoru un eksperimenta dalībnieku vai izvēlēties mazāku datora monitora lielumu. Lai samazinātu IViewX Hi-Speed neprecizitāti, jāizvēlas piemērots monitors, kas būtu piemērots tieši IViewX Hi-Speed iekārtas parametriem. Ja pētījumu nepieciešams veikt tumšākos apstākļos, ir jārēķinās ar zemāku datu precizitāti.

PATEICĪBAS

Vēlos pateikties LU Fondam un SIA "Mikrotīkls" (Projekts Nr.2184) par pētījuma atbalstu. Izsaku visdziļāko pateicību savai darba vadītājai Ilzei Ceplei par palīdzību eksperimenta izpildē, datu analīzē un ieteikumiem darba izstrāde, kā arī paldies par iedrošinājumiem un atbalstošiem vārdiem! Vēlos pateikties visiem eksperimenta dalībniekiem par atsaucību un palīdzību, jo bez viņiem šis pētījums nebūtu īstenojams! Un vissirsnīgāko paldies vēlos teikt savai ģimenei par milzīgo atbalstu, sapratni un vārdiem, kas lika turpināt strādāt, darboties un nepadoties!

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

Blignaut, P., & Wiuml, D. (2013). Eye-tracking data quality as affected by ethnicity and experimental design. *Psychonomic Society* , 67-80.

Bojko, A. (2013). *Eye tracking the user experience: A practical guide to research*. Brooklyn: Rosenfeld Media.

Borah, J. (2006). Eye movement, mesure techniques for. G. Webster, *Encyclopedia of medical devices and instrumentation 2nd ed.* (263-286). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Brazis, P., Masdeu, J., & Biller, J. (2011). *Localization in clinical neurology*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business.

Cohen, R. (2011). *Encyclopedia of clinical neuropsychology*. New York: Springer.

Darrien, J., Herd, K., Starling, L., Rosenberg, J., & Morrison, J. (2001). An analysis of the dependence of saccadic latency on target position and target characteristics in human subjects. *BMC Neuroscience* , 2, 13.

Du, P., & MacDonald, E. (2016). Eye-tracking aids in understanding consumer product evaluation. R. Barta, C. Seifert, & D. Brei, *The psychology of design: creating consumer appeal* (301-315). New York, London: Routledge: Taylor and Francis group.

Duchowski, A. (2017). *Eye tracking methodology: Theory and practice*. Switzerland: Springer International Publishing.

Feit, A., Williams, S., Toledo, A., Paradiso, A., Kulkarni, H., Kane, S., u.c. (2017). Toward everyday gaze input: accuracy and precision of eye tracking and implications for design. *2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (1118-1130). Denver: ACM.

Furman, J. (2014). Optokinetic nystagmus. M. Aminoff, & R. Daroff, *Encyclopedia of the neurological sciences 2nd ed.* (687). London: Elsevier.

Gans, R. (2001). Video-oculography: A new diagnostic technology for vestibular patients. *The Hearing Journal* , 54 (5), 40-42.

Glimcher, P. (2003). Eye movement. L. Squire, D. Berg, F. Bloom, S. du Lac, A. Ghosh, L. Squire, u.c., *Fundamental neuroscience (2nd ed.)* (873-893). New York: Elsevier Science.

Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and mesures*. New York: Oxford University Press.

Katz, M. (2002). *Introduction to geometrical optics*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Kimmel, D., Mammo, D., & Newsome, W. (2012). Tracking the eye non-invasively: simultaneous comparison of the scleral search coil and optical tracking techniques in the macaque monkey. *Frontiers in Behavioural Neuroscience* , 6 (49), 1-17.

Martinez-Conde, S. (2005). The role of eye movements during visual fixation. *Barrow Quarterly* , 21 (3), 44-48.

Martinez-Conde, S., Macknik, S., & Hubel, D. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Neuroscience* , 5, 229-240.

Naruniec, J., Wieczorek, M., Szlufik, S., Koziorowski, D., & Tomaszewski, M. (2016). Webcam-based system for video-oculography. *IET Computer Vision* , 11 (2), 173-180.

Nyström, M., Andersson, R., Holmqvist, K., & van de Weijer, J. (2012). The influence of calibration method and eye physiology. *Psychonomic Society* , 272-288.

Rayner, K. (1998). Eye movement in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin* , 124 (3), 372-422.

SensoMotoric instruments. (2009). IView X System Manual.

Stern, R., Ray, W., & Quigley, K. (2001). *Psychophysiological recording (2nd ed.)* (Sēj. II). New York: Oxford University Press.

Titz, J., Scholz, A., & Sedlmeier, P. (2017). Comparing eye trackers by correlating their eye-metric data. *Behavior Research Methods* , 1-11.

Tobii eyetracking. (2016). *Using the Tobii Eye Tracker on a bigger screen than recommended*. Ielādēts 2018. gada 27. Maijs no Tobii Eye Tracking Support: <https://help.tobii.com/hc/en-us/articles/209528789-Using-the-Tobii-Eye-Tracker-on-a-bigger-screen-than-recommended>

Wong, A. (2008). *Eye movement disorders*. Oxford: Oxford University Press.

Bakalaura darbs „Acu kustību iekārtu IViewX Hi-Speed un RED500 salīdzinājums”
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: Nora Barviķe
Stud.apl.nr. nb15014

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: Lektore, Prof.mag. Ilze Ceple

Recenzents: Lektore Ieva Timrote

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____. protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: _____