



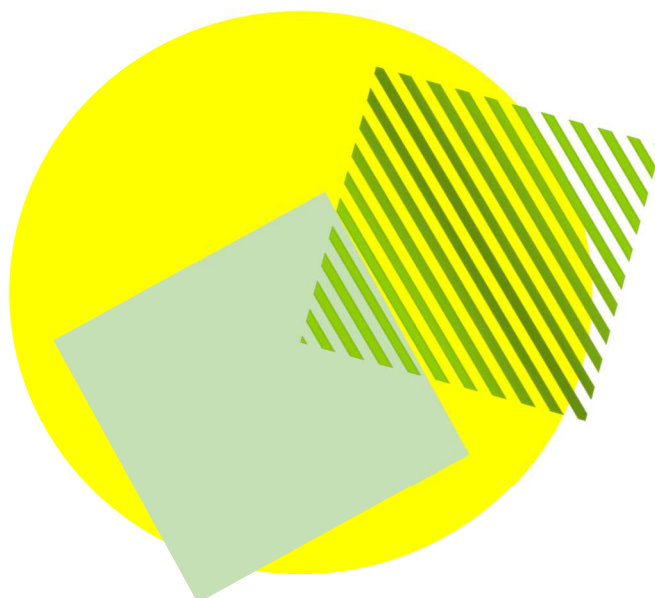
LATVIJAS
UNIVERSITĀTE

**CILVĒKA FIZIOLOĢIJAS UN UZTVERES
AKTUĀLIE PĒTĪJUMI
2020. GADĀ**

RAKSTU KRĀJUMS

**CURRENT RESEARCH IN HUMAN PHYSIOLOGY
AND PERCEPTION 2020**

COLLECTION OF PUBLICATIONS



RĪGA 2020

ISBN 978-9934-23-197-1

Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2020. gadā.

Šajā izdevumā apkopoti LU FMOF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas un tās sadarbības partneru aktuālie pētījumi par cilvēka fizioloģiju un uztveri. 2020. gadā. Pētījumi ir saistīti ar redzes zinātni un klīnisko optometriju. Daļa rakstu ir latviešu, daļa angļu valodā.

Current Research in Human Physiology and Perception 2020

This collection of publications consists of research done in Department of Optometry and Vision Science, Faculty of Physics, Mathematics and Optometry, University of Latvia. Research topics are related with vision science and clinical optometry. Some of the articles are in Latvian, some of them are in English.

Rakstu krājums sagatavots LU FMOF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā, 2020
Redaktori: Gatis Ikaunieks, Gunta Krūmiņa, Aiga Švede un Karola Panke.

ISBN 978-9934-23-197-1

Saturs

Jaunākās tendences bērnu skrīningā. J. Slabcova, G. Krūmiņa, A. Švede, G. Ikaunieks, E. Kassaliete	1
Acu akomodācijas atbilde dažāda dizaina kontaktlēcās. E. Kassaliete, A. Gordeja, K. Panke, A. Petrova	7
Dažādu faktoru ietekme uz reakcijas laiku vizuālajā meklēšanā. V. Andriksone, T. Pladere, G. Krūmiņa	13
Acu kustības simulēto un īsto telpisko attēlu aplūkošanā. L. Krauze, V. Konošonoka, T. Pladere, G. Krūmiņa	17
Kritiskās fūzijas frekvences uztvere pie dažādiem tīklenes apgaismojumiem. S. Sproģe, E. Kassaliete, S. Fomins	21
Gender-related corneal thickness measurements using two different optical pachymetry methods. I. Petroviča, P. Emadi, A. Švede	26
Accommodation response to stimuli of various contrasts. I. Musayev, T. Pladere, G. Krūmiņa	32

Jaunākās tendences bērnu skrīningā

Jeļena Slabcova, Gunta Krūmiņa, Aiga Švede, Gatis Ikaunieks un Evita Kassaliete
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
jelena.slabcova@lu.lv

Anotācija

1968. gadā Pasaules Veselības organizācija nopublicēja *Wilson* un *Jungner* ziņojumu par medicīnas skrīninga principiem un praksi, kas kļuva par sabiedrības veselības klasiku (*Holland et al.*, 2006). Pēc definīcijas skrīnings ir zinātniski pamatots pakalpojumu komplekss, kas norisinās tieši saskaņā ar standartizētas izmeklēšanas tehnoloģijas protokolu. Medicīnā skrīningu lieto, lai atklātu konkrētu slimību personām bez jebkādām slimības klīniskajām pazīmēm un simptomiem (*Wald*, 2001).

Skolas vecuma bērniem redzes skrīnings ir svarīgs, lai identificētu tādas redzes anomālijas, kuras varētu traucēt bērnu fizisko, intelektuālo, sociālo un emocionālo attīstību (*Falkenberg et al.*, 2019), un tas būtu jālieto profilaktiskai redzes funkciju novērtēšanai bērniem bez sūdzībām par redzes funkciju traucējumiem (*Gallaway*, 2010). Kaut arī daudzās valstīs skolas veselības aprūpes programmās ir iekļautas speciālas redzes skrīninga metodikas (*Metsing et al.*, 2018), tomēr tā politika, vadlīnijas un prasības katrā valstī ievērojami atšķiras (*Mathers et al.*, 2010).

Saskaņā ar Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumiem Nr. 555, kas stājās spēkā 2018. gada 28. augustā, Latvijā bērniem obligātās profilaktiskās redzes pārbaudes veic 13-24 mēnešu vecumā, 3 gadu vecumā un pirms skolas 6 gadu vecumā (*LRMK*, 2018). Skolas vecuma bērniem regulāras redzes pārbaudes neveic. Parasti pie redzes speciālista bērnu aizved gadījumos, kad bērns sūdzas, ka neredzot uz tāfeles, kad pēc vecāku vai skolotāju domām iemesls bērna atpalikšanai mācībās ir problēmas ar redzi, kad skolas medmāsa konstatē bērnam redzes asuma pazeminājumu tālumā (neveic visās skolās), kad redzes funkciju neatbilstību normai redzes skrīningā konstatē LU maģistrantūras studenti, kuri to veic reizi gadā kādas vienas skolas audzēkņiem studiju kursā Klīniskās prakses optometrijā II ietvaros.

Kā parādīja ERAF un LU 2011.-2013. gados realizējamā projekta “Skolas vecuma bērnu redzes un redzes uztveres traucējumu pētīšana un diagnostikas metodiku izstrāde” rezultāti, Latvijā katram trešajam skolas vecuma bērnam ir redzes problēmas vai ar redzi saistītas sūdzības, un katram piektajam bērnam ir nopietnas redzes problēmas (*Krūmiņa et al.*, 2013). Tāpēc, neskatoties uz to, ka līdz šim visā pasaulē skolas vecuma bērnu redzes skrīnings nav standartizēta procedūra (*Mathers et al.*, 2010), ir būtiski izstrādāt rentablu, efektīvu un viegli realizējamu skrīninga metodiku, lai savlaicīgi konstatētu ar redzi saistītas problēmas un nodrošināt skolēniem nepieciešamu redzes rehabilitāciju. Šī raksta mērķis ir izveidot literatūras pārskatu par pašreizējo pasaules praksi skolas vecuma bērnu redzes skrīninga jomā un par to efektivitāti.

Atslēgas vārdi: redzes skrīnings, skolas vecuma bērni, testa jutība un specifiskums

Metodika

Literatūras pārskats ir izveidots, izmantojot pēc atslēgas vārdiem atlasītos elektroniskus rakstus un žurnālus no *PRIMO*, *EBSCO (multisearch)* un *Science Direct* datubāzēm. Atlasītajos pētījumos tika iekļauti bērni vecumā no 6 līdz 19 gadiem bez iepriekš zināmajām refrakcijas vai redzes funkciju anomālijām. Rakstos tika novērtēta dažādu valstu skolas vecuma bērnu redzes skrīninga metodika un to kvalitāte, balstoties uz *Wilson* un *Jungner* skrīninga kritērijiem (*Andermann et al.*, 2008).

Literatūras pārskats

Vispirms gribētos nedaudz dziļāk apstāties pie viena no galvenajiem medicīnas skrīninga kritērijiem, kas varētu palīdzēt atbildēt uz jautājumu, kāpēc joprojām skolas vecuma bērnu redzes skrīnings nav izplatīts, kaut arī intuitīvi to nozīmi izjūt katrs redzes aprūpes speciālists. Pati skrīninga koncepcija veselības aprūpes jomā: “Aktīva slimības vai pirmsslimības stāvokļa noteikšana personām, kuras tiek uzskatītas vai uzskata sevi par veselām”, ir plaši izplatīta vairumā attīstītajās valstīs (*Holland et al.*, 2006) un nav pretrunā ar redzes skrīninga realizāciju skolas vecuma bērniem. Tomēr, pirmais punkts galvenajos medicīnas skrīninga kritērijos, kuri ir skaidri definēti pirms daudziem gadiem un kuriem jāizpildās, lai veiktu skrīningu jebkāda meklētā stāvokļa konstatēšanai skan tā: “Skrīninga programmai jāatklāj nozīmīga veselības problēma” (*Cochrane & Holland*, 1971), kas jau ir pretrunā ar redzes skrīninga realizāciju skolas vecuma bērniem, jo nekoriģētas refrakcijas anomālijas, akomodācijas un verģenču aparātu disfunkcijas šajā vecumā diez vai ir pieskaitāmas pie nopietnām veselības problēmām. Minētais kritērijs arī paskaidro, kāpēc pirmsskolas vecuma bērnu redzes skrīninga programmas ir plaši izplatītas visā pasaulē, jo to mērķis ir konstatēt ambliogēnos stāvokļus, kuri var traucēt normālai redzes aktivitātes, kopredzes un okulomotoras koordinācijas attīstībai, kā arī ir vērsts uz tādu iedzimto vai pirmajos dzīves gados manifestējamo slimību konstatēšanu, kas var izraisīt ne tikai optisko deprivāciju, bet arī apdraudēt paša bērna dzīvību (*Lagrèze*, 2010).

Valstīs, kur ar likumu noteiktā kārtībā skolas vecuma bērniem redzes skrīningu veic regulāri, pārbaužu mērķis nav vērsts uz nopietnu medicīnisku problēmu konstatāciju, bet lai konstatētu tādas, šķietami veselībai mazkaitīgās refrakcijas anomālijas un binokulārās redzes disfunkcijas, kuras var traucēt bērna normālu attīstību (*Evans et al.*, 2009). Nekoriģētas refrakcijas anomālijas, akomodācijas un verģenču aparātu disfunkcijas bieži ir iemesls bērna lasīšanas grūtībām, kā rezultātā bērns var sākt atpalikt mācībās (*Duckman*, 2006), vēlāk var parādīties arī bērna uzvedības traucējumi, tas noslēdzas sevī vai paliek agresīvs (*Falkenberg et al.*, 2019). Tas demonstrē, ka redzes skrīnings skolas vecuma bērniem ir būtisks un ir svarīgi izstrādāt tā efektīvu metodiku.

Izstrādājot skolas vecuma bērnu redzes skrīninga metodiku ir būtiski ņemt vērā tādus medicīnas skrīninga kritērijus, kā:

- pielietojama testa vienkāršība – testam jābūt viegli izpildāmam, viegli interpretējamam un, ja iespējams, lai to varētu izpildīt nemedicīnas personāls;
- testa atkārtojamība – atkārtotās pārbaudēs testam jāsniedz līdzīgi rezultāti;
- testa jutība – testam jāsniedz pozitīvs rezultāts, ja pārbaudāmajam indivīdam ir meklētais stāvoklis;
- testa specifiskums – testam jāsniedz negatīvs rezultāts, ja pārbaudāmajam indivīdam nav meklēta stāvokļa (*Chamberlain*, 1984).

Apkopojot daudzu valstu pieredzi par skolēnu redzes skrīninga metodiku, tajā var izdalīt tādus punktus kā aptauja jeb anamnēze, refrakciju anomāliju konstatācija, akomodācijas un verģenču aparātu disfunkciju konstatācija, citas ar redzi saistīto anomāliju konstatācija (*Metsing et al.*, 2018). Taču jāpiemin, ka visā pasaulē skolēnu redzes skrīninga vadlīnijas un testu rezultātu normatīvi ievērojami atšķiras (*Mathers et al.*, 2010), kā arī redzes skrīninga realizācijai izmanto atsevišķus optometriskos testus, specializētas datorizētas programmas vai automatizētas iekārtas (*Toufееq & Oram*, 2014). Pēdējos gados skolēnu redzes skrīningā arvien biežāk izmanto tieši automatizētās iekārtas, jo tad tas ir vienkārši realizējams un īsā laika posmā ļauj novērtēt dažādas redzes funkcijas

(Metsing et al., 2018). Tomēr jāņem vērā, ka neeksistē pārliecinošu pētījumu par automatizētajās iekārtās iekļauto testu precizitāti un piedāvātā skrīninga modeļa efektivitāti (Perera et al., 2015).

Gandrīz vienmēr skolēnu redzes skrīninga neatņemama daļa ir **aptauja** jeb anamnēze. To realizē ar visdažādāko apaujas lapu palīdzību un tās aizpilda skolotāji vai bērnu vecāki (Falkenberg et al., 2019). Aptaujas mērķis ir iegūt datus par acīmredzamu acu patoloģiju vai redzes anomālijām, tāpēc tajās iekļauj jautājumus par skolēna acu ārējo izskatu, par sūdzībām, kas var būt saistītas ar redzes problēmām, par skolēna rakstīšanas un lasīšanas īpatnībām. Padziļinātai izmeklēšanai pie redzes speciālista skolēnu nosuta, ja tam ir kāds no aptaujas lapā minētajiem simptomiem (CDE, 2015).

Redzes asuma novērtēšana tālumā ir visā pasaulē vispārpieņemta metode un šis tests gadu desmitiem ir ticis uzskatīts par “zelta standartu” skolēnu redzes skrīningā (Ethan & Basch, 2008). Parasti redzes asumu nosaka monokulāri ar Sloan tabulām 3 vai 5 metru attālumā. Vienotā viedokļa par to kādā attālumā ir labāk vērtēt redzes asumu neeksistē, jo kaut arī pie skata 3 metru attālumā acs akomodācija nebūs pilnīgi atslābināta, lietojot atbilstoša lieluma optotipus pazemināts redzes asums tālumā ļaus konstatēt miopijas attīstību (Evans et al., 2009). Lielākā daļa skrīninga programmu nekoriģēto pazemināto redzes asumu tālumā saista ar ambliopiju, refrakcijas anomālijām un anizotropiju. Tomēr ir novērots, ka skolas vecuma bērniem nekoriģētais samazināts redzes asums tālumā ticami nosaka miopiju, bet ne hipermetropiju vai astigmātismu (O'Donoghue et al., 2013).

Neeksistē vienots kritērijs par iegūtā redzes asuma pazeminājumu, lai nosūtītu bērnu tālākai padziļinātai izmeklēšanai. Visbiežāk par šādu kritēriju profilaktiskos redzes skrīningos kalpo iegūtais redzes asums sliktāk redzošajā acī zemāks par 0,8-1,0 Snellena decimālajām vienībām (logMAR 0,1-0,0) (Gallaway, 2010) vai zemāks par 0,5-0,65 (logMAR 0,3-0,2) (Hård, 2007), vai arī ja konstatē divu decimālo rindiņu starpību monokulāri iegūtā redzes asumā (Metsing et al., 2018). Tikai nelielai daļai bērnu ar Snellena decimālo redzes asumu zem 0,8-1,0 tālākajā izmeklēšana konstatēs nozīmīgas refrakcijas anomālijas un nozīmēts optisko korekciju, tāpēc tam ir zems specifiskums (Rosenbloom & Morgan, 1990). Tomēr, ja bērnam anketēšanas laikā konstatē astenopiskās sūdzības, šāda kritērija izvēle sevi attaisno (Logan & Gilmartin, 2004). Kad par kritēriju tālākai bērna izmeklēšanai izvēlas Snellena decimālo redzes asuma pazeminājumu līdz 0,5-0,63, no vienas puses tas ļauj padarīt redzes skrīningu efektīvāku, jo tālākajā izmeklēšanā tādām bērnam konstatēs klīniski nozīmīgas refrakcijas anomālijas, tomēr vienam pašam šim kritērijam ir zema jutība (Rosenbloom & Morgan, 1990).

Nepieciešamību iekļaut skolēnu redzes skrīningā tuvuma redzes funkciju novērtēšanas testus atzīst ne visi autori (Metsing et al., 2018), kaut arī pazemināto **redzes asumu tuvumā** parasti saista ar lielu hipermetropiju vai akomodācijas darbības traucējumiem (Duckman, 2006) un tas korelē ar lasīšanas un mācīšanas grūtībām (Dudovitz et al., 2016, Krūmiņa et al., 2013). Daudzās valstīs skolas vecuma bērnu skrīninga programmās redzes asumu tuvumā tomēr vērtē. Tādos gadījumos par kritēriju tālākai bērna padziļinātai izmeklēšanai pieņem divu Snellena decimālo rindiņu starpību starp novērtēto redzes asumu tālumā un tuvumā (Metsing et al., 2018). Retos gadījumos paša **akomodācijas** aparāta darbības skrīningam skolēniem ar RAF lineālu vērtē monokulāro akomodācijas amplitūdu. Tādos gadījumos par kritēriju tālākai padziļinātai izmeklēšanai paņem akomodācijas amplitūdas vērtības zemākās par 10,00 D otrās klases skolēniem, zem 9,00 D – piektās klases un zem 8,00 D desmitās klases skolēniem (Falkenberg et al., 2019).

Daudzi autori tomēr norāda, ka redzes asuma tuvumā novērtēšanas testam kā hipermetropijas skrīningam nav augsta jutība. Tas ir paskaidrots ar to, ka lai hipermetropijas dēļ redzes asums tālumā un tuvumā bērnam atšķirtos pa divām decimālajām rindiņām, tai jābūt ievērojamas pakāpes, bet bērni ar zemas pakāpes hipermetropiju šo testu izies bez grūtībām (Rosenbloom & Morgan, 1990). Kaut arī skolēniem ar zemas pakāpes hipermetropiju var būt pietiekams akomodācijas apjoms lai pietiekami ilgu laiku nodrošināt augstu redzes asumu tuvumā (Evans et al., 2018), tomēr veicot tuvuma darbus ilgākā laika posmā šādiem bērniem sāk parādīties redzes miglošanās un astenopiskās sūdzības (Kulp et al., 2016). Tāpēc, lai konstatētu šo refrakcijas anomāliju ar augstāku jutību un specifiskumu, daudzās valstīs visbiežāk pielieto speciālo **hipermetropijas testu** (Paech, 2010). Testu izpilda šādi: pārbaudot monokulāro redzes asumu tālumā skolēna acs priekša pieliek kādu no pozitīvajām lēcām (no +1,75 D līdz +2,50 D), pozitīvās lēcas stipruma izvēle ir atkarīga no bērna

vecuma vai konkrētas valsts vadlīnijām (*Metsing et al., 2018*). Ja šāda testa laikā bērnam redzes asums paliek nemainīgs, pieņem, ka viņam ir hipermetropija tādas pakāpes, kā pieliktā lēca vai vairāk un tas ir nosacījums (kritērijs) tālākai padziļinātai izmeklēšanai (*CDE, 2015*).

Tādas organizācijas kā *American Academy of Optometrists* un *Prevent Blindness America* rekomendē skolas vecuma bērnu redzes skrīninga programmās obligāti iekļaut **binokulārās redzes traucējumu novērtēšanas testus**, jo šie traucējumi var negatīvi ietekmēt bērnu mācīšanas prasmes (*MDH, 2017*). Tādi ātri un vienkārši realizējamie binokulārās redzes novērtēšanas testi kā aizklāšanas tests, konverģences tuvuma punkts un stereoredzes asums ir iekļauti lielākajā daļā skolas vecuma bērnu redzes skrīninga protokolos ASV un arī citās valstīs (*Falkenberg et al., 2019*). Novērtējot šķielēšanas leņķi tālumā un tuvumā ar aizklāšanas testu, par kritēriju tālākai bērna padziļinātai izmeklēšanai pieņem jebkuru refleksācijas kustību (*ADPH, 2013*) vai arī:

- Tālumā eksoforija lielāka par 5 pd;
- Tuvumā eksoforija lielāka par 10 pd;
- Tālumā un tuvumā ezoforija lielāka par 6 pd;
- Vertikālā deviācija lielākā par 2 pd (*Metsing et al., 2018*).

Tāpat uz padziļināto redzes funkciju diagnostiku skolēnu nosuta, ja plūstošās **konverģences tuvuma punkts** atrodas tālāk par 8-10 cm (*Falkenberg et al., 2019*).

Daudzās valstīs plaši izplatīta metode binokularitātes skrīningā ir **stereoredzes** asuma novērtēšana ar *Random-dot "E"* vai *Titmus* un tā modifikācijas testiem (*ADPH, 2013*). Ja redzes skrīninga laikā skolēnam konstatē tikai rupju stereoredzi vai to iztrūkumu, tas var liecināt par ambliopiju, sliktu dziļuma uztveri, šķielēšanu, nekoriģētām ametropijām vai anizotropiju (*CDE, 2015*) un bērns ir nosūtāms tālākai padziļinātai izmeklēšanai (*Metsing et al., 2018*).

Krāsu redzes testi ne vienmēr tiek iekļauti skolēnu redzes skrīninga protokolā, pamatojoties uz pieņēmumu, ka iedzimtie krāsu redzes defekti nav ārstējami, neprogresē un parasti tie neietekmē redzes asumu (*Logan & Gilmartin, 2004*). Tomēr krāsu redzes skrīninga testi ir iekļauti lielākajā daļā ASV redzes skrīninga protokolos ar ieteikumu to novērtēt tikai zēniem un tikai sākumskolā. Šim nolūkam parasti izmanto drukātas vai datorizētas pseidoizohromatiskās plates (*Metsing et al., 2018*). Lielākajā daļā redzes skrīninga protokolu krāsu redzes pārbaūžu rezultāti nav paredzēti bērna nosūtīšanai tālākai izmeklēšanai, bet gan vecāku, skolotāju un bērnu informēšanai par turpmākām karjeras iespējām un lai varētu pielāgot mācību materiālus bērniem ar krāsu redzes defektiem (*Hopkins et al., 2013*)

Vēl viens svarīgs jautājums ir saistīts ar **personāla** piesaisti skolas vecuma bērnu redzes skrīningam. Dažādās valstīs skrīningu realizē optometristi, vai speciāli apmācītās skolas medmāsas, bērnu vecāki vai skolotāji (*Priya et al, 2010*). Piesaistot redzes skrīningam nemedicīnas personālu, tas ļauj padarīt to lētāku (*Toufееq & Oram, 2014*). Neskatoties uz to, ka redzes skrīningā cenšas pielietot vienkāršus testus, lai iegūtu ticamus rezultātus un izvairītos no lieliem viltus pozitīviem un viltus negatīviem gadījumiem, neatkarīgi no tā, vai redzes skrīningu veic ar automatizētajām iekārtām, datorprogrammām vai arī pielietojot atsevišķus testus, pirms skrīninga veikšanas personālu ir būtiski kārtīgi apmācīt (*Sabri et al., 2019*). Vislabāko redzes skrīningu nodrošina tieši optometristi, kaut arī to piesaistīšana var procesu sadārdzināt (*Metsing et al., 2018*).

Secinājumi

Atšķirībā no visā pasaulē plaši izplatītajām redzes skrīninga programmām pirmsskolas vecuma bērniem, skolas vecuma bērnu redzes skrīnings nav plaši atbalstīts, pat neskatoties uz literatūrā aprakstītiem pētījumiem, ka eksistē sakarība starp skolēnu redzes problēmām un mācīšanas grūtībām (*Evans et al., 2018*). Šobrīd neeksistē standartizēts šīs vecuma grupas redzes skrīninga protokols (*Metsing et al., 2018*). Dažādās valstīs skolas vecuma bērnu redzes skrīningam pielieto atsevišķus optometriskos testus, specializētas datorizētas programmas vai automatizētas iekārtas (*Toufееq & Oram, 2014*).

Visā pasaulē notiek debātes par skolas vecuma bērnu redzes skrīninga nepieciešamu biežumu, to metodiku, skrīningā iesaistīto personālu un to izmaksu efektivitāti. Dažās valstīs skolēnu redzes skrīningu realizē katru gadu (Hopkins et al., 2013), citās valstīs to veic 6, 8, 10, 12, 15 un 18 gadu vecumā vai tikai 1., 4. un 8. klases audzēkņiem (Metsing et al., 2018). Izskan arī tādas rekomendācijas, ka redzes skrīnings būtu jāveic tikai pirmklasniekiem un paaugstināta riska skolēniem, t.i., atkārtoti kārto skolas pārbaudes darbus, paliek uz otro gadu vai piedalās “speciālajās izglītības programmās” (MDH, 2017).

Par pozitīvo tendenci var uzskatīt jaunākos rakstos publicētu atziņu, ka skolēnu redzes skrīningā jāvērtē ne tikai redzes asums tālumā un tuvumā, bet arī jāiekļauj akomodācijas un vergēncu aparātu nevērtēšanas testi, jo bērniem ar mācīšanās grūtībām bieži novēro tieši tuvuma redzes funkciju traucējumus (Hopkins et al., 2013, Krūmiņa et al., 2013). Vispārpieņemtas atziņas par skolas vecuma bērnu redzes skrīningu ir tādas, ka pārbaudei nevajadzētu būt laikietilpīgai, jo īsā laika posmā jāpārbauda salīdzinoši liels skolēnu skaits, tajā pielietotiem testiem jābūt ātriem un vienkārši realizējamiem. Tomēr skrīningā iekļautajiem testiem jābūt ar pietiekami augstu jutību, lai atlasītu skolēnus ar redzes funkciju traucējumiem, ka arī jāatrod balanss starp testu jutīgumu un specifiskumu, savādāk, ja specifiskums būs pārāk zems un skrīninga laikā tiks atlasīts liels viltus pozitīvo gadījumu skaits, tas mazinās sabiedrības uzticēšanos šādām skrīninga programmām (Metsing et al., 2018). No augstāk aprakstītā izriet, ka vēl jāigulda liels darbs, lai izveidotu skolas vecuma bērnu redzes skrīninga vadlīnijas ar zinātniski pamatotu skrīninga nepieciešamu biežumu, to metodiku, iesaistīto personālu un izmaksu efektivitāti.

Literatūra

- Alaska Division of Public Health (ADPH). (2013). *Vision Screening Guidelines for the Preschool/ School Population*. Anchorage: Department of Health and Social Services.
- Andermann, A., Blancquaert, I., Beauchamp, S., & Déry, V. (2008). Public health classics. Revisiting Wilson and Jungner in the genomic age: a review of screening criteria over the past 40 years. *Bulletin of the World Health Organization*, 86(4), 317-319.
- Chamberlain, J.M. (1984). Which prescriptive screening programmes are worthwhile? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 38(4), 270-277.
- Cochrane., A.L., & Holland, W.W. (1971). Validation of screening procedures. *British Medical Bulletin*, 27(1), 3-8.
- Colorado Department of Education (CDE). (2015). Guidelines for School Vision Screening Programs: Kindergarten through Grade12. Pieejams: <https://www.cde.state.co.us/healthandwellness/visionscreeningk122016> (Skatīts 10.05.2020.)
- Duckman, R.H. (2006). *Visual Development, Diagnosis, and Treatment of the Pediatric Patient*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Dudovitz, R.N., Izadpanah, N., Chung, P.J., & Slusser, W. (2016). Parent, teacher, and student perspectives on how corrective lenses improve child wellbeing and school function. *Maternal and Child Health Journal*, 20(5), 974-983.
- Ethan, D., & Basch, C.E. (2008). Promoting healthy vision in students: Progress and challenges in policy, programs, and research. *Journal of School Health*, 78(8), 411-414.
- Evans, J., Smeeth, L., & Fletcher, A. (2009). Vision screening. *British Journal of Ophthalmology*, 93(6), 704-705.
- Evans, J.R., Morjaria, P., & Powell, C. (2018). Vision screening for correctable visual acuity deficits in school-age children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, 1-34.
- Falkenberg, H.K., Langaas, T., & Svarverud, E. (2019). Vision status of children aged 7–15 years referred from school vision screening in Norway during 2003–2013: a retrospective study. *BMC Ophthalmology*, 19, article No180.
- Gallaway, M.S. (2010). The Need for Better School Vision Screening: The Use of VERA Vision Screening in a Community Setting. *Optometry & Vision Development*, 41(4), 232-239.
- Hård, A.L. (2007). Results of vision screening of 6-year-olds at school: a population-based study with emphasis on screening limits. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 85, 415-418.

- Holland, W.W., Stewart, S., & Masseria, C. (2006). *Policy brief. Screening in Europe*. Brussels: World Health Organization, on behalf of the European Observatory on Health Systems and Policies.
- Hopkins, S., Sampson, G.P., Hendicott, P., & Wood, J.M. (2013). Review of guidelines for children's vision screenings. *Clinical and Experimental Optometry*, 96, 443-449.
- Krūmiņa, G. (2013). *Pārskats par ERAF un LU projektu "Skolas vecuma bērnu redzes un redzes uztveres traucējumu pētīšana un diagnostikas metodiku izstrāde"* Nr.2011/0004/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/027. Projekta zinātniskā konference. Rīga, Latvija.
- Kulp, M.T., Ciner, E., Maguire, M., Moore, B., Pentimonti, J., Pistilli, M., Cyert, L., Candy, T.R., Quinn, G., & Ying, G. (2016). Uncorrected hyperopia and preschool early literacy: results of the vision in preschoolers – hyperopia in preschoolers (VIP-HIP) study. *Ophthalmology*, 123(4), 681-689.
- Lagrèze, W.A. (2010). Vision Screening in Preschool Children. Do the Data Support Universal Screening? *Deutsches Ärzteblatt International*, 107(28-29), 495-499.
- Latvijas Republikas Ministru Kabinets. 1. pielikums MK 29.08.2018. noteikumiem Nr. 555, MK 10.12.2019. noteikumu Nr. 642 redakcijā "Profilaktiskās apskates (izmeklējumi) un sirds un asinsvadu slimību riska noteikšana", 1.4.8. apakšpunkts. Pieejams: <https://m.likumi.lv/doc.php?id=301399> (Skatīts 09.05.2020.)
- Logan, N.S., Gilmartin, B. (2004). School vision screening, ages 5–16 years: the evidence-base for content, provision and efficacy. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 24: 481-492.
- Mathers, M., Keyes, M., & Wright, M. (2010). A review of the evidence on the effectiveness of children's vision screening. *Child: Care, Health and Development*, 36(6), 756-780.
- Metsing, I.T., Hansraj, R., Jacobs, W., & Nel, E.W. (2018). Review of school vision screening guidelines. *African Vision and Eye Health*, 77(1), article No 444.
- Metsing, I.T., Jacobs, W., & Hansraj, R. (2018). A review of vision screening methods for children. *African Vision and Eye Health*, 77(1), article No 446.
- Minnesota Department of Health (MDH). (2017). Vision screening guidelines for infancy, childhood and School age children. Pieejams: <https://www.health.state.mn.us/docs/people/childreneyouth/ctc/vision/screen/vision/screenman.pdf> (Skatīts 24.05.2020.)
- O'Donoghue, L., McClelland, J.F., Logan, N.S., Rudnicka, A.R., Owen, C.G., & Saunders, K.J. (2013). Profile of anisometropia and aniso-astigmatism in children: Prevalence and association with age, ocular biometric measures, and refractive status. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 54(1), 602-608.
- Paech, M. (2010). The Orinda Study: should the 'modified clinical technique' retain its 'gold standard' status as a vision screening tool? *Clinical and Experimental Optometry*, 93(1), 31-36.
- Perera, C., Chakrabarti, R., Islam, F.M.A., & Crowston, J. (2015). The eye phone study: Reliability and accuracy of assessing Snellen visual acuity using smartphone technology. *Eye*, 29(7):888-894.
- Priya, A., Veena, K., Thulasiraj, R., Fredrick, M., Venkatesh, R., Sengupta, S., & Basset, K. (2015). Vision screening by teachers in southern Indian schools: Testing a new "all class teacher" model. *Ophthalmic Epidemiology*, 22(1), 60-65.
- Rosenbloom, A.A., Morgan, M.W. (1990). *Principles and practice of pediatric optometry*. Philadelphia: J.B. Lippincott Co.
- Sabri, K., Easterbrook, B., Khosla, N., Davis, C., & Farrokhyar, F. (2019). Paediatric vision screening by non-healthcare volunteers: evidence based practices. *BMC Medical Education*, 19, article No 65.
- Toufееq, A., Oram, A.J. (2014). School-entry vision screening in the United Kingdom: Practical aspects and outcomes. *Ophthalmic Epidemiology*, 21(4), 210-216.
- Wald, N.J. (2001). Editorial. The definition of screening. *Journal of Medical Screening*, 8, 1.

Acs akomodācijas atbilde dažāda dizaina kontaktlēcās

Evita Kassaliete, Anastasija Gordeja, Karola Panke, Anete Petrova
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
evita.kassaliete@lu.lv

Anotācija

Tuvredzības progresēšana jaunu cilvēku populācijā sakarā ar akomodācijas darbības traucējumiem ir šī brīža viena no globālajām izpētes problēmām. Pētījumi rāda, ka multifokālajām kontaktlēcām ir atšķirīga ietekme uz akomodācijas atbildi (*Costa et al.*, 2011). Tāpēc mērķis ir novērtēt akomodācijas atbildi jeb atpalikšanu, lietojot dažāda dizaina multifokālās kontaktlēcas pie atšķirīgiem darba attālumiem jeb akomodācijas pieprasījuma.

Pētījumā piedalījās 10 pacienti vecuma grupā no 22 līdz 28 gadiem ar emmetropiju, kur refraktīvā kļūda pēc sfēriskā ekvivalenta atbilda $-0,50D$ līdz $+0,50D$. Ar fotorefraktoru "PowerRef 3" novērtēja acs akomodācijas atbildi uz stimuliem, kas novietoti 25cm and 40cm attālumā, lietojot monofokālās kontaktlēcas ($+1,50 D$ un $+2,5D$) un multifokālās kontaktlēcas (Air Optix Aqua Multifocal no Alcon (AO) sph: planum ar Med un Hi aditīvu un Biofinity Multifocal (BF) no Cooper Vision sph: planum ADD 1,50D un 2.0D). Rezultātā tika salīdzināta akomodācijas atpalikšana bez korekcijas un ar attiecīgajām kontaktlēcām, lai izvērtētu kontaktlēcu dizaina efektivitāti akomodācijas atpalikšanas kompensēšanā optometrista praksē.

Pētījuma dalībnieku grupā akomodācijas atpalikšana bija $1,05\pm 0,11D$, stimulam atrodoties 40cm un $1,53\pm 0,11D$ stimulam 25cm. Novērtējot multifokālo kontaktlēcu ietekmi uz akomodācijas atpalikšanu, mēs atradām, ka tuvuma profils lēcas centrā samazina akomodācijas atpalikšanu. Salīdzinājumā kontaktlēcas ar tāluma profilu lēcas centrā neuzrādīja nozīmīgu akomodācijas atpalikšanas samazinājumu.

Kopumā iegūtie rezultāti apstiprina jau pētījumos iegūtos rezultātus. Tuvuma profils multifokālās lēcas centrā (AOM) būtiski ietekmē akomodācijas atpalikšanu, ietekmējot akomodācijas darbību tik pat efektīvi kā monofokālajās pozitīva stipruma kontaktlēcās. Aditīva stiprums (Med vai Hi) būtiski neietekmē akomodācijas atpalikšanas rezultātu. Tāluma profila multifokālajās kontaktlēcās akomodācijas atpalikšanas mazināšana ir atkarīga no aditīva stipruma – ADD 1,5 palielina, bet ADD 2,0 samazina akomodācijas atpalikšanu.

Atslēgas vārdi: akomodācijas atpalikšana, multifokālās kontaktlēcas

Literatūras pārskats

Miopijas progresēšana samazināšana ir aktuāls jautājums mūsdienu sabiedrībā un redzes pētnieku aprindās. Aktīvi tiek pētīta korekcijas veida ietekme uz miopizācijas procesu, izvēloties bifokālās briļļu lēcas, perifērā defokusa lēcas, ortokeratoloģiju, multifokālās lēcas un farmaceitisko aģentus (*Walline et al.*, 2014, *Remo'n et al.*, 2020). Multifokālo kontaktlēcu pielietošana bērniem un jauniem cilvēkiem, mazina perifēro hipermetropisko defokusu uz tīklenes, kas rodas briļļu korekcijas gadījumā, ļaujot pacientam saglabāt kvalitatīvu redzes asumu visos darba attālumos. Ražotāji piedāvā dažāda veida (profila) multifokālas kontaktlēcas ar tuvuma refrakcijas stiprumu lēcas centrā vai tāluma refrakcijas stiprumu lēcas centrā. Izpētot pētījumus, kur pielieto multifokālās kontaktlēcas, var secināt, ka rezultāti ir atkarīgi no izmantojamām kontaktlēcām, pētījuma metodikas un pacienta fizioloģiskās zīlītes lieluma un lēcas centrēšanās kvalitātes (*Qin Zhu et al.*, 2019; *Remo'n et al.*, 2020; *Perez-Prados et al.*, 2016). Optometristam, kas vēlētos izrakstīt multifokālās kontaktlēcas jaunam cilvēkam būtu svarīgi saprast kādā mērā konkrētais kontaktlēcas profils ietekmē pacienta akomodāciju.

Akomodāciju saprot kā procesu, kad mainoties acs lēcas izliekumam, dinamiski mainās acs optiskais stiprums, ar mērķi – saglabāt skaidru attēlu uz tīklenes. Acs optiskā stipruma pieaugums ir

sarežģīta kombinācija, ko veido sensoro, neiromuskulāro un biofizikālo procesu kopums. Šī procesa rezultātā cilvēks spēj skaidri redzēt gan tālumā, gan tuvumā (*Benjamin, 2006*). Tomēr 8 % bērniem un jauniem cilvēkiem ir traucētas akomodācijas spējas (*Pettersson et al., 2011*). Akomodācijas fokusēšanās kļūdas, kas rodas akomodācijas atpalikšanas gadījumā (lag of accommodation) novieto fokusu aiz paredzētā mērķa, ko mēs pazīstam kā akomodācijas nepietiekamu darbību, bet kļūda, kas rodas akomodācijas pārsvara gadījumā (lead of accommodation), kad fokuss tiek novietots pirms paredzētā mērķa – klīniski norāda uz akomodācijas pārmērīgu darbību jeb ekscesu (*Schor, 1999*).

Akomodācijas atpalikšanas lielumu ietekmē tādi faktori kā pacienta vecums (*Heather et al., 2009*), akomodatīvā stimula fiksācijas attāluma, akomodatīvā stimula izmēra, refrakcijas stāvoklis (*McBrient & Millodot, 1985*) un akomodācijas un vergences sadarbības veids.

Mērķis novērtēt akomodācijas atpalikšanu ar dažāda dizaina kontaktlēcām pie dažāda lieluma akomodatīvajiem stimuliem; noteikt akomodācijas atpalikšanas lielumu pie 2,5 D un 4D akomodatīvā stimula; novērtēt un salīdzināt multifokālo kontaktlēcu ietekmi uz akomodācijas atpalikšanu; salīdzināt aditīva efektivitāti sfēriskajās un multifokālajās kontaktlēcās; salīdzināt akomodācijas atpalikšanas izmaiņas, pielietojot multifokālās kontaktlēcas ar dažāda lieluma aditīvu.

Metodika

Pētījumā piedalījās 10 dalībnieki – 9 sievietes un 1 vīrietis, vecumā no 22 līdz 28 gadiem (vidējais vecums: 24 ± 1 gads). Visi dalībnieki ir pacienti ar emetropiju, kur refrakcijas sfēriskais ekvivalents nepārsniedz $\pm 0,50$ D un kuri ikdienā nelieto ametropijas korekciju. Izvēlētie dalībnieki ir bez redzes patoloģijām un ar redzes asumu tālumā un tuvumā vismaz 1,0 decimālās vienības. Dalībnieki mutiski apstiprināja, ka nelieto recepšu medikamentus un viņu acu veselība ir laba. Ik vienam dalībniekam tika veikti mērījumi ar visām sešām kontaktlēcām. Turpinājumā uzskaitītas kontaktlēcas, kuras tika izmantotas eksperimentā. Kontaktlēcu veids un mērījumu secība tika variēta starp dalībniekiem, lai izvairītos no metodoloģiskās kļūdas.

Air Optix Aqua Multifocal (B.C. 8.6, DIA 14.2) sph.: planum, aditīvs Medium
Air Optix Aqua Multifocal sph.: (B.C. 8.6, DIA 14.2) sph.: planum, aditīvs High
Biofinity Multifocal (D) (B.C. 8.6, DIA 14.0) sph.: planum, aditīvs 1,50 D
Biofinity Multifocal (D) (B.C. 8.6, DIA 14.0) sph.: planum, aditīvs 2,00 D
Biofinity +1,50; (B.C. 8.6, DIA 14.0);
Biofinity +2,50; (B.C. 8.6, DIA 14.0);

Ar “PowerRef 3” autorefraktoru novērtēja reālo akomodācijas atbildi uz konkrēto stimulu. Sākotnēji mērījumu veic bez korekcijas 6m attālumā, lai aprēķinos iekļautu refraktīvās kļūdas ietekmi. Tad tiek ievietota pirmā kontaktlēca un nogaidītas 5 minūtes un novērtēta kontaktlēcu centrācija. Speciālistam izvērtējot, ka KL pieguļ labi, tiek veikti mērījumi 6m, 40 cm un 25 cm attālumā. Secīgi tiek mainīta tekošā kontaktlēca un veikti mērījumi. Viens dalībnieks eksperimenta laikā pavadīja vidēji 2 stundas.

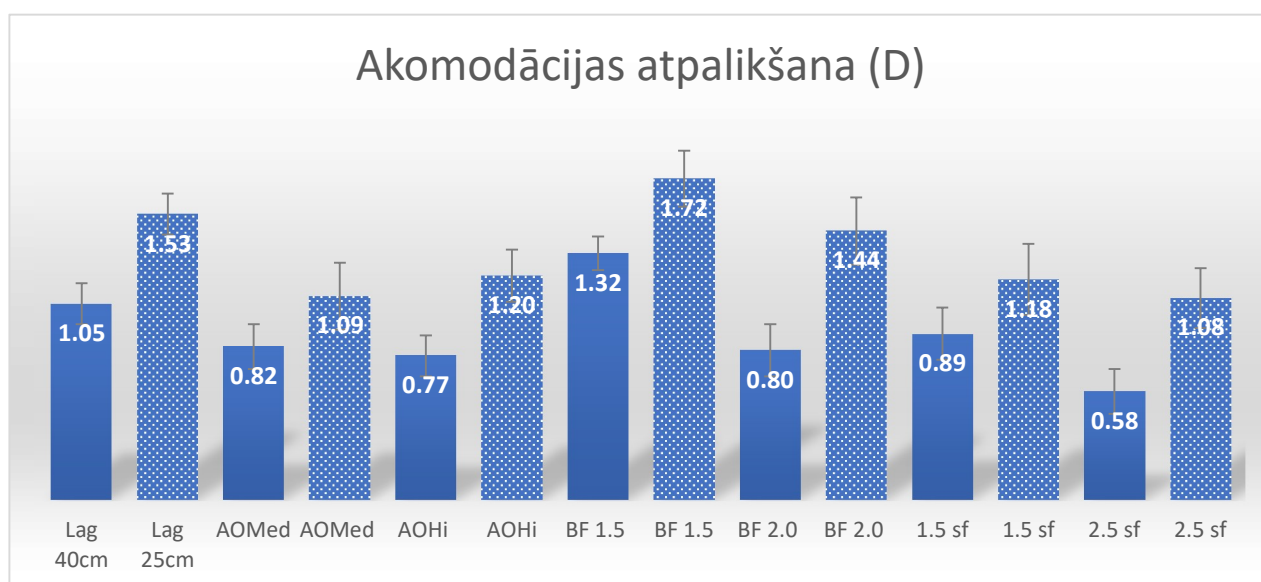
Tā kā novērošanas stimuli tika izvietoti 25 cm un 40 cm attālumā no novērotāja, tad teorētiskais akomodācijas pieprasījums: 25 cm sastāda 4,0D un 40 cm - sastāda 2,5D pieprasījumu pēc akomodācijas. Akomodācijas atpalikšanas tika aprēķināta, kā teorētiskā akomodācijas stimula pieprasījuma apjoma starpība ar nomērīto akomodācijas atbildi (*Costa et al., 2011*). Piem. Ar kontaktlēcu akomodācijas atpalikšana = tuvuma atbilde (-4,67) - akomodācijas pieprasījums (-4,0) + tāluma refrakcija (-0,50D) = -0,17D akomodācijas Lag

Dati tika analizēti Microsoft Excel datorprogrammā, izmantojot aprakstošo statistiku. Pirmais mērķis ir apskatīt vai bez korekcijas iegūtie rezultāti ir statistiski būtiski atšķirīgi nekā ar kontaktlēcām. Tika izmantots divu faktoru dispersijas analīzes tests. Kad parādīts, ka ir atšķirība pret bez korekciju rezultātiem, tad savā starpā tika salīdzinātas izmantojamo kontaktlēcu veids (profils) un mērījuma attālums (25 vai 40 cm). Vidējo vērtību salīdzināšanai tika izmantots t-tests. Pirms tika pārbaudīts, ka mērījumu rezultātu biežuma sadalījums atbilst normāla sadalījuma likumībām. Iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar neparametrisko testu iegūtiem rezultātiem Wilcoxon signed-rank test vērtības ir līdzīgas.

Rezultāti un to analīze

Pieaugot akomodācijas pieprasījumam (samazinot fiksācijas distanci), akomodācijas atbilde paliēk arvien neprecīzāka. Samazinot fiksācijas attālumu, Lag palielinās. (Tarrant et al., 2008).

Salīdzinot akomodācijas atpalikšanas lielumu vidēji visiem dalībniekiem (n=10) bez korekcijas 2,5 D stimula gadījumā (Lag 40 cm attālumā) tā ir vienāda ar $1,05 D \pm 0,11 D$ un 4,0 D (Lag 25 cm attālumā) gadījumā – $1,53 D \pm 0,12 D$, starpība ir statistiski būtiska ($p=0,00006$). Attēlā Nr. 1. ir uzrādītas visas akomodācijas atpalikšanas vērtības dioptrijās dažāda profila un stipruma kontaktlēcās, eksperimentu veicot pie akomodācijas pieprasījuma 4.0D (lag 25cm) un 2,5D (lag 40cm).



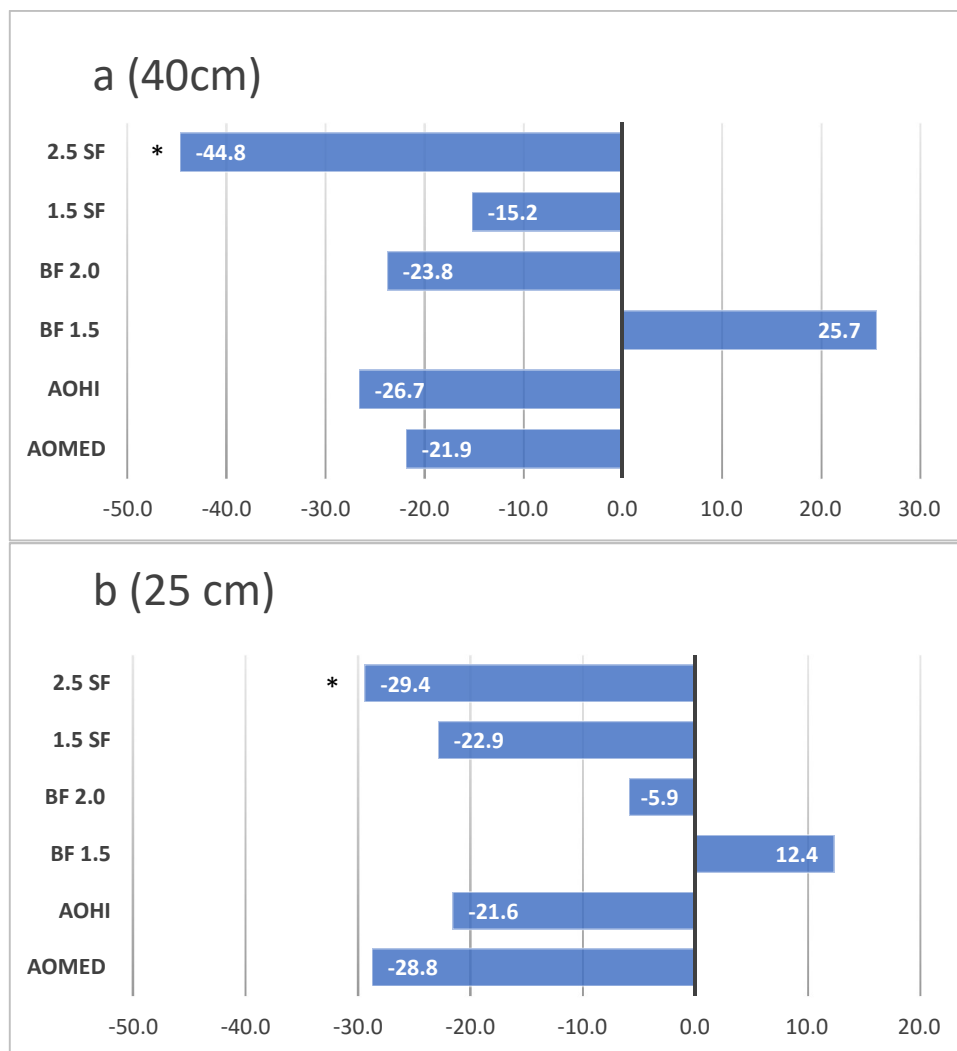
1. att. Akomodācijas atpalikšana.

Uzliekot multifokālo kontaktlēcu (tuvuma profils lēcas centrā) Air Optix Aqua ar vidējo aditīva lielumu (AOMed), uzrāda akomodācijas atpalikšanu $0,82 \pm 0,12 D$ stimulam 40cm un $1,09 \pm 0,18 D$ stimulam 25cm. Savukārt, Air Optix Aqua ar augsto aditīva lielumu (AOHi), uzrāda $0,77 \pm 0,11 D$ stimulam 40cm un $1,20 \pm 0,14 D$ stimulam 25cm. Statistiski būtisku akomodācijas atbildes izmaiņu izdodas pierādīt ar multifokālajām kontaktlēcām AOHi stimulam atrodoties 40 cm un ar multifokālajām kontaktlēcām AOMed stimulam atrodoties 25 cm attālumā. Aditīva stiprumi savstarpēji neuzrāda statistiski pierādāmu akomodācijas atpalikšanas izmaiņu, stimulam atrodoties 40 cm vai 25 cm attālumā.

Uzliekot multifokālo kontaktlēcu (tāluma profils lēcas centrā) Biofinity Multifocal ADD1,5D (BF 1.5), mēs ieguvām akomodācijas atpalikšanu $1,32 \pm 0,09 D$ stimulam 40cm un $1,72 \pm 0,15 D$ stimulam 25cm un ar Biofinity Multifocal ADD 2,0D (BF 2.0), mēs ieguvām $0,80 \pm 0,14 D$ stimulam 40cm un $1,44 \pm 0,18 D$ stimulam 25cm. Statistiski būtisku akomodācijas atbildes izmaiņu neizdodas pierādīt. Lag ietekmē multifokālās lēcas profila veids. Šajā gadījumā tāluma profils lēcas centrā nevis samazina Lag, bet drīzāk aktivizē akomodācijas aktivitāti, jeb Lead. Savukārt, aditīva stiprumi savstarpēji uzrāda statistiski pierādāmu akomodācijas darbības izmaiņas atšķirību, stimulam atrodoties tikai 40 cm attālumā, bet 25 cm attālumā, to nenovēro. Multifokālās kontaktlēcas stipruma profila izmaiņa ir atkarīga no aditīva stipruma. Savukārt akomodācijas atbilde ir atkarīga ne tikai no multifokālās kontaktlēcas dizaina, bet arī no fizioloģiskās zīlītes diametra lieluma (*Plainis et al.*, 2013).

Ar monofokālo kontaktlēcu + 1,50D sf. mēs ieguvām akomodācijas atpalikšanu $0,89 \pm 0,14 D$ stimulam 40cm un $1,18 \pm 0,19 D$ stimulam 25cm, bet ar + 2,50D sf. $0,58 \pm 0,12 D$ stimulam 40cm un $1,08 \pm 0,16 D$ stimulam 25cm. Pēc veiktajiem testiem tika iegūts, ka pozitīvā 1,50D stipra kontaktlēca būtiski neizmaina akomodācijas atpalikšanu salīdzinot ar rezultātu bez korekcijas, kas novērojams pie abiem akomodatīvajiem stimuliem. Savukārt, pozitīvā 2,50D stipra kontaktlēca statistiski būtiski

nozīmīgi izmaina akomodācijas atpalikšanu, kā arī šī izmaiņa ir nozīmīgi dažāda pie 2,5 un četru dioptriju stimula ($p=0,01$ un $p=0,04$). Monofokālais aditīva stiprums + 2,50D sf uzrāda būtisku ietekmi uz akomodācijas atpalikšanas izmaiņu abos fiksācijas attālumos, bet savstarpēji salīdzinot aditīva stipruma ietekmi uz Lag, tie nav nozīmīgi atšķirīgi. Tas nozīmē, lai ietekmētu akomodācijas atbildi, nepieciešams lietot aditīvus ar stiprumu lielāku par 1,5 D sf. Attēlā Nr. 2 a un b parādītas procentuālās akomodācijas atpalikšanas izmaiņas pret pieprasījumu un ar * norādīts datu atšķirību būtiskums.



2. att. Akomodācijas atpalikšanas izmaiņa procentos (%).

Kontaktlēcas, kuras ir pārmērīgi pozitīvas nodrošinās arī lielāku aditīva stiprumu, kaut arī tāluma korekciju nodrošinās lielāks radiālais attālums no centra. Pacientam būs nepieciešams lielāks zīlītes diametrs, lai nodrošinātu skaidru redzi tālumā. Ja tiek izvēlēta kontaktlēca ar vairāk negatīvu stipruma profilu, tās aditīva stiprums būs mazāks, nebūs nepieciešamības pēc lielāka zīlītes diametra, lai nodrošinātu skaidru redzi tālumā (Perez-Prados et al., 2016).

Visiem dalībniekiem tika noteikta akomodācijas atpalikšanas vērtība: palielinoties stimula akomodatīvajam pieprasījumam palielinās akomodācijas atpalikšana, salīdzinot iegūtos rezultātus 2,5 D un 4 D stimulam ir novērojama statistiski būtiska atšķirība ($p=0,005$).

Novērtējot multifokālo kontaktlēcu ietekmi uz akomodācijas atpalikšanu tika iegūts, ka ar kontaktlēcām, kurām profila centrā ir tuvuma distance novēro atpalikšanas samazināšanos. Savukārt, ar kontaktlēcām, kurām profila centrā ir tāluma distance - netika iegūtas statistiski būtiskas izmaiņas.

Kontaktlēcas ar tuvuma profilu centrā tuvuma distance abu pielietotu aditīvu gadījumā līdzīgi ietekmēja atpalikšanas samazināšanos, testa rezultāta vērtības nav statistiski būtiski atšķirīgas.

Salīdzinot aditīva efektivitāti sfēriskajām kontaktlēcām +1,50D un multifokālajām kontaktlēcām AO Med netika iegūta statistiski būtiska atšķirība abu stimulu gadījumā ($p=0,8$), līdzīgs rezultāts ir arī lielāku aditīvu (+2,50D un High) gadījumā ($p=0,48$).

Kontaktlēcas ar tāluma profilu centrā vidējā un lielāka aditīva gadījumā statistiski būtiski neizmainīja akomodācijas atpalikšanu pret atpalikšanu bez korekcijas (4D stimul $p=0,1$; 2,5D stimul $p=0,07$), bet, ja salīdzinām rezultātu starp abiem pielietotiem aditīviem, tas ir statistiski būtiski atšķirīgs (4D stimul $p=0,01$; 2,5D $p=0,005$).

Mūsu pētījuma rezultāti rāda, ka kontaktlēcas ar profilu, kur centrā ir tuvuma distance strādā efektīvi un varētu būt pielietotas akomodācijas atpalikšanas samazināšanai. Multifokālās kontaktlēcas ar profilu centrā- tāluma stiprums (BF) uzrādīja dažādus rezultātus atkarībā no pielietojamā aditīva lieluma. Izpētot citu autoru rezultātus, kontaktlēcas ar šādu profilu tieši pielieto perifērā defokusa mazināšanai, kas pēc teorijas mazina miopijas progresēšanu ilgtermiņā. Mūsu pētījums rāda, ka šajā gadījumā miopijas progresēšanu nevar tikt skaidrot ar akomodācijās nesabalansēto darbību, bet gan ar tieši perifēro tīklenes defokusu. Kurš no faktoriem ir būtiskāks miopijas progresēšanā, atbilde netiek iegūta, bet binokulāro disfunkciju gadījumā, kuru pamatā ir palielināta akomodācijas atpalikšana var pielietot multifokālās kontaktlēcas ar tuvuma profilu centrā, kas līdzvērtīgi izmaina akomodācijas atbildi ar monofokālo korekciju tuvumā.

Pateicības.

Darbs tapis projekta NR. A69-DL/1775 Redzes fizioloģijas un uztveres pētījumi un izvērtēšanas metodes (Redzes pārslodzes fizioloģijas pētījumi un redzes stresa diagnostikas metodikas izstrāde) ietvaros.

Literatūra

- Anderson, H. A., Glasser, A., Stuebing, K.K., Manny, R.E. (2009). Minus Lens Stimulated Accommodative Lag as a Function of Age. *Optometry and Vision Science*, 86(6): 685–694. doi: 10.1097/OPX.0b013e3181a7294f
- Benjamin, W.J. (2006). *Borish's Clinical Refraction*. Elsevier Health Sciences
- Costa, D.M., Ruiz-Alcocer, J., Radhakrishnan, H., Ferrer-Blasco, T., & Montes-Mico, R. (2011). Changes in accommodative responses with multifocal contact lenses: a pilot study. *Optometry and Vision Science*, 88(11), 1309-1316.
- Heather A. Anderson, Adrian Glasser, Karla K. Stuebing, Ruth E. Manny. (2009). Minus Lens Stimulated Accommodative Lag as a Function of Age, *Optometry and Vision Science*, 86(6): 685–694. doi: 10.1097/OPX.0b013e3181a7294f
- McBrient, N.A., & Millodot M. (1986). The effect of refractive error on the accommodative response gradient. *Ophthal. Physiol. Opt.*, 6, 145-149.
- Perez-Prados, R., Pinero, D.P., & Madrid-Costa, D. (2017). Soft multifocal simultaneous image contact lenses: a review. *Clin. Exp. Optom.* Mar;100(2):107-127; doi: 10.1111/cxo.12488
- Pettersson, A.L., Ramsay, M.W., Lundstrom, L., Rosen, R., Nilsson, M., Unsbo, P., & Brautaset, R. (2011). Accommodation in young adults wearing aspheric multifocal soft contact lenses. *Vision Science and Ophthalmic Optics*, 58(19-20), 1804-1808.
- Plainis, S., Atchison, D.A., & Charman, W.N. (2013). Power profiles of multifocal contact lenses and their interpretation, *Optometry and Vision Science*, 90(10), 1066-77.
- Remo'n, L., Pe'rez-Merino, P., Macedo-de-Arau'jo, R.J., Amorim-de-Sousa, A.I., & Gonza'lez-Me'ijome, J.M. (2020). Bifocal and Multifocal Contact Lenses for Presbyopia and Myopia Control, *Journal of Ophthalmology*, Article ID 8067657, 18 pages
<https://doi.org/10.1155/2020/8067657>

- Schor, C. (1998). The influence of interactions between accommodation and convergence on the lag of accommodation. *Ophthal. Physiol. Opt.* 19(2), 134-150.
- Qin Zhu, Yongsong Liu, Sean Tighe, Yingting Zhu, Xuanbo Su, Fabing Lu and Min Hu (2019). Retardation of Myopia Progression by Multifocal Soft Contact Lenses, *International Journal of Medical Sciences*, 16(2), 198-202. doi: 10.7150/ijms.30118
- Walline, J.J., Lindsley, K., Vedula, S.S., Cotter, S.A., Mutti, D.O., & J. Daniel Twelker, J.D. (2014). Interventions to slow progression of myopia in children. *Cochrane Database Syst Rev.* (12), doi:10.1002/14651858.CD004916.pub3.

Dažādu faktoru ietekme uz reakcijas laiku vizuālajā meklēšanā

Viktorija Andriksone, Tatjana Pladere, Gunta Krūmiņa
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
viktorija.andriksone@lu.lv

Anotācija

Tā kā vizuālā meklēšana norisinās ar redzes uztveres, tiešās uzmanības un kognitīvo procesu iesaisti, reakcijas laika noteikšana ļauj atspoguļot redzes uztveres atšķirības, izskatot attēlus divdimensionālajās un trīsdimensionālajās vidēs. Literatūras pārskata mērķis ir analizēt pēdējo gadu pētījumus un veikt apkopojumu par reakcijas laiku, kad cilvēki veic vizuālās meklēšanas uzdevumus uz dažādiem ekrāniem.

Jaunāko pētījumu pārskatā tiek atspoguļoti faktori, kas spēj būtiski ietekmēt reakcijas laiku vizuālajā meklēšanā, kad uzdevumi tiek veikti uz dažāda veida ekrāniem. Faktori ir saistīti ar fizikāliem stimulu parametriem un ar fizioloģiskiem parametriem. Turklāt reakcijas laiku ietekmē pētījumu eksperimentālais dizains un atbildes sniegšanas veids. Jauni pētījumi parāda, ka reakcijas laiks var atšķirties arī dažādās dalībnieku vecuma grupās un starp profesionālajiem meklētājiem. Zināšanas par reakcijas laiku ietekmējošiem faktoriem vizuālajā meklēšanā palīdzēs labāk izprast eksperimentālā uzdevuma veidošanas dizaina īpatnības parastiem ekrāniem un volumetriskiem ekrāniem.

Atslēgas vārdi: reakcijas laiks, vizuālā meklēšana, kontrasts, disparitāte, nogurums, atbildes sniegšanas veids.

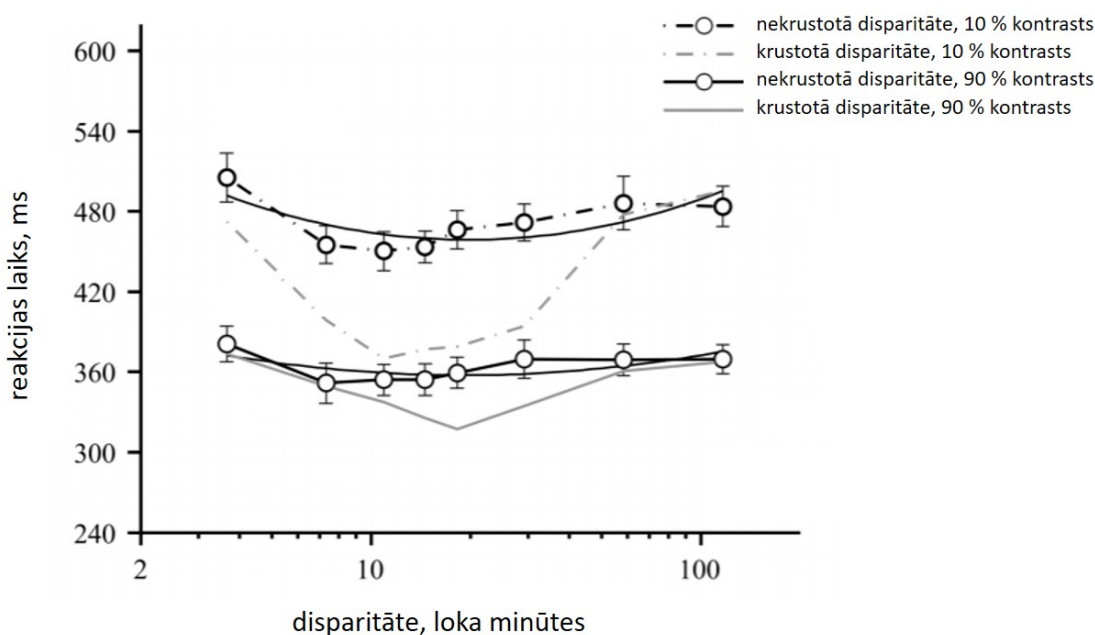
Literatūras pārskats

Līdz ar tehnoloģiju attīstību, pieejamās vizuālās informācijas attēlošanas metodes kļūst arvien plašākas un līdz ar to attēli ir komplicētāki. Daudzslāņu attēlu izskatīšana uz parastiem ekrāniem var novest pie paaugstinātas kognitīvās slodzes. Tiek spriests par trīs dimensiju vizuālizācijas ekrānu pielietojumu medicīnā un ikdienā, tomēr trūkst praktisko pierādījumu, lai novērtētu, vai ir iespējams efektīvi izmantot trīsdimensionālās vizualizācijas priekšrocības profesionālos nolūkos un ātri atrast nepieciešamo informāciju. Līdz ar to aktuāls jautājums ir, kā vizuālās informācijas atveidošana trīsdimensionālajā vidē ietekmē cilvēku reakcijas laiku.

Lielākoties pētījumi ir veikti cilvēkiem aplūkojot redzes stimulus uz parastiem, plakaniem ekrāniem. Ir samērā maz pētījumu, kur tiek izskatīta redzes uzmanība trīsdimensionālajā telpā. Uz doto brīdi ir zināms, ka informācijas daudzums un mērķa stimula pozīcija X un Y asi spēj ietekmēt reakcijas laiku vizuālajā meklēšanā. Jo tālāk no fiksācijas centra uz ekrāna atrados stimul, jo vairāk paildzinās reakcijas laiks. Līdzīgu situāciju novēro arī pie lielāka redzes stimulu skaita – jo lielāks informācijas apjoms redzams skatītājam, jo ilgāks kļūst arī reakcijas laiks, ja meklējama elements maz atšķiras no citiem elementiem (*Carrasco et al.*, 1995).

Izmantojot 3D ekrānus ir jāņem vērā, ka attēla stimuliem piemīt dziļuma efekts, tādēļ izskatot šādus redzes stimulus reakcijas laiks varētu atšķirties. Eksperimentāli tika novērtēts, kā attēla krustotās un nekrustotās disparitātes, kā arī stimula kontrasts ietekmē reakcijas laiku, veicot vizuālās meklēšanas uzdevumu (*Horváth et al.*, 2018). Uzdevumā izmantoja stereogrammas ar dažādu kontrastu (10 % un 90 %) reakcijas laika noteikšanai. Pētnieki noskaidroja, ka cilvēki ātri reaģē uz attēliem ar krustoto disparitāti un augstu kontrastu. Turklāt reakcijas laiks būtiski neatšķiras, kad cilvēki aplūko attēlus ar atšķirīgo nekrustotās disparitātes lielumu diapazonā no 3,7 līdz 120 loka minūtēm (skat. 1. att.). Samazinoties attēlu kontrastam, reakcijas laiks pieauga. Stimulu kontrasta

ietekme uz rezultātiem tika attēlota arī agrākajos pētījumos (Näsänen et al., 2001; Tollner et al., 2013) – reakcijas laiks ir īsāks, kad tiek izmantoti redzes stimuli ar augstu kontrastu.



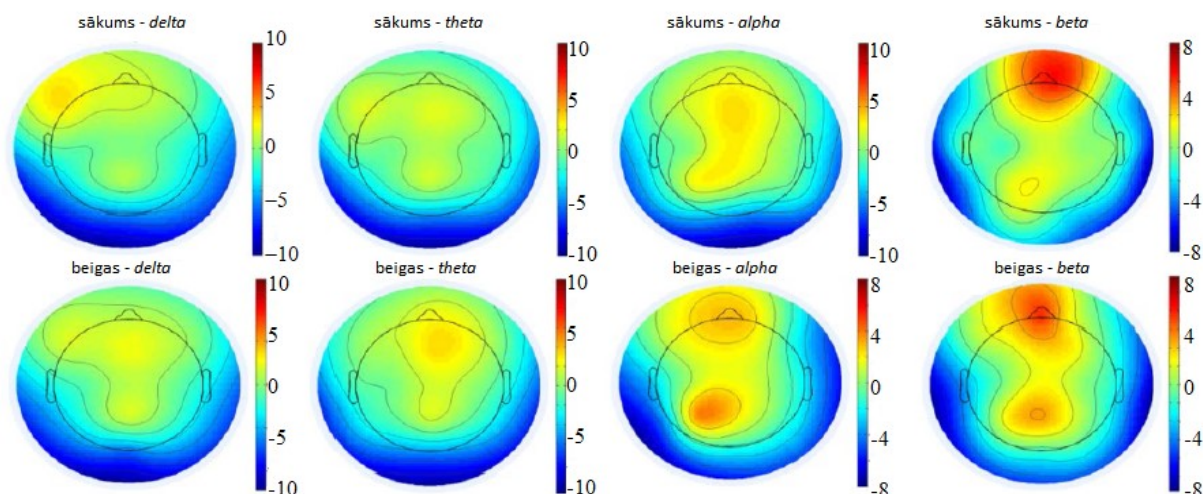
1. att. Vidējais reakcijas laiks vizuālajā meklēšanā (Horváth et al., 2018) pie dažādām binokulārajām disparitātēm attēlos ar zemu kontrastu (10 %) un ar augstu kontrastu (90 %).

Reakcijas laiku spēj būtiski ietekmēt arī fizioloģiskie parametri, tādi kā dalībnieku nogurums. Pētījumos (Faber et al., 2012; Xiao et al., 2015) parādīts, ka mentālais nogurums negatīvi ietekmē redzes uzmanību un reakcijas laiku. Tā kā parasti redzes uztveres pētījumi ietver daudzus uzdevumus, līdz ar eksperimenta ilgumu var pieaugt dalībnieku nogurums.

Fan un kolēģu (2015) pētījumā tika novērtēts reakcijas laiks un mentālais nogurums 60 minūšu garā vizuālās meklēšanas uzdevuma laikā. Smadzeņu reģionu analīzei tika analizēti smadzeņu aktivitātes parametri izmantojot elektroencefalogrāfiju (EEG), pēc kā sprieda par dalībnieku nogurumu. Turklāt dalībnieki novērtēja noguruma pakāpi pēc katras uzdevumu sesijas. Smadzeņu aktivitātes izmaiņas alfa un beta viļņos norādīja uz dalībnieka noguruma iestāšanos (skat. 2. att). Turklāt pētījuma dalībnieki atzīmējuši, ka izteiktas noguruma pazīmes parādās jau pēc 25 minūtēm no meklēšanas uzdevuma sākuma.

Subjektīvā noguruma novērtējums pakāpeniski pieauga laikā līdz 30 minūtēm no uzdevuma sākuma. Straujš pieaugums bija novērojams pēc 30 minūtēm, tomēr dalībnieku uzdevuma veikšanas precizitāte līdz ar sesijām nebija būtiski mainījusies (Fan et al., 2015). Tika norādīts, ka pastāv tendence reakcijas laikam pieaugt līdz ar uzdevumu sesijām, tomēr nozīmīgas atšķirības datus netika noteiktas. Reakcijas laika pieaugums varētu būt saistīts ar ilgāku redzes uzmanības pievēršanu. Guo et al. (2016) pētījumā EEG rezultāti norādīja, ka par redzes uzmanību atbildīgajā smadzeņu reģionā aktivitāte samazinās pēc 36 minūtēm no uzdevuma sākuma. Turklāt starp EEG rezultātiem un subjektīvu noguruma novērtējumu pastāv vidēji cieša korelācija.

Jāņem vērā, ka reakcijas laiks var atšķirties dalībniekiem ar dažādu meklēšanas pieredzi. Eksperimentāli parādīts, ka profesionāliem meklētājiem ir ātrākas reakcijas uz izmaiņām attēlos. Piemēram, Maeda et al. (2013) pētījumā, radiologu reakcijas laiks bija ievērojami īsāks, salīdzinot ar kontrolgrupas rezultātiem. Īss reakcijas laiks ir raksturīgs arī cilvēkiem, kuri regulāri izmanto datorlietotnes un spēlē datorspēles, kur ir svarīga ātra reakcija (Goldstein et al., 1997; Chiang et al., 2012; Stroud & Whitebourne, 2015).



2. att. Smadzeņu neirālās aktivitātes novērtējums vizuālās meklēšanas uzdevuma sākumā un beigās (Fan et al., 2015). Alpha viļņos ir novērojams aktivitātes intensitātes pieaugums uzdevuma beigās, savukārt beta viļņos – samazinājums, salīdzinot rezultātus ar uzdevumu sākumu. Delta un theta viļņos būtiskas izmaiņas netika novērotas.

Starp faktoriem, kas ietekmē reakcijas laika noteikšanu, nozīmīgu lomu ieņem arī eksperimenta dizains. Dažādu atbildes sniegšanas veidu izmantošana ietekmē laiku, ko dalībnieks patērē, lai veiktu motorās darbības atbildes sniegšanai. Vizuālās meklēšanas uzdevumos ierasti atbildes sniedz ar tastatūras vai ar datorpeles palīdzību. Wood et al. (2018) pētījumā, eksperimenta dizains paredzēja atbildes sniegšanu ar datorpeles palīdzību, kad stimuli uz ekrāna tika attēloti dažādās ekrāna pusēs. Dalībniekiem atkarībā no parādītā stimula pozīcijas uz ekrāna bija jāspiež labā vai kreisā datorpeles poga. Reakcijas laiks būtiski samazinājās, kad stimuls uz ekrāna un atbilstošās pogas virziens sakrita. Pētījuma autori šādus rezultātus interpretēja kā telpiskās saderības (*spatially compatible*) efektu. Turklāt reakcijas laiks pieauga līdz ar dalībnieku vecumu: dalībnieku grupā vecumā no 59 līdz 65 gadiem reakcijas laiks vidēji pieauga par 120 milisekundēm vairāk, salīdzinot ar gados jaunākiem dalībniekiem (vecumā no 18 līdz 24 gadiem). Darba autori to skaidro ar vecāko pētījuma dalībnieku samazināto pirkstu darbības ātrumu.

Kopumā jaunu pētījumu atziņas ļauj labāk izprast reakcijas laika ietekmējošos faktorus, kā arī palīdz pētījuma metožu izvēlē, lai pētītu redzes uztveri cilvēkiem aplūkojot attēlus uz dažādiem ekrāniem. Jāņem vērā, ka reakcijas laiks pieaug samazinoties stimulu kontrastam un binokulārās disparitātes ieguldījumam dziļuma uztverē. Līdz ar pētījuma eksperimenta ilgumu, var ievērojami pieaugt reakcijas laiks dalībnieku noguruma dēļ. Tādēļ pētījuma sesiju ilgumam nevajadzētu pārsniegt 30 minūtes. Reakcijas laika pētījumos ieteicams izvēlēties reakcijas laika noteikšanas metodi tā, lai samazinātu roku darbības atbildes ietekmi uz rezultātiem.

Pateicība

Pētījumu atbalsta Latvijas Universitāte, SIA “LightSpace Technologies” (projekts “Volumetriskā displeja 3D attēla ietekmes uz cilvēka redzes sistēmu novērtējums”, Nr. ZD2019/20807). Pētījumu atbalsta arī Eiropas Reģionālās attīstības fonds (projekts “Kompaktas augsta spožuma lāzeru attēlprojekcijas sistēmas izveide pielietojumiem volumetriska tipa 3D displeju sistēmās”, Nr. 1.1.1.1/18/A/179).



Literatūra

- Carrasco, M., Evert, D. L., Chang, I., & Katz, S. M. (1995). The eccentricity effect: Target eccentricity affects performance on conjunction searches. *Perception & Psychophysics*, 57(8), 1241-1261.
- Chiang, I. T., Tsai, J. C., & Chen, S.T. (2012). Using Xbox 360 Kinect games on enhancing visual performance skills on institutionalized older adults with wheelchairs. *2012 IEEE Fourth International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning*, 263-267.
- Faber, L. G., Maurits, N. M., & Lorist, M. M. (2012). Mental fatigue affects visual selective attention. *PLoS ONE*, 7(10), e48073.
- Fan, X., Zhou, Q., Liu, Z., & Xie, F. (2015). Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search. *Bio-Medical Materials and Engineering*, 26(s1), 1455-1463.
- Finlayson, N. J., Remington, R. W., Retell, J. D., & Grove, P. M. (2013). Segmentation by depth does not always facilitate visual search. *Journal of Vision*, 13(8), 11.
- Goldstein, J., Cajko, L., Oosterbroek, M., Michielsen, M., Van Houten, O., & Salverda, F. (1997). Video games and the elderly. *Social Behavior and Personality: An International Journal*, 25(4), 345-352.
- Guo, Z., Chen, R., Zhang, K., Pan, Y., & Wu, J. (2016). The impairing effect of mental fatigue on visual sustained attention under monotonous multi-object visual attention task in long durations: An event-related potential based study. *PLoS ONE*, 11(9), e0163360.
- Horváth, G., Nemes, V. A., Radó, J., Czigler, A., Török, B., Buzás, P., & Jandó, G. (2018). Simple reaction times to cyclopean stimuli reveal that the binocular system is tuned to react faster to near than to far objects. *PLoS ONE*, 13(1), e0188895.
- Maeda, E., Yoshikawa, T., Nakashima, R., Kobayashi, K., Yokosawa, K., Hayashi, N., Masutani, Y., Yoshioka, N., Akahane, M., Ohtomo, K. (2013). Experimental system for measurement of radiologists' performance by visual search task. *SpringerPlus*, 2(1), 607.
- Näsänen, R., Ojanpää, H., & Kojo, I. (2001). Effect of stimulus contrast on performance and eye movements in visual search. *Vision Research*, 41(14), 1817-1824.
- Stroud, M. J., & Whitbourne, S. K. (2015). Casual video games as training tools for attentional processes in everyday life. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 18(11), 654-660.
- Tollner, T., Conci, M., Rusch, T., & Muller, H. J. (2013). Selective manipulation of target identification demands in visual search: The role of stimulus contrast in CDA activations. *Journal of Vision*, 13(3), 23.
- Xiao, Y., Ma, F., Lv, Y., Cai, G., Teng, P., Xu, F., & Chen, S. (2015). Sustained Attention is Associated with Error Processing Impairment: Evidence from Mental Fatigue Study in Four-Choice Reaction Time Task. *PLOS ONE*, 10(3), e0117837.
- Woods, D. L., Wyma, J. M., Yund, E. W., Herron, T. J., & Reed, B. (2015). Age-related slowing of response selection and production in a visual choice reaction time task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(193), 12.

Acu kustības simulēto un īsto telpisko attēlu aplūkošanā

Linda Krauze, Vita Konošonoka, Tatjana Pladere, Gunta Krūmiņa
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
linda.krauze@lu.lv

Anotācija

Telpiskās vizualizācijas tehnoloģijas mūsdienās arvien attīstās un to turpinās darīt arī nākotnē. Tādas iekārtas, kādas ir šobrīd, nebija pirms divdesmit gadiem. Tāpēc nepieciešami pētījumi, lai izvērtētu ne tikai jaunas iekārtas, to sniegtās priekšrocības un atklātu trūkumus, bet arī jēgpilni izmantotu šīs tehnoloģijas kognitīvo procesu un darba spēju izpētē. Šajā literatūras pārskatā tiek apkopoti jaunākie pētījumi par acu kustībām simulēto un īsto telpisko attēlu aplūkošanā. Pārskata mērķis ir atspoguļot acu kustību pētījumu aktualitāti un nozīmi, novērtējot cilvēka acu kustības digitāli telpisku attēlu aplūkošanā. Turklāt tiek apspriesti tehniski izaicinājumi šādu pētījumu izstrādē un datu iegūšanā.

Atslēgas vārdi: acu kustības, telpiskie attēli, kalibrēšana, volumetriskais ekrāns

Literatūras pārskats

Acu kustību pētniecība aizsākās pagājušā gadsimta sākumā. Viens no pirmajiem zinātniskiem, kas norādīja, ka acs atrodas nepārtrauktā kustībā ir *Stratton* (1906). Viņš arī teicis, ka acu kustības ir redzes sistēmas risinājums, analizējot pieejamo vizuālās informācijas daudzumu ar ierobežotiem apstrādes resursiem. Tāpēc acu kustību analīze ir veids kā objektīvi pētīt vizuālo / redzes uzvedību (*visual behavior*), kā arī saprast kur, kāpēc un kad skatiens tiek fiksēts, un kā notiek apkārtējās pasaules uztvere (*Abdallahi, Perreira Da Silva & Courboulay, 2007*). Sākumā acu kustību analīze balstījās uz acu kustību izpēti lasīšanā. Acu kustību pētniecības metodes laika gaitā ir pakāpeniski pilnveidotas un papildinātas, lai iegūtu precīzākus acu kustību pieraksta datus cilvēkiem ne tikai skatoties uz vienā plaknē esošiem attēliem, bet arī lai analizētu acu kustības un skata fiksācijas īstajā fiziskajā trīsdimensionālajā (3D) telpā. Acu kustību iekārtu izmantošana un acu kustību izvērtēšana tiek pielietota arvien biežāk. Piemēram, acu kustības tiek analizētas kognitīvo procesu izpētē, lai izvērtētu dažādas uztveres likumsakarības. Mārketingā acu kustības tiek pētītas, lai izvērtētu dažādus faktorus, kas piesaistītu patērētāju uzmanību (*Abdallahi, Perreira Da Silva & Courboulay, 2007*). Medicīnā izmanto acu kustību izvērtēšanu, piemēram, lai uzlabotu neiroloģisko saslimšanu diagnosticēšanu (*Freeman et al., 2017*).

Mūsdienās arvien biežāk tiek pielietoti simulēti telpiski attēli, piemēram, medicīnā, izglītībā un izklaidē, tāpēc arī pētniecība šajā virzienā tiek attīstīta vairāk. Pēdējo divdesmit gadu laikā strauji palielinās pētījumu skaits, kuru ietvaros tiek noteiktas acu kustības simulētu telpisku attēlu aplūkošanas gadījumos. Tiek pētīts, kā mainās acu kustības veicot dažāda veida uzdevumus īstā un simulētā vidē (*Pfeil et al., 2018*). Acu kustību izvērtēšana tiek izmantota arī izstrādājot jaunas vizualizācijas tehnoloģijas. Demonstrētās informācijas uztveres izpēte ļauj uzlabot tehnoloģijas, lai iegūtu pēc iespējas labāku lietotāju uztveres pieredzi, tuvāku dabīgiem skatīšanās apstākļiem (*Piumsomboon et al., 2017*).

Acu kustību pētījumi notika jau pagājušā gadsimtā, tomēr acu kustību izvērtēšana simulētu telpisko attēlu aplūkošanā aizsākusies tikai šajā gadsimtā (*Duchowski et al., 2000*). Tas nozīmē, ka arī pašas tehnoloģijas šajā laikā ir attīstījušās un līdz ar to šādu pētījumu metodes tiek pakāpeniski uzlabotas. Pastāv dažādi izaicinājumi, kas saistīti ar telpisku attēlu demonstrēšanas iekārtām un to ietekmi uz redzes funkcijām.

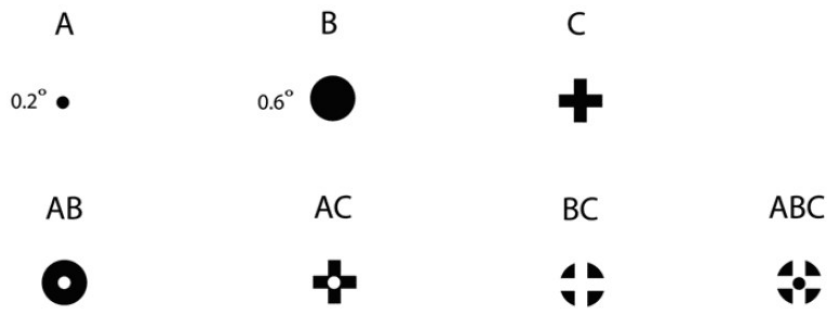
Pētījumos, kas balstīti uz simulētu 3D attēlu aplūkošanu, kā viens no būtiskākajiem redzes traucējumiem tiek minēts akomodācijas-verģences konflikts. Tas nozīmē, ka īstajā vidē acu vērsums

sakrīt ar fokusa attālumu, bet simulētas vides apstākļos tikai acu vērsums nosaka dziļuma uztveres efektivitāti, jo fokusa attālums ir nemainīgs – līdz ekrāna plaknei (*Hoffman et al.*, 2008). Šīs simulētās vides apstākļos novērojamas parametru un īpašību atšķirības, kas neatbilst īstās vides apstākļiem. Rezultātā tas ietekmē redzes funkcijas un cilvēka pašsajūtu, radot redzes diskomfortu, spiediena sajūtu acīs, samazinot darbaspējas. Arī vizuālās un vestibulārās sistēmas konflikts var radīt redzes diskomfortu, tāpat kā jūras slimības gadījumā, jo arī simulētajā vidē vizuālās telpas uztvere atbilst tādiem pašiem redzes uztveres nosacījumiem kā reālās vides apskates gadījumā. Tādēļ īsa simulētā attēla aizkavēšanās gadījumā, veicot galvas kustības, attēlu aplūkošana var radīt reibšanu un sliktu pašsajūtu (*Clay, König & König*, 2019). *Vienne et al.* (2014) pētījumā pierādīts, ka simulētu telpisku attēlu apskates brīdī, kad novērojams akomodācijas-verģences konflikts, verģences acu kustības kļūst lēnākas un ar mazāku amplitūdu, kā arī latence jeb laika periods līdz acu kustību uzsākšanai ir aptuveni par 54 ms ilgāks nekā reālās vides apskates gadījumā. Tomēr latences starpība starp konverģences un diverģences acu kustībām samazinās simulētas vides apstākļos, kaut gan reālos apstākļos konverģences acu kustību uzsākšanai nepieciešams ilgāks laiks nekā veicot diverģences acu kustības (*Vienne et al.*, 2014).

Pfeil et al. (2018) izvērtēja acu un galvas kustību koordināciju fizikālā un simulētā realitātē. Viņi izvērtēja cik bieži stimula apskates laikā tika kustinātas tikai acis un cik bieži tiek kustināta galva. Acu un galvas kustības tika iedalītas divos veidos – klasiskais (sākumā kustas acis un tikai tad seko galvas kustība) vai paredzamais (sākumā galva un tikai tad acis). Rezultāti parādīja, ka izmantojot virtuālās realitātes (VR) brilles vairāk tiek kustināta galva nekā skatoties dabiskos apstākļos un minimāli tiek veiktas acu kustības neatkarīgi no tā, vai tika pildīts stimula aplūkošanas uzdevums vai lasīšanas uzdevums virtuālajā realitātē. Fizikālās realitātes gadījumā nedaudz vairāk tiek veiktas acu kustības un mazāk galvas kustības. Tas var tikt izskaidrots ar to, ka virtuālās realitātes apstākļos ir mazāks redzes lauks un vairāk informācijas var iegūt kustinot galvu, kaut gan izmantojot VR brilles kustību apjomu varētu samazināt briļļu radītais papildu svars (*Pfeil et al.*, 2018).

Viens no galvenajiem izaicinājumiem acu kustību izvērtēšanai, telpisku attēlu apskatīšanā no pētījumu izstrādes un datu iegūšanas puses, ir skata virziena parametru iegūšana. Acu kustību pieraksta iekārta sniedz datus tikai divdimensiju (2D) telpā, bet lai iegūtu telpiskās dziļuma koordinātas nepieciešami dažādi aprēķini, ko iegūst veicot aprēķinus vai izstrādājot programmatūru, kas šos aprēķinus veic automātiski. Tomēr, lai iegūtie rezultāti būtu ticami, jābūt precīzai kalibrēšanai. Tad, izmantojot 2D koordinātas un balstoties uz acu vērsuma izmaiņām, varētu noteikt abu acu redzes asu krustpunktus. Lai iegūtu 3D skata virziena vektorus, sākumā tiek iegūti normalizēti skata virziena dati 2D telpā. 3D skata virziena vektori iegūti zinot attālumu līdz ekrāna plaknei, starpzīlīšu attālumu, skata virziena koordinātas un acu atrašanās vietas koordinātas. Aprēķinos iegūto datu precizitāti ietekmē daudzi faktori, kas saistīti gan ar pašiem mērījumiem, gan ar iegūtiem datiem un to tālāku apstrādi (*Duchowski et al.*, 2002). Aprēķini ir nepieciešami, lai pēc iespējas precīzāk noteiktu skata virziena koordinātas ne tikai skatoties taisni, bet arī novirzot skatienu uz kādu citu pusi, jo tādā gadījumā redzes asis tiek pagrieztas dažādā apjomā un attālumi, kurā redzes asis krustojas nav vienāda garuma.

Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā tiek izstrādāts pirmais pētījums, lai izvērtētu acu kustības un skata fiksācijas telpisku attēlu aplūkošanā uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna. Viens no būtiskākajiem izaicinājumiem ir precīzas kalibrēšanas programmas izveidošana redzes stimuliem uz dažādām ekrāna plaknēm. Izstrādāta deviņu punktu kalibrēšanas programma, izmantojot eksperimentāli pārbaudītu stimulu stabilas fiksācijas iegūšanai balstoties uz *Thaler et al.* (2013) pētījumu. Viņi pārbaudīja, kurš no fiksācijas stimuliem nodrošina stabilu fiksāciju un būtu jāizmanto eksperimentos. Rezultāti parādīja, ka stabilākā fiksācija tiek nodrošināta ar ABC fiksācijas stimulu (skat. 1.att.).



1. att. Thaler et al. (2013) pētījumā izmantotie fiksācijas stimuli.

Fiksācijas stabilitāte tika izvērtēta arī nodaļā, izmantojot 1. attēla C, AB, AC un ABC stimulus. Tomēr pirmie rezultāti liecina, ka nav būtiskas atšķirības stabilas fiksācijas iegūšanā atkarībā no stimula veida, ja šie kalibrēšanas stimuli tiek demonstrēti vienu sekundi. Kā parādīja Thaler et al. pētījums, stabilākā fiksācija ar ABC stimulu tiek iegūta, ja stimuls tiek demonstrēts 10 sekundes, bet demonstrējot stimulu īsāku laika periodu būtiskas atšķirības netiek iegūtas (Thaler et al., 2013). Izmantotās acu kustību pierakstīšanas iekārtas precizitāte arī varētu ietekmēt rezultātus.

Acu kustību izvērtēšana telpisko attēlu aplūkošanā aizsākusies pirms 20 gadiem. Jaunos pētījumos analizē acu kustības simulēto un īsto telpisko attēlu aplūkošanā, lai spriestu par kognitīvajiem procesiem un darba spējām, kad cilvēki izmanto jaunus ekrānus. Turpmāk tas ļaus pilnveidot telpiskās vizualizācijas tehnoloģijas, lai tās būtu jēgpilni pielietojamas profesionālajās jomās.

Pateicība

Pētījumu atbalsta Latvijas Universitāte, SIA “LightSpace Technologies” (projekts “Volumetriskā displeja 3D attēla ietekmes uz cilvēka redzes sistēmu novērtējums”, Nr. ZD2019/20807). Pētījumu atbalsta arī Eiropas Reģionālās attīstības fonds (projekts “Kompaktas augsta spožuma lāzeru attēlprojekcijas sistēmas izveide pielietojumiem volumetriska tipa 3D displeju sistēmās”, Nr. 1.1.1.1/18/A/179).



Literatūra

- Abdallahi, M., Perreira Da Silva, M. & Courboulay, V. (2007). *A history of eye gaze tracking*. HAL, 1-17.
- Clay, V., König, P., & König, S. (2019). Eye tracking in virtual reality. *Journal of Eye Movement Research*, 12(1), 1-18.
- Duchowski, A. T., Medlin, E., Cournia, N., Gramopadhye, A., Melloy, B., & Nair, S. (2002). 3D eye movement analysis for VR visual inspection training. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research & Applications – ETRA '02*.
- Duchowski, A. T., Shivashankaraiah, V., Rawls, T., Gramopadhye, A. K., Melloy, B. J., & Kanki, B. (2000). Binocular eye tracking in virtual reality for inspection training. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research & Applications – ETRA '00*.
- Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, 47(14), 2393-2400.

- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 33.
- Pfeil, K., Taranta, E. M., Kulshreshth, A., Wisniewski, P., & LaViola, J. J. (2018). A comparison of eye-head coordination between virtual and physical realities. *Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception – SAP '18*.
- Piumsomboon, T., Lee, G., Lindeman, R. W., & Billinghamurst, M. (2017). Exploring natural eye-gaze-based interaction for immersive virtual reality. *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*.
- Stratton, G. M. (1906). Symmetry, linear illusions, and the movements of the eye. *Psychological Review*, 13(2), 82-96.
- Thaler, L., Schütz, A. C., Goodale, M. A., & Gegenfurtner, K. R. (2013). What is the best fixation target? The effect of target shape on stability of fixational eye movements. *Vision Research*, 76, 31-42.
- Vienne, C., Sorin, L., Blondé, L., Huynh-Thu, Q., & Mamassian, P. (2014). Effect of the accommodation-vergence conflict on vergence eye movements. *Vision Research*, 100, 124-133.

Kritiskās fūzijas frekvences uztvere pie dažādiem tīklenes apgaismojumiem

Sintija Sproģe, Evita Kassaliete un Sergejs Fomins
*Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
sintija_sproge@inbox.lv*

Anotācija

Darbs tika veidots ar mērķi noskaidrot kā kritiskās fūziju frekvences (KFF) sliexsnis korelē ar cilvēka lasīšanas spējām. Tika izvērtēti citi faktori kā tumsas adaptācija, stimula ekspozīcijas laiks, redzes leņķis, mācīšanās efekts un nogurums, lai novērtētu efektīvākos parametrus darbam ar konkrēto iekārtu. Tas potenciāli varētu palīdzēt veikt apjomīgākus pētījumus nākotnē.

Ēksperimentā tika izmantota iekārta, kas ģenerē KFF ar frekvences samazināšanas metodi. Lai mainītu tīklenes apgaismojumu, tika izmantoti oklūderi ar dažāda izmēra atvērumiem.

Rezultāti rāda, ka KFF pieaug lineāri tīklenes apgaismojuma logaritmam un sliexsnis negatīvi korelē ar lasīšanas ātrumu cilvēkiem bez disleksijas.

Atslēgas vārdi: kritiskā flikera fūzija, tīklene, disleksija

Literatūras pārskats

Galvenos redzes sistēmas neirālos ceļus veido parvocelulārā un magnocelulāra sistēma. Parvo saņem impulsus no vālītēm un atbild par redzi pie augstām telpiskām frekvencēm, savukārt magno saņem impulsus gan no vālītēm, gan nūjiņām un labi uztver augstās temporālās frekvences (*Covington & Al Khalili, 2019*). Tiek izdalīta fotopiskā un skotopiskā redzes sistēma, kur katrā dominē cits fotoreceptoru veids. Par vizuālās informācijas apstrādi atbild temporālā un telpiskā izšķirtspēja. Kritiskās flikera frekvences (KFF) sliexsnis mēra tādu temporālo frekvenci pie kuras redzes sistēma spēj izšķirt laikā mainīgu stimulu no nekustīga. To ietekmē stimula spilgtums, krāsa, izmērs, ekscentritāte, adaptācija, fizioloģiskie faktori u.c. KFF uztvere fotopiskos apstākļos, atkarībā no stimula intensitātes, seko *Ferry-Porter* likumam un pieaug lineāri flikera stimula intensitātes logaritmam (*Tyler & Hamer, 1990*).

Chase et al. (2003) secina, ka teksta uztverē pie normāla kontrasta (>10%) galvenokārt dominē magnocelulārais ceļš. Un tieši dorsālā sistēma iespējams ir atbildīga par sarežģītu lasāmo uzdevumu apstrādi, piemēram, jaunu vārdu apguvi (*Cohen et al., 2008*). Kā arī pētījumā ar flikeri tiek iegūta spēcīga korelācija starp KFF un vārdu, ne-vārdu un ne-lingvistisku dekodēšanu populācijai bez disleksijas (*Hallowey et al., 2013*).

Disleksija ir visizplatītākā mācīšanās grūtību forma, kas skar vismaz 10% no populācijas (*Sprenger-Charolles et al., 2011*), bet tās iemesls vēl joprojām ir strīdīgs jautājums zinātnē. Lai gan fonoloģiskā deficīta teorija ir visplašāk atzītā, tā neizskaidro citu pētījumu rezultātus, kas norāda uz samazinātu magnocelulārās sistēmas jutību cilvēkiem ar disleksiju. Magnocelulārā deficīta teoriju atbalsta pētījums, kurā cilvēkiem ar disleksiju ir samazināti redzes izsauktie potenciāli (VEP) pie ātriem un zema (1%) kontrasta stimuliem, bet normāla atbilde pie lēniem vai augsta kontrasta (15%) stimuliem (*Livingstone et al., 1991*). Kā arī autopsijas rezultāti atklāj 25% vidējo šūnu laukuma samazinājumu magnocelulārajā slānī attiecībā pret kontroli (*Livingstone et al., 1991*). Cilvēkiem ar disleksiju tiek iegūti ievērojami zemāks koherentas kustības un KFF uztveres sliexsnis pie augstām frekvencēm (*Talcott et al., 1998*). Arī pētījums, pielietojot funkcionālo magnētisko rezonansi (fMRI), uzrāda samazinātu smadzeņu aktivitāti V1, V5 un blakus esošajā kustību jutīgajā apgabalā, kas domājams saņem pamatā magnocelulārā caļa ieguldījumu (*Demb et al., 1998*).

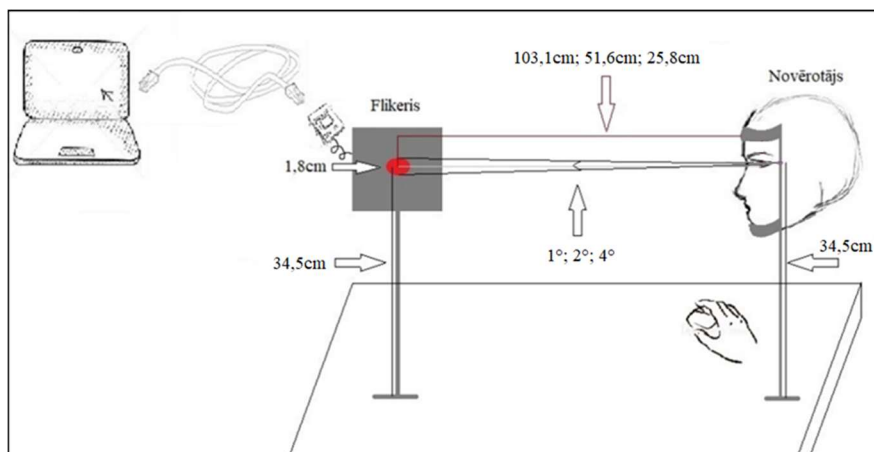
Pieņemot, ka psihofizikāls ēksperiments ar flikeri varētu nošķirt cilvēkus ar specifiskām mācīšanās grūtībām, tas varētu tikt izmantots bērnu skrīningam. Iesākumā ir vērtīgi izvērtēt

efektīvākos parametrus ar esošo iekārtu, pārbaudīt vai iespējams kontrolēt tīklenes apgaismoju ar oklūderiem un kādā mērā KFF pie katra no tiem korelē ar lasīšanas spējām cilvēkiem bez disleksijas.

Metodika

Dalībnieki: 6 (27-32.g.v.), 2 vīrieši un 4 sievietes ar dzimto valodu latviešu. Visiem dalībniekiem ir binokulārs redzes raksturs un monokulārais redzes asums 0,8-1,0 decimālajā sistēmā ar korekciju, ja nepieciešama. Neviens nenorāda gaismas jutīgu epilepsiju, ambliopiju vai acu saslīmšanas.

Pētījuma iekārta ir integrējoša sfēra ar atvērumu 1,8 cm diametrā, kurā ir ievietota gaismas emitējoša diode (660 nm, 51 cd/m²), kas savienota ar mikroshēmu un datoru. Izveidoti trīs oklūderi ar atvērumiem 1,5mm, 3mm un 4mm diametrā. Katram dalībniekiem tiek pielāgots zoda un pieres balsts fiksētā augstumā (34,5cm) attiecībā pret acs zīlīti un centrāli pret stimulu (skat. 1. att.). Sergeja Fomina veidotā datorprogramma liek diodei mirgot, sākot ar 62,5Hz frekvenci, kas sarūk līdz 10Hz. Starp mērījumiem LED tiek izslēgts uz 2 sekundēm. Norises telpā ir pēc iespējas samazināts apkārtējais apgaismojums. Uzdevumi tiek veikti monokulāri ar motoro vadošo aci. Proves rāmī tiek ievietots nepieciešamais oklūders ar atvērumu, savukārt melns, necaurspīdīgs oklūders nevadošajai acij. Tiek dota instrukcija pēc iespējas ātrāk pamanīt LED mirgošanu un par to paziņot, piespiežot bezvadu datorpeles taustiņu. Visu testu mainīgie parametri ir randomizēti, bet vienādi starp dalībniekiem.



1.att. Kritiskās fūzijas frekvenences uzdevumu shematisks attēlojums.

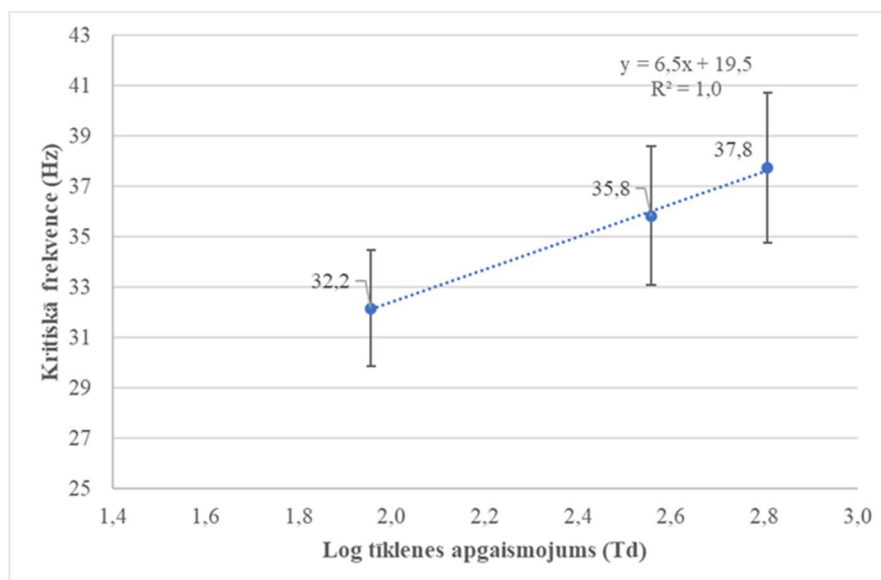
Papildus tiek mērīts teksta skaļš lasīšanas ātrums, kas noteikts ar trīs lasāmajām kartēm un atbilst vidējai lasāmības sarežģītībai. Šīs kartes ir veidotas uz baltām A4 lapām ar melniem burtiem 16pt izmērā, *Times New Roman* fontā un tiek lasītas binokulāri 30-40cm attālumā. Tiek izvērtētas arī dalībnieku vizuālās vārdu atpazīšanas un nevārdu kodēšanas spējas, pielietojot tam paredzētu datorizētu programmu, kurā ir 28 vārdi ar garumu 4-10 burti un 21 nevārds ar 4.-6. burtu skaitu. Katrs vārds tiek prezentēts atsevišķi ar ekspozīcijas laiku 67ms un veidots *Baltic Sans* fontā ar 24pt burtu izmēru. Testa veikšana notiek binokulāri, ap 50cm attālumā no monitora.

Rezultāti un to analīze

Pārbaudot 20 minūšu tumsas adaptācijas ietekmi uz dalībnieka KFF sliekšni, tiek secināts, ka, veicot 10 nepārtrauktus mērījumus ar un bez tumsas adaptācijas, netiek iegūta būtiska atšķirība, $t(49)=1,84$, $p=0,001$. Lai noteiktu efektīvāko stimula ekspozīcijas daudzumu, diviem dalībniekiem tika pārbaudīts KFF pie trīs dažādām 60 mērījumu sērijām (6x10; 2x30; 3x20). Rezultāti uzrāda individuālas atšķirības starp dalībniekiem, bet tendence abiem norāda uz lielāku datu izkliedi pie 6x10 mērījumu formāta veikšanas. Ņemot vērā arī to, ka šis formāts ir laikietilpīgāks un potenciāli varētu pastiprināt nogurumu, tas netika izmantots turpmākajiem testiem, bet tika brīvi izvēlēts veikt 30 nepārtrauktus mērījumus pirms katras pauzes. Pētījuma beigās, salīdzinot visu dalībnieku vidējo KFF sliekšni pie pirmajiem desmit mērījumiem pret pēdējiem desmit iekš katras nepārtrauktās 30 mērījumu sērijas, neuzrādās statistiski nozīmīga atšķirība ($p<0,05$). Tas liecina, ka šāds formāts nerada būtisku nogurumu.

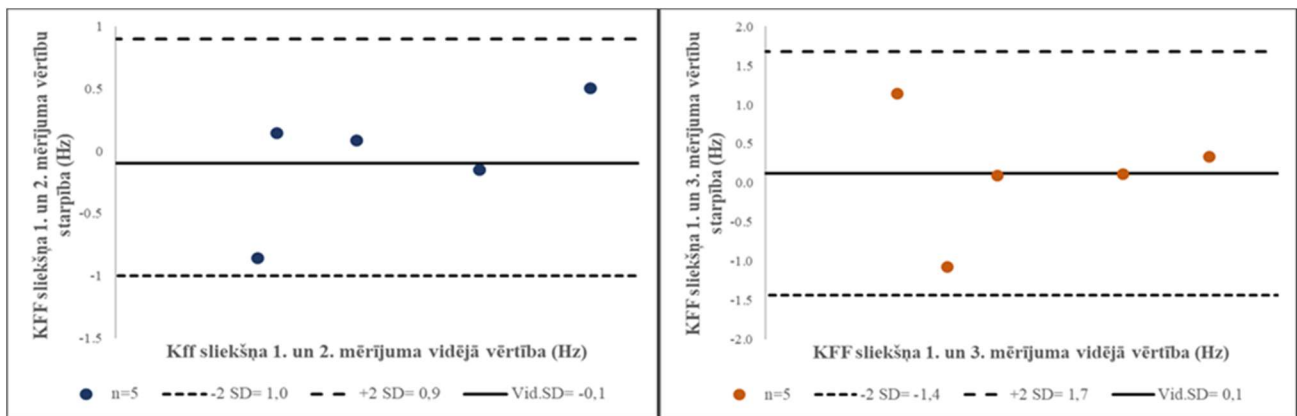
Lai izvērtētu efektīvāko redzes leņķi, tika veikti KFF mērījumi pie 1°, 2° un 4° stimula leņķiskā izmēra. Iegūstam, ka, pieaugot redzes leņķim, lineāri palielinās KFF vērtība ($R^2=1,0$) un veidojas statistiski būtiska atšķirība starp izmantotajiem, leņķiskajiem izmēriem ($p<0,001$). Papildus tiek secināts, ka 1° redzes leņķis ir visneatbilstošākais pie esošajiem pētījuma parametriem, jo tas ir vislaikietilpīgākais un ir viens dalībnieks, kas LED mirgošanu šajā redzes leņķī neuztver pat pie 10Hz robežas.

Tīklenes apgaismojuma kontrolēšanai tika izmantoti trīs oklūderi ar 1,5mm, 3mm vai 4mm atvērumu diametrā. Katra dalībnieka individuālais sniegums norāda uz statistiski nozīmīgu KFF pieaugumu, palielinoties oklūdera atvēruma diametram ($p<0,001$). Kā arī visu dalībnieku vidējais KFF sliekšnis uzrāda būtisku atšķirību pie katra no oklūderiem ar *one-way* ANOVA ($F(2,12)=84,5$, $p<0,01$). Rezultāti saskan ar literatūru un seko *Ferry-Porter* likumam (*Tyler & Hamer*, 1990), jo KFF sliekšņa vērtība pieaug lineāri tīklenes apgaismojuma logaritmam, $R^2=1,0$ (skat. 2. att.).



2.att. Tīklenes apgaismojuma ietekme vidēji visiem dalībniekiem pie katra no oklūderiem un 2° leņķa.

Katrs dalībnieks veica 180 mērījumu sēriju trīs reizes vienā dienā. Veicot pāra paraugu t-testa analīzi visiem dalībniekiem, netiek iegūta būtiska KFF sliekšņa izmaiņa starp pirmo un otro mērījumu piegājienu, $t(9)=0,71$, $p<0,05$, tāpat arī starp pirmo un pēdējo, $t(9)=0,38$, $p<0,05$. Analīze ar *Bland-Altman* uzrāda, ka abos gadījumos visu dalībnieku rezultāti atrodas 95% intervāla robežās (skat. 3. att.). Šāds rezultāts norāda, ka nav būtisks mācīšanās efekts, kas uzlabotu sniegumu, pildot vairākkārt, kā arī nav vērojams statistiski nozīmīgs nogurums.



3.att. 1. un 2. mērijuma (pa kreisi) un 1. un 3. mērijuma (pa labi) sēriju atkārtotamības analīze pēc *Bland-Altman*.

Tika novērtētas piecu dalībnieku lasīšanas prasmes. Teksta skaļas lasīšanas ātrums (TSLĀ) negatīvi korelē ar KFF sliexņni visiem dalībniekiem ($p < 0,001$). Spēcīga korelācija ($R^2 = 0,8$) novērojama pie KFF rezultātiem, izmantojot 1,5mm un 3mm diametra oklūderus, attiecībā pret TSLĀ, savukārt vidējs efekts ($R^2 = 0,6$) tiek iegūts pie 4mm oklūdera. Vārda atpazīšanas precizitāte norāda uz vāju saikni ar KFF sliexņni ($R^2 = 0,4$) un pie nevārdu kodēšanas uzdevuma efekts ir nenozīmīgs ($R^2 = 0,2$). Proporcionāli tika pieļauts par 5% vairāk kļūdu nevārdu kodēšanas uzdevumā, kur puse no kļūdām tika pieļautas pie pašiem garākajiem uzdevuma vārdiem.

Mūsu pētījuma rezultāti rāda, ka esošā metode var tikt izmantota turpmākiem mērijumiem. Ar šāda tipa oklūderiem iespējams efektīvi mainīt tīklenes apgaismojumu un, palielinoties tam, tiek iegūtas augstākas KFF vērtības, kas saskan ar literatūru. Lai gan vērojama spēcīga korelācija pie TSLĀ rezultātiem attiecībā pret KFF sliexņni, būtu jāveic šāds pētījums lielākam cilvēku skaitam, iekļaujot cilvēkus ar disleksiju.

Pateicības.

Evitas Kassalietes ieguldījums darbā tapis projekta NR. A69-DL/1775 Redzes fizioloģijas un uztveres pētījumi un izvērtēšanas metodes (Redzes pārslodzes fizioloģijas pētījumi un redzes stresa diagnostikas metodikas izstrāde) ietvaros.

Literatūra

- Demb, J. B., Boynton, G. M. & Heeger, D. J. (1998). Functional magnetic resonance imaging of early visual pathways in dyslexia. *Journal of Neuroscience*, 18(17) 6939-6951.
- Chase, C., Ashourzadeh, A., Kelly, C., Monfette, S. & Kinsey, K. (2003). Can the magnocellular pathway read? Evidence from studies of color. *Vision Research*, 43(10), 1211-1222.
- Cohen, L., Dahan, S., Vinckier, F., Jobert, A. & Montavont, A. (2008). Reading normal and degraded words: Contribution of the dorsal and ventral visual pathways. *NeuroImage*, 40, 353-366.
- Covington., B. P. & Al Khalili, Y. (2019). Neuroanatomy, Nucleus Lateral Geniculate. StatPearls Publishing LLC. Pieejams: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541137/>
- Holloway, S. R., Nanez, J. E. & Seitz, A. R. (2013). Word-decoding as a function of temporal processing in the visual system. *PLoS ONE*, 8(12).
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W. & Galaburda, A. M. (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 15; 88(18): 7943-7947.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Jimenez, J. E. & Ziegler, J. C. (2011). Prevalence and reliability of phonological, surface, and mixed profiles in dyslexia: A Review of Studies Conducted in Languages Varying in Orthographic Depth. *Scientific studies of Reading*, 15, 498-521.

- Talcott, J., Hansen, P., Willis-Owen, C., McKinnel, I. W., Richardson, A. & Stein J. F. (1998). Visual magnocellular in adult developmental dyslexics. *Neuro-Ophthalmology*, 20(4), 187-201.
- Tyler C. W. & Hamer, R. D. (1990). Analysis of visual modulation sensitivity. IV. Validity of the Ferry-Porter Law. *J. Opt. Soc. Am*, A7, 743-758.

Gender-related corneal thickness measurements using two different optical pachymetry methods

Inese Petroviča¹, Paiman Emadi², Aiga Švede¹

¹University of Latvia, Faculty of Physics, Mathematics and Optometry,
Department of Optometry and Vision Science, Riga, Latvia

²Uppsala university hospital, Ophthalmology Department, Uppsala, Sweden
inese.petrovica@gmail.com

Abstract

The purpose of this study was to investigate gender relation to the corneal thickness measurements and to compare two optical pachymetry techniques. The central and paracentral corneal thickness obtained by two different pachymetry methods was analysed in 202 eyes. The results showed that central cornea was slightly thicker in males, but the difference was not statistically significant. The mean difference was 7.40 µm for the central corneal thickness measurements between pachymetry methods and limits of agreement were wide. Therefore, we can conclude that both pachymetry techniques are not directly interchangeable in clinical practice.

Key words: central corneal thickness, paracentral corneal thickness, non-contact pachymetry, optical coherence tomography

Introduction

Corneal thickness (CT) is an important physical parameter that correlates with corneal health and has various important applications in the routine practice of ophthalmologists and optometrists. Corneal thickness has a great value in the diagnosis and treatment of corneal diseases such as keratoconus, Pellucid marginal degeneration, Fuchs dystrophy, etc., as well as in refractive surgery and in the assessment of the contact lens related corneal oedema (Azzam *et al.*, 2018; Chaudry, 2009; Ehlers & Hjortdal, 2004; Holden & Mertz, 1984; Kanski, 2007; Steinert *et al.*, 2013; Villavicencio *et al.*, 2014; Wirbelaur *et al.*, 2002). The central corneal thickness (CCT) is important in glaucoma diagnosis as a parameter for intraocular pressure (IOP) measurement adjustments and as an independent risk factor for glaucoma development (European Glaucoma Society, 2014; Mohan *et al.*, 2007).

Several studies showed that physiological factors as gender, age, race, and ethnicity can influence corneal thickness. The correlation between gender and CCT was found by Engy (2013), Hoffmann *et al.* (2013), and Shimmyo (2003). Although numerous studies concluded that there was no significant difference in CCT between females and males (Galauskas *et al.*, 2014; Iyamu & Osuobeni, 2012; Kadhim & Farhood, 2016; Sanchis-Gimeno *et al.*, 2004). There are numerous studies that showed tendency that CCT became thinner with age (Galauskas *et al.*, Engy, 2014; Iyamu & Osuobeni, 2011; Kadhim & Farhood, 2016). In addition, some authors observed CCT differences between race; Afro-Americans have significantly thinner CCT compared to Caucasians, Latinos and Asians (Mashige, 2013; Pediatric Eye Disease Investigator Group, 2011; Shimmyo *et al.*, 2003).

Ultrasound pachymetry (USP) used in majority of studies is still considered as the gold standard for the corneal thickness measurement. However, some studies used also optical pachymetry: Hoffmann *et al.* (2013) used non-contact optical pachymetry module attached to a slit lamp and Sanchis-Gimeno *et al.* (2003) used scanning slit method to obtain pachymetry maps. Optical principles to measure corneal thickness can be applied in several ways: 1) focusing on anterior and posterior surfaces (provided simultaneously or successively); 2) using specular reflexes from anterior and posterior surfaces (simultaneously or successively); 3) using light scattered from optical section to detect anterior and posterior boundaries (Ehlers & Hjortdal, 2004). Therefore, there are various techniques to measure corneal pachymetry: 1) spot measurements – used in technologies as traditional

optical pachymetry, specular and confocal microscopy, and optical low-coherence reflectometry; 2) wide area mapping technique – used in such technologies as scanning slit pachymetry, Scheimpflug imaging and optical coherence tomography (OCT) (Mohan *et al.*, 2007). OCT is based on interferometry – a very precise method to estimate corneal thickness. The accuracy of this method is related to speed of light in cornea and the plane where speed of light changes and back-scattering occurs (Ehlers & Hjortdal, 2004). There are few studies that evaluated optical pachymetry techniques. Ozyol & Ozyol (2017) compared CCT with four optical pachymetry noncontact devices – optical biometer based on swept source OCT (SS-OCT), Scheimpflug camera system, non-contact pachymetry (NCP), and spectral domain OCT (SD-OCT). The closest agreement was found for NCP and SD-OCT, and the least agreement was between SS-OCT and NCP. Authors concluded that SS-OCT optical biometer and Scheimpflug system can be used interchangeable as are NCP and SD-OCT. SS-OCT and Scheimpflug system cannot be interchangeably used with SD-OCT and NCP. Marinova *et al.* (2015) evaluated CCT with four different methods – ultrasound pachymetry (USP), NCP (non-contact tonometry/pachymetry), OCT and laser-scanning confocal microscopy (LSCM). The comparison was demonstrated between USP and other pachymetry methods and the results showed that the difference between NCP and OCT was 5.13 μm ; the CCT values were higher with OCT.

In response, current study aimed: 1) to evaluate relation between gender and corneal thickness as it is important to understand if there is any effect of this physiological factor on CT measurement that should be taken in diagnose considerations and 2) to evaluate possibility to use interchangeably two non-contact pachymetry methods – non-contact pachymetry NCP and spectral domain optical coherence tomography SD-OCT as these are used currently more in clinical practices, especially in optometric practices.

Method

The study involved 102 healthy participants (202 eyes: 101 right eyes and 101 left eyes) aged between 6 and 84 years. There were 68 females (67 right eyes, 68 left eyes) and 34 males (34 right eyes, 33 left eyes). The 1 right eye in female group and 1 left eye in male group was excluded cause of poor scan quality with OCT. The study was conducted in accordance with the tenets of the Helsinki Declaration.

CT was sequentially measured with two different devices: non-contact pachymetry NCP (multifunctional unit TRK-1P, Topcon, Japan) and spectral domain optical coherence tomography SD-OCT (Maestro 3D, Topcon, Japan). TRK-1P (NCP) is autorefractor-kerato-pachy-tonometer and provides pachymetry range from 400-750 μm . NCP measures CCT using spot measurement technique. SD-OCT measures CT using wide area mapping technique, providing laser beam (source 840 nm SLD) flying spot technique 50 000 A-scan per second, with axial resolution 6 μm and lateral resolution 20 μm . Corneal pachymetry maps determined with OCT were analysed as CCT and paracentral corneal thickness (PCT) in sectors N (Nasal), S (Superior), NS (Nasal-Superior), IN (Inferior-Superior), T (Temporal), I (Inferior), IT (Inferior-Temporal), ST (Superior-Temporal). There were three measurements for each eye provided with each instrument (average of all three measurements were used for data analyses).

The MedCalc Statistical Software version 19.2.1 (MedCalc Software Ltd, Ostend, Belgium) was used for data analysis. Normality of data was conformed with Kolmogorov-Smirnov test. T-test and Two-factor with mixed model ANOVA was used to determine significance of difference between gender groups. Single-factor mixed model ANOVA was used to analyse corneal uniformity by sectors (pairwise comparisons). A significance value $p < 0.05$ was considered as statistically significant. Bland-Altman analysis was used to assess agreement between methods (Peacock *et al.*, 2017).

Results

SD-OCT method demonstrated CCT measures slightly different compared to measurements with NCP (see Figure 1):

- females: $530.83 \pm 30.31 \mu\text{m}$ in the right eye and $529.80 \pm 30.33 \mu\text{m}$ in the left eye with SD-OCT; $545.35 \pm 29.67 \mu\text{m}$ in the right eye and $530.32 \pm 30.32 \mu\text{m}$ in the left eye with NCP.
- males: $533.78 \pm 30.69 \mu\text{m}$ in the right eye and $531.63 \pm 31.10 \mu\text{m}$ in the left eye with SD-OCT; $547.52 \pm 28.72 \mu\text{m}$ in the right eye and $531.92 \pm 31.56 \mu\text{m}$ in the left eye with NCP.

No statistically significant difference was observed in measurements between genders for both techniques applied (t-test unpaired: $p > 0.05$). However, there was statistically significant difference between left and right eye for CCT measurements with NCP (but not with SD-OCT) in both gender groups (t-test paired: $p < 0.001$).

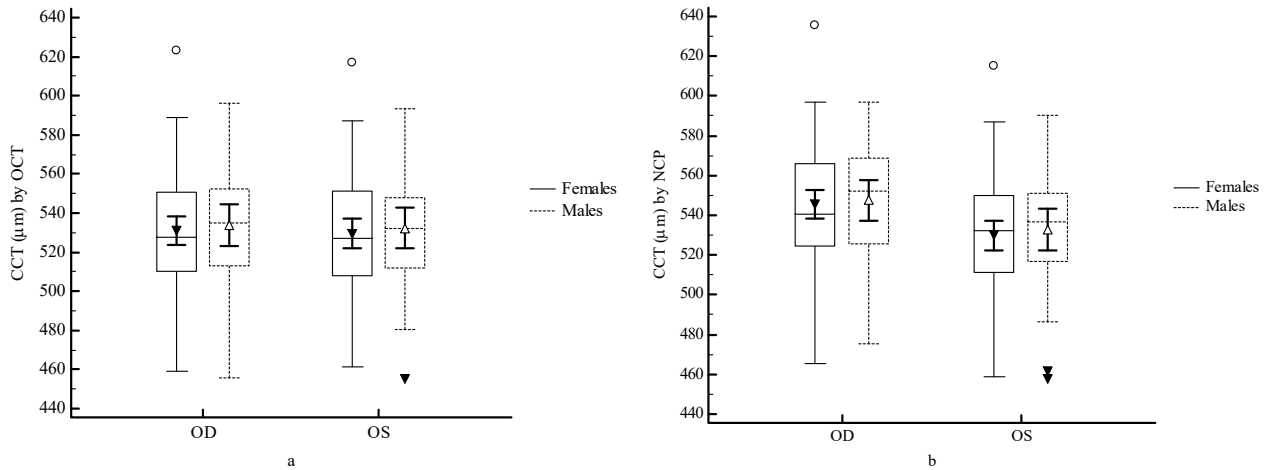


Fig. 1 CCT (μm) in gender groups obtained by OCT (a) and NCP (b); OD is abbreviature for the right eye and OS for the left eye.

Figure 2 demonstrates OCT and NCP Bland-Altman agreement plot. The bias was $-7.40 \mu\text{m}$ (95% limits of agreement (LoA), $11.96 \mu\text{m}$ to $-26.6 \mu\text{m}$). Thus, NCP demonstrates larger CCT values compared to SD-OCT. The limits of agreement are wide; therefore, two non-contact pachymetry methods SD-OCT and NCP cannot be used interchangeably.

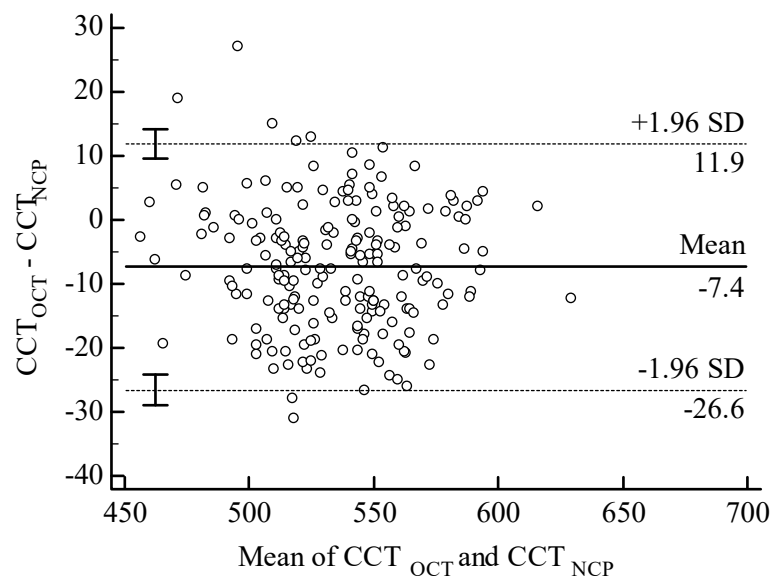


Fig. 2 Bland-Altman agreement plot for two pachymetry methods OCT and NCP.

SD-OCT allowed to evaluate larger corneal area and to obtain not only CCT but also paracentral corneal thickness (PCT) (see Figure 3). As it is known, cornea is thinner in centrum and becomes thicker in periphery (*Tasman & Jaeger, 2007*). Figure 3 depicts that cornea is thicker in nasal part

(sectors N, S, SN, IN) and thinner in temporal part (sectors T, I, IT, ST) both in males and females. To evaluate the effect of corneal measurement place and gender, we performed mixed model ANOVA. Due to violated sphericity (right eye: epsilon = 0.645; left eye: epsilon = 0.545), Greenhouse-Geisser correction was used. The analyses demonstrates that there was a significant difference in the corneal measurements at various parts of cornea for both eyes (right eye: $F(4.51, 446.87) = 90.08, p < 0.001$; left eye: $F(3.82, 377.94) = 247.54, p < 0.001$) that was not affected by gender (right eye: $F(1, 99) = 0.13, p = 0.72$; left eye: $F(1, 99) = 0.044, p = 0.83$). Pairwise comparison shows that the thickest part in the cornea is in the section SN compared to all other parts of cornea in both eyes ($p < 0.001$) and the thinnest part is section T in both eyes ($p < 0.001$). There was no significant difference between sections CCT and ST (Mean Difference (MD) = $-0.325 \mu\text{m}$, SD = $1.075 \mu\text{m}$), $p=1.00$, I and IT (MD = $-1.922 \mu\text{m}$, SD = $1.199 \mu\text{m}$), $p=1.00$, I and T (MD = $1.611 \mu\text{m}$, SD = $1.295 \mu\text{m}$), $p=1.00$, IN and N (MD = $-1.491 \mu\text{m}$, SD = $1.026 \mu\text{m}$), $p=1.00$, S and IN (MD = $-2.773 \mu\text{m}$, SD = $1.612 \mu\text{m}$), $p=1.00$ in the right eye. In the left eye, only sections IN and N showed no significant difference (MD = $1.153 \mu\text{m}$, SD = $1.035 \mu\text{m}$), $p = 1.00$. Bonferroni correction for multiple comparisons is applied for p values.

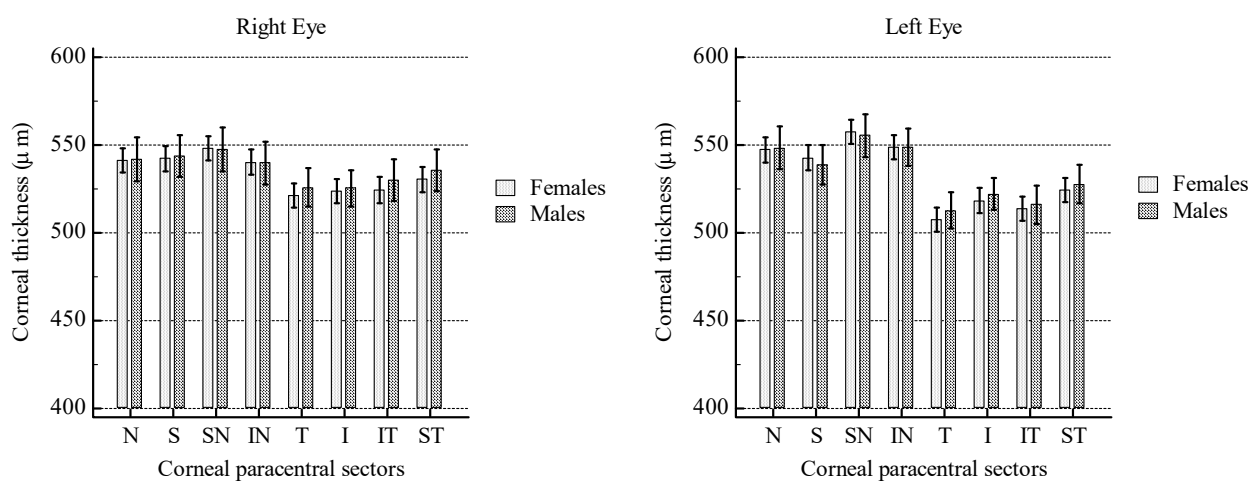


Fig. 3 Distribution of corneal thickness (CT) in paracentral sectors by gender groups.

Discussion

The study results show that corneal thickness (CCT and PCT) do not differ between genders but there is significant difference between methods used to measure corneal thickness. This is opposite to *Hoffmann et al.* (2013) population-based study (9519 eyes). They found strong correlation between gender and CCT using NCP method; the males had thicker CCT compared to females. Our results agree with *Sanchis-Gimeno et al.* (2004). They measured CT with scanning slit non-contact pachymetry method and did not find statistically significant differences between gender groups. Although *Galauskas et al.* (2014) found that in Lithuanian population (1650 eyes) males have slightly thicker CCT than females, when measured with USP, the difference was statistically insignificant. The opposite results are shown in *Engy* (2013) study where CCT obtained in Egyptian population (4368 eyes) also was measured with USP, but the author found correlation between gender and CCT. Despite contradictory results, all studies show that males have slightly thicker corneas as females, and this is the same what we had noticed from our results. The statistical differences can be caused by different size of samples and ethnic differences. Studies (*Shimmyo et al.*, 2003; *Mashige*, 2013) showed that African Americans and African descent have thinner CCT as other races. *Shimmyo et al.*, (2003) investigated Goldman applanation tonometry (GAT), CCT and corneal curvature among 1482 Caucasians, 172 Asians, 204 Hispanic, and 118 African Americans. Corneal thickness measured using USP. This study also found that females have significant thinner CCT. The age can be the influencing factor for CCT measurements. CCT become thinner with age (*Iyamu & Osuobeni*, 2011;

Galauskas et al., Engy, 2014; Kadhim & Farhood, 2016). *Kadhim & Farhood, 2016* reporting also eye refraction correlation to CCT. Authors found that CCT is thicker when emmetropia and hypermetropia than in case of myopia. Although *Galauskas, et al. (2014)* and *Engy (2013)* used same pachymetry method and same age range of sample, they found opposite results. The studies were different samples regarding races, which can lead to statistical differences.

We observed that CCT was asymmetric between eyes when measured with NCP. Thus, we conclude that SD-OCT and NCP are not directly interchangeable in clinical practice, because of the wide LoA values. *Hoffmann et al. (2013)* used NCP and found that males have slightly thicker CCT ($p < 0.05$). They also observed that CCT values demonstrated statistically significant difference in between eyes ($p < 0.05$) despite high correlation between eyes. As distribution of CCT and its association with ocular parameters was examined, measurement asymmetry between eyes was found to be not influencing factor for CCT and IOP univariable linear regression analysis and multivariable linear regression analysis for gender, spherical equivalent, and CCT. The opposite conclusion was in the study of *Ozyol & Ozyol (2017)*. They compared CCT measurements of four non-contact devices in 45 healthy eyes. The closest agreement was noticed between SD-OCT and NCP. The authors concluded that NCP and SD-OCT can be used interchangeably. However, they made no differential analysis between eyes as measurements of only one eye was included in their study.

We observed that the nasal part (especially sector SN) is the thickest part of the cornea. Similar results were observed by *Sanchis-Gimeno et al. (2004)*. They found highest corneal thickness values in sector SN by analysing corneal pachymetry of 100 eyes. The authors explained their findings by the fact that superior cornea is chronically hypoxic that is caused by partial coverage of upper eyelid. Thus, we can agree that cornea is not uniform in its thickness; the thickest part is nasal part (especially in sector SN) and the thinnest part is temporal part (especially in sector T).

Vision specialists – ophthalmologists and optometrists – should pay attention to (1) the corneal sector they are analysing because the thickness of the cornea is not the same in all corneal sectors; (2) the methods they are using in measuring corneal thickness, especially using NCP because it can give different results for each eye, thus, creating a false impression of a possible corneal problem. The gender is not the most important factor that can affect the results. The tear film quality should be taken in consideration as well when using optical pachymetry method as it is crucial for OCT scan quality and for auto non-contact tono-pachymetry. If the tear film has low quality, then device has difficulties to focus and determine specular reflexes from anterior and posterior corneal surfaces, that can lead to measurement errors.

References

- Azzam, R., Kasem, M., Khattab, A., & El-Fallal, H. (2018). Measurement of central corneal thickness by different techniques. *Journal of the Egyptian Ophthalmological*, 114-117.
- Chaudhry, I. (2009). Measurement of central corneal thickness in health and disease. *Saudi Journal of Ophthalmology*(23), 179-180.
- Ehlers, N., & Hjortdal, J. (2004). Corneal thickness: measurement and implications. *Experimental Eye Research*(78), 543-548.
- Engy, M. (2014). Central corneal thickness in southern Egypt. *Int Ophthalmol*(34), 809-815.
- European Glaucoma Society. (2014). *Terminology and Guidelines for Glaucoma*. Savona, Italy: European Glaucoma Society.
- Galgauskas, S., Juodkaite, G., & Tutkuvienė, J. (2014). Age-related changes in central corneal thickness in normal eyes among the adult Lithuanian population. *Clinical Interventions in Aging*(9), 1145–1151.
- Hoffmann, E., Lamparter, J., Mirshahi, A., Elflein, H., Hoehn, R., Wolfram, C., . . . Pfeiffer, N. (2013, August). Distribution of Central Corneal Thickness and its Association with Ocular Parameters in a Large Central European Cohort: The Gutenberg Health Study. *PLOS ONE*, 8(8), 1-9.
- Holden, B., & Mertz, G. (1984). Critical oxygen levels to avoid corneal edema for daily and extended wear contact lenses. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 25, 1161-1167.

- Iyamu, E., & Osuobeni, E. (2012). Age, gender, corneal diameter, corneal curvature and central corneal thickness in Nigerians with normal intra ocular pressure. *Journal of Optometry*. doi:10.1016/j.optom.2012.02.001
- James, B., & Benjamin, L. (2007). *Ophthalmology Investigation and Examination Tehniques*. Oxford: Elsevier Limited.
- Kadhim, Y., & Farhood, Q. (2016). Central corneal thickness of Iraqi population in relation to age, gender, refractive errors, and corneal curvature: a hospital-based cross-sectional study. *Clinical Ophthalmology*, 10, 2369–2376.
- Kanski, J. (2007). *Clinical Ophthalmology A Systemic Approach*. Toronto: Elsevier.
- Mohan, S., Aggarwal, A., Dada, T., M, V., & Panda, A. (2007). Pachymetry: A Review. *DOS Times*, 19-27.
- Peacock, J. L., Kerry, S. M., & Balise, R. R. (2017). *Presenting Medical Statistics from Proposal to Publiction*. Oxford: Oxford University Press.
- Pediatric Eye Disease Investigator Group. (2011). Central Corneal Thickness in Children. *Arch Ophthalmol*, 129(9), 1132-1138. doi:10.1001/archophthalmol.2011.225.
- Sanchis-Gimeno, J., Alonso, L., Rahhal, S., & Martínez-Soriano, F. (2004). Gender differences in corneal thickness values. *European Journal of Anatomy*, 8(2), 67-70.
- Shimmyo, M., Ross, A., Moy, A., & Mostafavi, R. (2003). Intraocular Pressure, Goldmann Applanation Tension, Corneal Thickness, and Corneal Curvature in Caucasians, Asians, Hispanics, and African Americans. *American Journa of Ophthalmology*, 136(4), 603-613.
- Steinert, R., McColgin, A., & Garg, S. (2013, Dec 11). *Laser in situ Keratomileusis (LASIK)*. Retrieved from American Academy of Ophthalmology: aao.org
- Tasman, W., & Jaeger, E. (2007). *Duane's Ophthalmology*. Hagerstown: Lippincott Williams & Wilkins Publishers.
- Turczynowska, M., Koźlik-Nowakowska, K., Gaca-Wysocka, M., & Grzybowski, A. (2016). Effective Ocular Biometry and Intraocular Lens Power Calculation. *European Ophthalmic Review*, 10(2), 94-100.
- Villavicencio, O., Belin, M., Ambrosio Jr, R., & Steinmueller, A. (2014, May). Corneal pachymetry: New ways to look at an old measurement. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 40, 695-701.
- Wirbelauer, C., Sholz, C., Hoerauf, H., Pham, D., Laqua, H., & Bringruber, R. (2002). Noncontact Corneal Pachymetry With Slit Lamp-adapted Optical Coherence Tomography. *American Journal of Ophthalmology*, 133(4), 425-8.

Accommodation response to stimuli of various contrasts

Ibrahim Musayev, Tatjana Pladere and Gunta Krūmiņa
University of Latvia, Faculty of Physics, Mathematics and Optometry,
Department of Optometry and Vision Science, Riga, Latvia
ibrahim.musayev@lu.lv

Abstract

The steady-state accommodation typically varies within a range of about ± 0.5 D. The range of these fluctuations should be lower than 0.37 D to study the dynamic accommodation responses when viewing the multi-plane volumetric display images. As far as the contrast of volumetric display images can be lower than that of flat-panel display images, we tested how the contrast of visual stimulus affected the short-term accommodation variation.

The purpose of this study was to measure the normal range of accommodation microfluctuations when the visual stimulus of two different contrasts was being viewed on a flat-panel display (Dell 24, model: P2419H) under binocular viewing conditions. We used the PowerRef3 plusoptiX R09 eccentric photorefractometer to record microfluctuations. Subjects viewed the visual stimulus at a distance of 45 cm. The Maltese cross was used as a target on the dark background. It was presented at five different positions: in the center, and at the 5.2° field eccentricity in four directions (right, left, up, and down). The luminance of Maltese cross varied resulting in the high and low contrast of the visual stimulus. The subjects were asked to fixate on the cross and follow it when its position on the screen was changed every ten seconds.

The obtained results indicated that the amount of accommodative microfluctuations did not differ significantly when the contrast of stimulus was changed. Further research should be done to assess the effect of measurement duration and visual adaptation on the accommodation response to stimuli of various contrasts.

Key words: accommodation, accommodative microfluctuations, contrast, photorefractometer

Introduction

Accommodation is the ability of the eye to focus on the near object by increasing its optical power (Burd, Judge & Flavell, 1999). It has been shown that the accommodation response is fluctuating during stable fixation. These fluctuations are called accommodative microfluctuations (MFs). The amount of MFs is up to ± 0.5 D from the focusing position (Day *et al.*, 2009; MacKenzie, Hoffman & Watt, 2010; Charman & Heron, 2015). It is believed that the functional role of these fluctuations is to maintain the focus on the static target. The MFs occur because of variation in neurological control and physiological rhythm (Winn, 2000).

Many factors have been found to have an impact on accommodative MFs, for instance, contrast, luminance, vergence, refractive error, pupil diameter, aging and cognitive demand. We are especially interested in the effect of image contrast (Gray, Winn & Gilmartin, 1993; Denieul & Corno-Martin, 1994; Day *et al.*, 2009) because the highest contrast of images displayed on the modern three-dimensional visualization technologies that provide consistent depth cues (Geng, 2013), such as a multi-plane volumetric display (Osmanis *et al.*, 2018), is lower than the one of images displayed on the conventional flat-panel displays. Moreover, the images are displayed relatively close to each other in depth on the display – the total width of the optical element is about 0.09 m (Osmanis *et al.*, 2018). Thus, the magnitude of MFs should be less than 0.37 D to study the real-time accommodation response when a multi-plane stimulus is demonstrated at the close viewing distance (for instance, 0.45 m). In the present experiment, we determined the magnitude of MFs in response to stimulus of high contrast and to stimulus of low contrast (mimicking the contrast of volumetric images).

Method

Five young subjects (20-25 years old) participated in the experiment. All subjects had visual acuity $Visus = 1.0$ (decimal units) or better, without optical correction or with contact lens correction. None of the subjects had any ocular or systemic disease. We obtained written informed consent from all subjects after providing an explanation of the study. The study was approved by the University of Latvia Ethics Committee and was performed in accordance with the Tenets of the Declaration of Helsinki.

The fixation stimulus was a Maltese cross (size: 0.9°). It was presented on a flat-panel display (Dell 24, model: P2419H) with resolution 1920×1080 px at 60 Hz. The task of the subjects was to fixate gaze on the Maltese cross in the center of the screen and follow the target until it changed position every 10 seconds in four directions at a distance of 5.2° from the center. The sequence of target presentation was the same each time: center – up – right – down – left. There were two task sessions: with a high-contrast target (184 cd/m^2 , Weber contrast $c_w = 306$) and with a low-contrast target (21 cd/m^2 , Weber contrast $c_w = 34$). The order of sessions was randomized among the subjects. An eccentric photorefractometer PowerRef3 (Plusoptix GmbH, Nuremberg, Germany) was employed to record accommodative MFs at the sampling rate of 50 Hz.

Subjects were sitting at 45 cm distance from the flat-panel display with their heads resting on a chinrest with forehead support aiming to minimize head movements. The photorefractometer was placed behind the display and the optical pathway reached the eyes with the help of two mirrors. All the measurements were performed in the mesopic conditions. There was a short break between two task sessions.

To prepare the data for analysis, each trial was examined for the presence of artifacts caused by the subject blinking. These unwanted values were removed. The magnitude of accommodative MFs was computed as a root mean square deviation for each trial and averaged across repetitions for each target position on the screen.

Results

Table 1 compares the mean amount of accommodative MFs for the five subjects viewing the targets at five positions on the flat-panel display. Generally, the mean amount of MFs did not differ significantly when the contrast of stimulus was changed ($p > 0.05$). The variability of accommodation response was comparatively large when the subjects were looking at the targets in the upper segment and lower segment of the screen. The similar trend was observed for the targets in the lower part of the screen. However, the mean value and variability of accommodative MFs decreased when the stimulus was presented in the center of screen.

Table 1

Magnitude of accommodative MFs for stimulus of high contrast (H) and for stimulus of low contrast (L) at five positions on the flat-panel display, mean value \pm SD

	-5.2°	0°	5.2°
5.2°		H: 0.40 D \pm 0.15 D L: 0.35 D \pm 0.14 D	
0°	H: 0.21 D \pm 0.19 D L: 0.25 D \pm 0.19 D	H: 0.15 D \pm 0.05 D L: 0.15 D \pm 0.06 D	H: 0.21 D \pm 0.09 D L: 0.15 D \pm 0.10 D
-5.2°		H: 0.33 D \pm 0.23 D L: 0.33 D \pm 0.23 D	

Conclusion

To sum up, the mean amount of accommodative MFs did not differ depending on the chosen contrast of stimulus. The variability of response was larger when the stimulus that was shown in the upper part of the screen compared to other locations. Overall, the amount of MFs was extremely close to the critical value (0.37 D) or even exceeded it. Thus, the normal amount of MFs might be too large to measure the accommodation switching between the volumetric display planes even at the close viewing distance. In further research, the effect of measurement duration and visual adaptation on the accommodation response can be assessed to gain a better understanding of underlying factors.

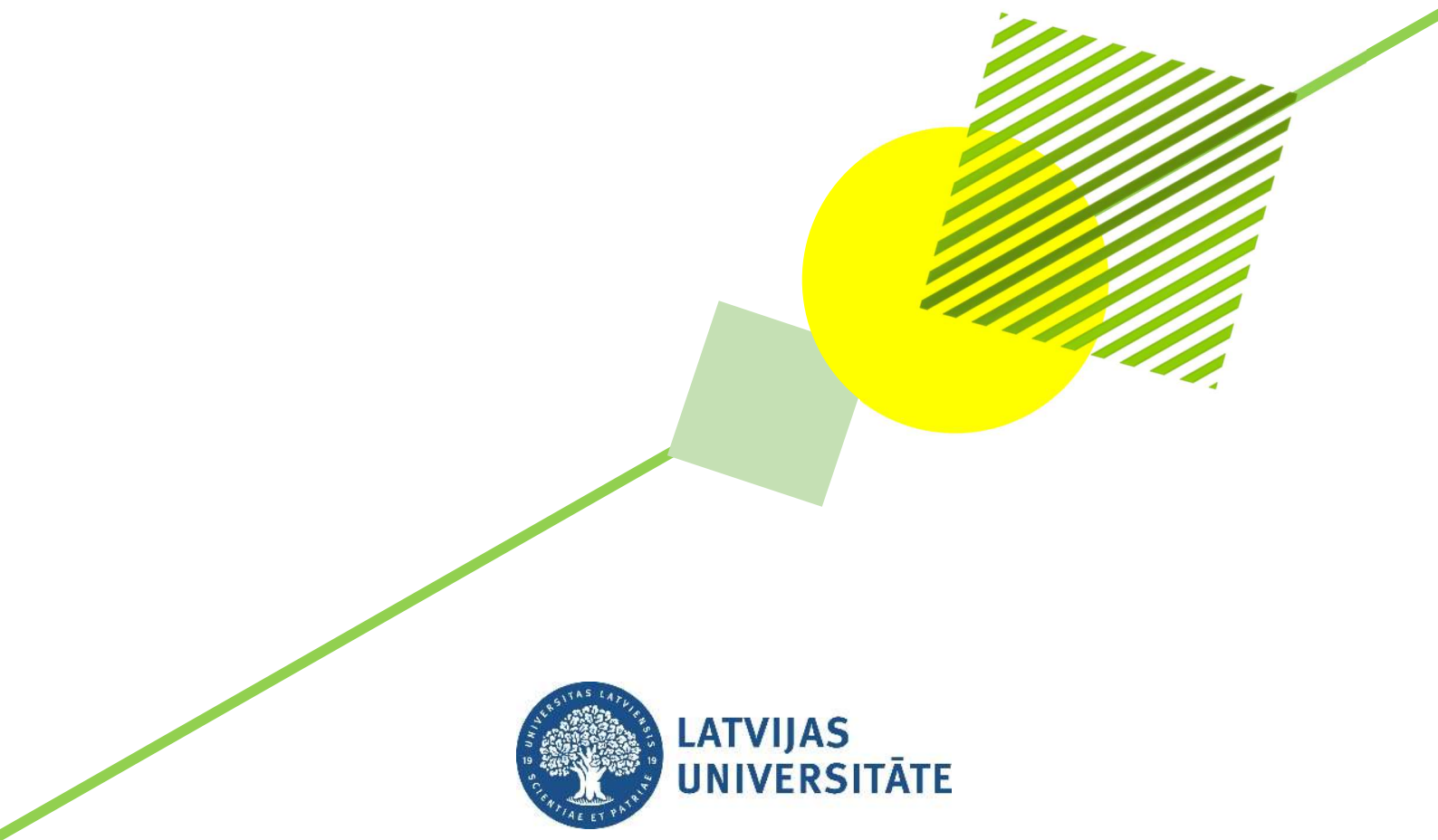
Acknowledgment

This work is a part of the research project supported by SIA LightSpace Technologies (“Evaluation of volumetric display’s 3D image effect on human visual system”, project No. ZD2019/20807). It has also been supported by the European Regional Development Fund (“Development of a compact, high-brightness laser image projection system for application in volumetric 3D displays”, project No. 1.1.1.1/18/A/179).



References

- Burd, H. J., Judge, S. J., & Flavell, M. J. (1999). Mechanics of accommodation of the human eye. *Vision Research*, 39(9), 1591-1595.
- Charman, W. N., & Heron, G. (2015). Microfluctuations in accommodation: An update on their characteristics and possible role. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 35(5), 476-499.
- Day, M., Gray, L. S., Seidel, D., Strang, N. C. (2009). The relationship between object spatial profile and accommodation microfluctuations in emmetropes and myopes. *Journal of Vision*, 9(10), Article No. 5.
- Denieul, P., & Corno-Martin, F. (1994). Mean response and oscillations of accommodation with colour and contrast. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 14(2), 184-192.
- Geng, J. (2013). Three-dimensional display technologies. *Advances in Optics and Photonics*, 5(4), 456-535.
- Gray, L. S., Winn, B., & Gilmartin, B. (1993). Effect of target luminance on microfluctuations of accommodation. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 13(3), 258-265.
- MacKenzie, K. J., Hoffman, D. M., Watt, S. J. (2010). Accommodation to multiple-focal-plane displays: Implications for improving stereoscopic displays and for accommodation control. *Journal of Vision*, 10(8), Article No. 22.
- Osmanis, K., Valters, G., Zabels, R., Gertners, U., Osmanis, I., Kalnins, L., Kandere, U., Ozols, A. (2018). Advanced multiplanar volumetric 3d display. *Proceedings of SPIE*, 10555, Article No. 1055510.
- Winn, B. (2000). Accommodative microfluctuations: a mechanism for steady-state control of accommodation. In O. Franzen, H. Richter & L. Stark (Ed.), *Accommodation and Vergence Mechanisms in the Visual System*, Birkhiiuser Verlag Basel, Switzerland, 129-140.



**LATVIJAS
UNIVERSITĀTE**

RĪGA 2020