

# **CILVĒKA FIZIOLOĢIJAS UN UZTVERES AKTUĀLIE PĒTĪJUMI 2019. GADĀ**

RAKSTU KRĀJUMS



RĪGA 2019

Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2019. gadā.

Izdevumā apkopoti LU FMOF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas, kā arī citu struktūrvienību aktuālie pētījumi par cilvēka fizioloģiju un uztveri. 2019. gads Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā ir zīmīgs ar nodaļas ilggadējo profesoru jubilejām. Savu apaļo dzimšanas dienu jau ir nosvinējis LU *emeritus* profesors Ivars Lācis, kurš ir devis lielu ieguldījumu Latvijas Universitātes attīstībā, kā arī ir viens no Latvijas optometrijas stūrakmeņiem. Šajā izdevumā bez zinātniskiem rakstiem ir īss ieskats viņa biogrāfijā, kura ir tapusi sadarbībā ar Latvijas Universitātes bibliotēku.

Rakstu krājums sagatavots LU FMOF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā, 2019  
Redaktori: Gatis Ikaunieks, Gunta Krūmiņa, Aiga Švede, Karola Panke un Sergejs Fomins

ISBN 978-9934-19-775-8

## Saturs

“Vienmēr esmu bijis arī skolotājs ...” profesors Ivars Lācis. <b>A. Avdeikina</b> .....	1
Redzes ergonomika un redzes uztvere. <b>T. Pladere, M. Vēliņa, K. Panke, G. Krūmiņa</b> .....	4
Vizuālās meklēšanas novērtējums radiologiem darbā ar volumetrisko ekrānu. <b>V. Andriksone, T. Pladere, R. Pitura, K. Panke, G. Krūmiņa</b> .....	23
Dziļuma uztvere atkarībā no stimula atrašanās vietas uz volumetriskā ekrāna. <b>G. Jankovska, T. Pladere, V. Konošonoka, K. Panke, G. Krūmiņa</b> .....	29
Stereotests stereoanomālijas novērtēšanai. <b>G. Krūmiņa, A. Gulbe, E. Eldmane, C. Adami, V. Liakhovetckii</b> .....	35
Lokālā stereotesta izstrāde stereoanomālijas novērtēšanai. <b>A. Gulbe, V. Liakhovetskii, G. Krūmiņa</b> .....	42
Globālā stereotesta izstrāde stereoanomālijas novērtēšanai. <b>E. Strauta, V. Liakhovetskii, G. Krūmiņa</b> .....	49
Tīklenes makulas pigmenta optiskais blīvums: tā novērtēšana un faktoru iedarbība. <b>K. Šmiukše, G. Krūmiņa</b> .....	55
Figūru un krāsu uztvere bērniem. <b>M. Bambāne, J. Šķilters, B. Pinna, G. Krūmiņa</b> .....	76
Skata virziena parametri neviennozīmīgu ģeometrisku figūru analīzē. <b>L. Krauze, I. Ceple, J. Šķilters, G. Krūmiņa</b> .....	82
Fizioloģisko, vides faktoru un ārstēšanas ietekme uz acs struktūru un asaru kvalitātes izmaiņām. <b>E. Kassaliete, I. Bērziņa, K. Dumberga, L. Eglīte, E. Kliesmete, A. Petrova un G. Krūmiņa</b> ..	87
Mirkšķināšanas ietekme uz asaru plēvītes stabilitāti. <b>I. Bērziņa, A. Petrova, E. Kassaliete, G. Krūmiņa</b> .....	90
Asaru osmolaritātes izmaiņas vides faktoru ietekmē. <b>K. Dumberga, E. Kassaliete, A. Petrova, G. Krūmiņa</b> .....	96
Meiboma dziedzeru disfunkcija un plakstu silto komprešu terapija. <b>E. Kliesmete, E. Kassaliete, A. Petrova, K. Detkova, G. Krūmiņa</b> .....	102
Gaisa mitruma un gaisa temperatūras korelācija ar subjektīvajām sūdzībām un acs priekšējo struktūru stāvokli. <b>L. Eglīte, A. Petrova, E. Kassaliete, G. Krūmiņa</b> .....	108
Anizeikonijas testu precizitātes novērtējums. <b>A. Matīse, G. Ikaunieks</b> .....	117
Miopijas izplatība Latvijas iedzīvotāju populācijā. <b>S. Bierīņa, G. Ikaunieks</b> .....	123
Keratokonusa pacientu redzes kvalitāte. <b>S. Līduma, G. Krūmiņa</b> .....	128
Akomodācijas un vergences sistēmas balansa diagnostika: akomodācijas mērījumu iespējas un pielietojums redzes ergonomikas pētījumos. <b>K. Panke, A. Švede, G. Krūmiņa</b> .....	133
Brīļļu aditīva pielietojums akomodācijas un binokulārās redzes traucējumu kompensēšanā <b>E. Kassaliete, A. Švede</b> .....	145
Redzes ergonomikas ierīces ofisa darbiniekiem. <b>R. Trukša, S. Fomins, G. Krūmiņa</b> .....	151
Latviešu vēsturisko tekstiliju izpēte. <b>V. Valkovska, S. Fomins, L. Orola</b> .....	157
Termogrāfijas izmantošana sepses pacientu monitoringam. <b>A. Caica, Z. Marcinkevičs, U. Rubīns, A. Grabovskis, S. Kazūne</b> .....	162
Augstas izšķirtspējas attēlveides fotopletizmogrāfijas izmantošanas iespējas ādas mikrocirkulācijas pētīšanā. <b>Z. Marcinkevičs, U. Rubīns, T. Karaja, K. Volčeka</b> .....	164

# “Vienmēr esmu bijis arī skolotājs ...” profesors Ivars Lācis

Anžela Avdeikina  
Latvijas Universitātes Bibliotēka, Rīga, Latvija  
anzela.avdeikina@lu.lv

## Ievads

Ivars Lācis - Latvijas Universitātes (LU) profesors, fiziķis - optiķis, habilitētais fizikas doktors, LU rektors no 2000. līdz 2007. gadam.

Pētnieks, pasniedzējs, vadītājs - ir tikai dažas no fizikas doktora I. Lāča lomām profesionālajā darbībā. Vairāk nekā 40 gadus profesors saistīts ar LU, astoņus no tiem - rektora amatā. Viņš nogājis ceļu no augstskolas fakultātes vecākā laboranta līdz profesoram: LU Fizikas un matemātikas fakultātes mācību laboratorijas vadītājs, asistents, vecākais pasniedzējs, docents, profesors. Cietvielu fizikas institūta (CFI) vadošais pētnieks, Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas vadītājs, zinātņu prorektors, rektors. Saņēmis “skanīgus darba novērtējumus” – fizikas habilitētais doktors, Latvijas Zinātņu akadēmijas īstenais loceklis, Francijas Goda leģiona virsnieks... Profesoram piešķirti vairāki apbalvojumi, tostarp Beļģijas karaļa ordenis (2006), Itālijas Republikas Goda ordenis (2004), Portugāles Republikas Prinča Enrikes ordenis (2003), Francijas Goda leģiona ordeņa virsnieks (2001), Latvijas Republikas Izglītības un zinātnes ministrijas Atzinības raksti (1999, 2007, 2014).

## Bērnība un skolas gadi

Ivars Lācis dzimis 1949. gada 11. februārī Sasmakā, vienā smalkā Kurzemes pilsētā ar literāro nosaukumu Valdemārpils, Talsu rajonā. Viņa tēvs bija mehāniķis, māte strādāja Vandzenes vidusskolā par lietvedi. Ģimene dzīvoja Vandzenē – muižas kalpu mājā ar nosaukumu “Vecelle”. Tur Ivars Lācis nodzīvoja mūža pirmos gadus – līdz 1954. gadam. Taču pēc 5. klases tēvs izdomāja, ka bērniem skolā ir jāmacās Rīgā, lai nākotnē tur varētu arī studēt un dzīvot. Ivars Lācis pabeidza Rīgas 1. vidusskolu (tagadējo Rīgas valsts 1. ģimnāziju). Pēc 1. vidusskolas beigšanas I. Lācim nešķita, ka ir kāda alternatīva Latvijas Universitātes (LU) Fizikas un matemātikas fakultātei un “iespējai godīgi nodarboties ar dabas zinībām un pasaules neizzināto daļu” (Lācis, 2005).

## Studiju gadi Latvijas Valsts Universitātē Fizikas un matemātikas fakultātē (1966.- 1971.)

Izturējis lielu iestājpārbaudījumu konkursu, I. Lācis uzreiz iestājās LU Fizikas un matemātikas fakultātē. Studiju gados I. Lācis bijis sportisks zinātnieks – veiksmīgi apvienoja profesionālās studijas ar basketbola treniņiem. Šo laiku viņš atceras kā īpaši piepildītu – studijas, darbs studentu celtnieku vienībās, spraiga darbošanās augstskolas basketbola izlasē ASK klubā, kā arī paša kāzas.

## Darbs Latvijas Universitātē

Pēc augstskolas beigšanas Ivars Lācis palika strādāt savā *Alma mater* – sākumā par Fizikas un matemātikas fakultātes vecāko laborantu, pēc tam par mācību laboratorijas vadītāju, asistentu, vecāko pasniedzēju, docentu, profesoru, vadošo pētnieku, Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas vadītāju, līdz beidzot kļūstot par LU zinātņu prorektoru un rektoru.

1991. gadā, Ivars Lācis kļuva par LU docentu, šajā pašā gadā ieguva fizikas doktora grādu, savukārt 1993. gadā - habilitēto fizikas doktora grādu. 90. gadu vidū Ivars Lācis kļuva par LU Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas un LU CFI Optisko materiālu laboratorijas vadītāju. 1992. gadā kopā ar kolēģiem fiziķiem un mediķiem sāka darbu redzes zinātnē, kā arī izveidoja bakalaura un maģistrantūras optometrijas studijas programmas. Profesors Ivars Lācis bija Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas vadītājs no 1995. gada līdz 2001. gadam un no 2007. gada līdz 2015. gadam. Kopš 2015. gada Ivars Lācis ir LU *emeritus* profesors.

Profesora I. Lāča pētnieciskais virziens – kristālu augšana, stikla struktūra, elektroniskās ierosas kristālos un stiklos, redzes uztvere, stereoredzes sliekšnis, binokulārās redzes nestabilitāte. Viņš ir daudzu zinātnisko rakstu autors, piedalījies starptautiskās zinātniskās konferencēs. 2013. gadā kopā ar kolēģiem Guntu Krūmiņu, Jeļenu Jakovļevu, Lasmu Ekimāni, Jurgī Šķilteru, Evitu Kassalieti un Gati Ikaunieku uzrakstīja monogrāfiju “Skolas vecuma bērniem redzes uztveres novērtēšanas metode” (Krūmiņa et al., 2013). Profesors zina daudzas valodas – angļu, vācu, krievu, itāļu. Viņš atzīst, ka itāļu valodu apguvis nepieciešamības dēļ – klausoties un runājot, jo vajadzēja arī recenzēt studentu maģistra darbus itāļu valodā.

Kopš 2008. gada līdz pat šodienai Ivars Lācis ir Latvijas Universitātes fonda valdes priekšsēdētājs.

### **Latvijas Universitātes rektors (2000. – 2007.)**

Rektora amatā LU Satversmes sapulce Ivaru Lāci ievēlēja 2000. gada maijā. Savā runā rektora amata kandidātu sanāsmē 2000. gada 25. maijā Ivars Lācis atzīmēja, ka būtiskākais Universitātē šobrīd ir skaidra sapratne par stratēģisko mērķi, t.i., eiropisku Universitāti. Viņš atzina, ka esam tuvu tam, bet kopumā daudz kā vēl trūkst. “Kā rektoram man ļoti daudz jāapgūst. Jāielec vilcienā, kurš pilnā sparā dodas uz priekšu” (Dilāns, Sadovska & Lācis, 2000). Savā programmā viņš iezīmēja prioritātes šādās jomās: studiju iespēju attīstība un kvalitāte, akadēmiskās darbības vides uzlabošana un personāla sociālās garantijas.

2003. gada maijā Ivars Lācis kā vienīgais pretendents par LU rektoru kļuva atkārtoti. “Otrā termiņā man bija pienākums startēt, jo bija diezgan daudz kas iesākts, bet palicis nepabeigts,” – atzīst I. Lācis. Savā programmā profesors uzsvēra, ka vissvarīgākais ir apzināties, ka augstskolas attīstības pamatā ir students. “Viņi ir tie, kuru dēļ mēs te esam”. Augstskolai būtu jā rūpējas par studiju iespēju un studiju kvalitātes uzlabošanu.

2005. gadā I. Lācis tika atzīts par labāko rektoru Latvijā.

2007. gadā intervijā uz jautājumu par svarīgāko, kas paveikts universitātē, profesors I. Lācis atbildēja: “Pats svarīgākais ir tas, ka mēs esam ieviesuši kolektīvo vadības modeli. Tas nozīmē, ka tiek sadalīta atbildība par svarīgākajiem darbiem. Būtiski, ka LU apmēram divus gadus pirms Latvijas iestāšanās Eiropas Savienībā spēja pievērsties nopietnas mūsdienīgas zinātnes infrastruktūras veidošanai.”

Ivars Lācis atzīst, ka ir divas lietas, ko viņam gribējās pacelt, bet kas ir palikušas līdz galam nepaveiktas. Tas ir “mecenātisms un draudzīgais aicinājums tiem LU (vai arī LVU!) absolventiem, kas dzīvē kaut ko jau ir sasnieguši – vismaz izremontēt savu veco kopmītnes istabu!”

### **Ģimene**

Daudzās intervijās ar lielu lepnumu Ivars Lācis stāsta par savu ģimene un paša uzcelto māju, jo “latvietim savs kaktiņš, savs zemes stūrītis gēnos ierakstīts” (Eglīte, 2004). “Vārds māja ir sieviešu dzimtē, un man mājas vienmēr asociējas ar sievieti. Mājas jā smaržo – pēc pīrāgiem, tīrības un miera. Neviena no šīm trim smaržām nav iegūstama bez sievietes pašreizējās, ziedošanās un liela darba. Mana mūža svarīgākās sievietes – mamma, sievasmāte, sieva un abas meitas – savulaik ir apguvušas un savās mājās spēj šīs smaržas ienest dažādās proporcijās. “Vecelles” man vēl tagad atmiņās asociējas ar pīrāgu smaržu. Lai cik skarbi kuru brīdi bija apstākļi, pīrāgi tika diezgan regulāri cepti, tāpat dzimšanas dienas tortes. Māja bija arī stūrītis, kur podā stāvēja sālītas reņģes vai brētliņas – tā bija specifiska smarža, ko mūsdienās daudzi bērni pat iedomāties nevar” – atceras Ivars Lācis (Eglīte, 2004).

Ivars Lācis ir laimīgs vīrs, tēvs un vectēvs.

## Literatūra

- Lācis, Ivars. Mana pamatdoma – strādāt: [saruna ar LU rektoru prof. Ivaru Lāci] / Gatis Dilāns, Māra Sadovska; Ivars Lācis // Universitātes Avīze. - Nr.1 (2000, 5 sept.), [1], 4 lpp.
- Lācis, Ivars. Trīs smaržas: [par savām mājām un mājas sajūtu; stāsta Latvijas Universitātes rektors] / Ivars Lācis; mater. sagat. Ina Eglīte // Slavenie latvieši / Eglīte Ina; žurnāls "Mūsmājas". - Rīga: Mūsmājas, 2004. - 2.[sēj.], 85.-89.lpp.: foto.
- Lācis, Ivars. Tumsonība ir mūsu lielākā nelaime: [saruna ar Latvijas Universitātes rektoru] / Ivars Lācis; pierakst. Līgita Kovtuna // Brīvā Latvija. - ISSN 0934-6759. - Nr.34 (2005, 27.aug./2.sept.), 5., 6.lpp.
- Skolas vecuma bērnu redzes uztveres novērtēšanas metode / Gunta Krūmiņa ... [u.c.]; Latvijas Universitāte. [Rīga]: Latvijas Universitāte, c2013 103 lpp.: il., tab.; 24 cm. Ieguldījums tavā nākotnē. ISBN 9789934517167.

# Redzes ergonomika un redzes uztvere

Tatjana Pladere<sup>1</sup>, Māra Vēliņa<sup>1,2</sup>, Karola Panke<sup>1</sup> un Gunta Krūmiņa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

<sup>2</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Matemātikas nodaļa, Statistisko pētījumu un datu analīzes laboratorija, Rīga, Latvija  
tatjana.pladere@lu.lv

## Anotācija

Pētījumā tika noskaidrots, kā redzes stimulu fizikālie parametri ietekmē meklēšanas sniegumu un attēla izskatīšanas stratēģiju, pildot uzdevumu uz inovatīvā volumetriskā daudzplakņu ekrāna. Divdesmit jaunie dalībnieki pildīja vizuālās meklēšanas uzdevumus, kuros atšķīrās demonstrētu stimulu skaits, mērķa-distraktora līdzība un stimulu izkārtojums uz volumetriskā ekrāna plaknēm. Dalībniekiem bija jāatrod mērķa riņķis ar atšķirīgu līnijas platumu, un tad jāsniedz atbilde par tā relatīvo atrašanās vietu uz ekrāna.

Iegūtie rezultāti norāda, ka visi trīs izvēlētie stimulu fizikālie parametri būtiski ietekmē redzes uzdevuma izpildes pareizību, bet ne meklēšanas laiku un stratēģiju. Kopumā visaugstākais sniegums ir novērojams meklēšanas uzdevumos ar zemu mērķa-distraktora līdzību, mazu redzes informācijas apjomu uz dziļākajām volumetriskā ekrāna plaknēm. Savukārt, pie augstas mērķa-distraktora līdzības ilgāks meklēšanas laiks nekompensē redzes uzdevuma grūtību un augsts pareizo atbilžu īpatsvars netiek sasniegts. Plānojot cilvēka-orientēto darba vidi ar volumetrisko daudzplakņu ekrānu, jāņem vērā, ka gan redzes informācijas apjoms, gan interesējošo redzes objektu līdzība tā apkārtējai ainai spēj ietekmēt vizuālās meklēšanas sniegumu un stratēģiju.

## Atslēgas vārdi:

Meklēšanas uzdevums, meklēšanas laiks, mērķa-distraktora līdzība, dziļuma segments, volumetriskais ekrāns

## Ievads

Līdz ar darba vietu digitālizāciju, kļūst svarīgi novērtēt, kā jaunās vizualizācijas tehnoloģijas ietekmē cilvēka spējas veikt darba uzdevumus kvalitatīvi, pārņemtu nenoslogojot redzes sistēmu. Jāatzīmē, ka papildus parasti izmantojamo plakanu ekrānu uzlabošanai šobrīd pasaulē tiek aktīvi izstrādātas trīsdimensionālās (3D) vizualizācijas tehnoloģijas. Turklāt strauji paaugstinās arī pieprasījums un prasības pret inovatīviem ekrāniem. Gan ikdienā, gan daudzās profesionālās jomās ir nepieciešami kvalitatīvi 3D attēli un redzes sistēmai draudzīgi ekrāni, kurus varētu ilgstoši un efektīvi izmantot katru dienu.

Kognitīva ergonomika pēta kā tehnoloģijas ietekmē cilvēka kognitīvās spējas, atmiņu, lēmumu pieņemšanu u.c. Atbilstošie psihofizikālie pētījumi ļauj labāk izprast, kā cilvēks mijiedarbojas ar tehnoloģijām, kā reaģē uz dažādiem fizikāliem parametriem. Darbos iegūtie rezultāti sniedz priekšstatu par to, kā pareizi izmantot jau esošās tehnoloģijas, lai paaugstinātu darba efektivitāti, kvalitatīvi piemērotu darba vidi cilvēka psihiskajām un fiziskajām spējām, nepārslogotu redzes sistēmu, un kādi uzlabojumi ir nepieciešami izstrādājot jaunus ekrānus.

Tas, vai lietotājs spēs pieņemt un efektīvi izmantot jaunu vizualizācijas tehnoloģiju bez veselības un komforta traucējumiem, ir lielā mērā atkarīgs no ekrāna kvalitātes, kā arī no vizuālās informācijas atveides, uztveres, apstrādes un interpretācijas. Tādēļ rūpīga ergonomiskā izvērtēšana ir pieprasīta, lai novērtētu redzes sniegumu un noteiktu nepieciešamos ekrāna pilnveidojumus.

### ***Ergonomisko pētījumu sākums***

Ekrānu ergonomiskā izvērtēšana ir sākusies jau 20. gadsimtā. Īstenojot pirmos pētījumus šajā zinātnes jomā, pārsvarā interese bija vērsta uz būtisku faktoru un to ietekmes īpatsvara definēšanu saistībā ar redzes sniegumu. Tas palīdzēja izprast, kādas priekšrocības sniedza izplatīto ekrānu izmantošana un kādus trūkumus būtu jānovērš nākotnē.

Tajā laikā viena no populārākajām pētījumu īstenošanas pieejām bija redzes snieguma efektivitātes salīdzināšana veicot pēc iespējas identiskākus uzdevumus uz ekrāna un papīra (piem., *Dillon*, 1992). Tirdzniecībā parādītos ekrāniem ar atšķirīgu uzbūvi, tika nodrošināta iespēja izmantot iekārtas ar dažādiem fizikāliem parametriem. Tādēļ, cita pieeja iekļāva atsevišķo digitālā attēla kvalitātes kritēriju ietekmes izvērtēšanu saistībā ar uzdevuma veikspēju (piem., *Plainis & Murray*, 2000). Vēlāk ergonomiskajos pētījumos lielāka uzmanība tika pievērsta ne tikai ekrānam, bet arī lietotāja un apkārtējās vides ietekmei. Darbos noteica, kā lietotāju īpašības, darba vietas izkārtojums un ķermeņa pozīcija ietekmēja darba sniegumu (piem., *Ziefle*, 2003). Tas ļāva uzkrāt pamata zināšanas par tehnoloģiju un cilvēku īpatnību ietekmi uz redzes sniegumu, bet tās ir sistemātiski jāpapildina līdz ar jauno vizualizācijas tehnoloģiju izstrādi, parādīšanos tirdzniecībā un ieviešanu darba vidēs, it sevišķi, ja redzes informācijas attēlošanas veids būtiski atšķiras no jau izpētītiem.

### ***Volumetriskais ekrāns***

Mūsdienās ir zināmas dažādas tehnoloģijas, ar kuru palīdzību ir iespējams atveidot 3D attēlus (*Geng*, 2013). Tomēr liela daļa no tām nenodrošina pilnvērtīgu 3D attēla uztveri un provocē redzes diskomfortu (*Mehrabi et al.*, 2013). Turklāt 3D attēla saskatīšanai ir nepieciešamas speciālās brilles, kuras samazina attēla kvalitāti (*Ideses & Yaroslavsky*, 2005). Tādēļ tiek izstrādāti jauna veida ekrāni, kuri var kļūt par cilvēkam draudzīgāko 3D vizualizācijas sistēmu. Tie ir tā saucamie volumetriskie ekrāni.

No daudzām citām telpiskās vizualizācijas iekārtām volumetriskais ekrāns atšķiras ar to, ka attēls tiek veidots reālā dziļumā bez papildu ierīču novietošanas pirms acīm (*Geng*, 2013). 3D attēls tiek radīts gaismu izstarojot vai izkļiedējot reālā telpā (*Yang & Wu*, 2014), un tas nodrošina iespēju uztvert telpisko attēlu atšķirības, pamatojoties uz binokulāriem dziļuma nosacījumiem (*Reichelt et al.*, 2010). Tas ir iespējams pateicoties īpašai ekrāna uzbūvei. Mūsdienu volumetriskajā ekrānā ātrgaitas projektors projicē attēlus uz gaismu izkļiedējošo virsmu jeb optisko elementu. Attēla tilpums tiek nodrošināts ātri rotējot optisko elementu kopā ar projektoru vai uzbūvējot optisko elementu no daudzām šķidro kristālu plaknēm (*Geng*, 2013).

Volumetriskais ekrāns ir inovatīva 3D vizualizācijas tehnoloģija, kura tiek izstrādāta, lai nākotnē dažādu profesiju pārstāvjiem atvieglotu darbu un samazinātu redzes slodzi. Jāņem vērā, ka divdimensionāli attēli nespēj pilnībā nodrošināt telpiskās informācijas uztveres precīzumu (*Viguer, Clement & Troter*, 2001). Līdz ar to volumetriskā ekrāna izmantošana padarītu attēlu uztveramāku – telpisku attēlu aplūkošanu, salīdzināšanu, analīzi varētu veikt 3D telpā nevis izmantojot daudzus divdimensionālus attēlus.

Vēl viena volumetriskā ekrāna priekšrocība ir tā, ka attēlu var skatīties vairāki cilvēki no dažādiem skatpunktiem (*Geng*, 2013). Ekrāns varētu tikt jēgpilni pielietots izglītībā, medicīnā, drošībā un izklaides jomā (*Mehrabi et al.*, 2013), bet vispirms ir svarīgi izprast, kā šī jaunā vizuālās informācijas attēlošanas tehnoloģija ietekmē cilvēka darba spējas veicot redzes uzdevumu.

### ***Redzes uzdevumi ergonomiskajos pētījumos***

Īstenojot ergonomiskos pētījumus, ir jāņem vērā, ka rezultātus spēj ietekmēt gan ekrāna īpašības, gan redzes uzdevuma īpatnības, ko izmanto eksperimenta ietvaros. Atkarībā no uzdevuma veida, ekrāna izmantošanas ietekme var būt vai nu pozitīva, piemēram, uzlabojot attēla kvalitāti, vai nu negatīva, lietotājam izraisot astenopiskās sūdzības un redzes diskomfortu (*Jameson*, 2012).

Redzes uzdevuma veidam ir izšķiroša nozīme vizuālo tehnoloģiju novērtēšanā, jo pastāv daudzveidīgu faktoru mijiedarbība. Ietekmējošie faktori ir sekojošie: 1) uzdevuma veids (kas lietotājam ir jādara), 2) lietotāja īpašības (pieredze, redzes funkciju kvalitāte, motivācija), 3) stimulu fizikālie parametri (izmērs, savstarpējais attālums), 4) ekrāna īpašības (kontrasts, izšķirtspēja), 5)



ārējie faktori (apkārtējais apgaismojums un laika ierobežojums). Ņemot vērā pastāvošo mijiedarbību starp dažādiem faktoriem, plānojot pētījumu, ir rūpīgi jāizvērtē, kā tiks nodrošināti vienveidīgi eksperimenta apstākļi.

Lai pētītu darba spējas atkarībā no ekrāna veida, tiek plaši izmantoti vienkārši objektu noteikšanas un atpazīšanas uzdevumi, lasīšanas un atmiņas uzdevumi, kā arī vizuālās meklēšanas uzdevumi. Kopumā visus redzes uzdevumus var klasificēt divos galvenajos veidos: 1) ar semantiskās nozīmes saturu (piemēram, lasīšana) un 2) bez semantiskā satura (piemēram, mērķa objekta meklēšana). Dotajai atšķirībai ir būtiska ietekme uz pētījuma rezultātu ekoloģisko derīgumu, vispārīgu interpretāciju un jutību pret attēla kvalitātes trūkumiem, kuri ir saistīti ar ekrānu (Jameson, 2012).

Izmantojot redzes uzdevumus ar semantisko nozīmi, var tikt atveidotas īstas darbības, ko lietotājs veic uz dotā ekrāna, tādējādi, eksperimentālās vērtēšanas process tiek uzskatīts par ekoloģiski derīgu. Tomēr, tika pierādīts, ka šie uzdevumi nav pietiekami jutīgi uz attēla kvalitātes samazināšanos saistībā ar ekrāna fizikālajām īpašībām (piem., Ziefle, 1998). Tam par iemeslu min lejupejošo procesu ietekmi. Ir labi zināms, ka teksta lasīšana ir automātisks process, un lietotājs spēj veiksmīgi uztvert informāciju, pat ja daļa no teksta nav skaidri redzama. Rezultātā redzes snieguma izmaiņas nav nozīmīgas lejupejošo kognitīvo procesu dominances dēļ, un ekrāna trūkumi var tikt nepamanīti.

Izmantojot uzdevumus ar semantisko nozīmi, ekrāna kvalitātes ietekme nebūs atspoguļota, it īpaši, ja eksperimenta procedūra ir īslaicīga. Neskatoties uz zemāku ekoloģisko derīgumu, vizuālās meklēšanas uzdevumi uzrāda augstāku jutību uz ekrāna fizikālajām īpašībām, tādēļ, ka vizuālās informācijas apstrādes process ir atkarīgs no ekrāna vizuālajām īpašībām bez efektu spēcīgas maskēšanas lejupejošo procesu dēļ (Jameson, 2012).

### ***Vizuālās meklēšanas uzdevums***

Kopš klasiskās Treismanes (Treisman & Gelade, 1980) pazīmju apvienošanas teorijas un uzdevuma koncepcijas ieviešanas, vizuālās meklēšanas uzdevums ir kļuvis par populāru psihofizikālo metodi, kuru izmantojot ir iespējams noteikt sakarību starp fizikāliem stimuliem un attiecīgo redzes uztveres atbildi (Carrasco, 2011).

Tradicionāli uzdevumā jānosaka mērķa objekta klātesamība vai klātnesamība citu stimulu vidū. Ir labi zināms, ka redzes sistēma nespēj apstrādāt pilnīgi visu informāciju no apkārtējās vides vienlaikus. Kognitīvajās zinātnēs šis fenomens tiek plaši pētīts un ir konstatēts, ka uzmanība palīdz pasargāt smadzenes no pārslodzes, ļaujot efektīvi izmantot ierobežoto redzes procesu kapacitāti (Wolfe, 2000). Tādēļ spēja pievērst uzmanību svarīgām lietām un noturēt to, neskatoties uz uzmanības novērsēju klātesamību, ietekmē dažādu aktivitāšu un darba efektivitāti kopumā.

Redzes uzmanība tiek definēta kā kognitīvo procesu kopums, kas strādā kā redzes stimulu filtrācijas mehānisms un nodrošina informācijas apstrādi no noteiktiem tīklenes apgabaliem, selektīvi iedarbinot redzes sistēmas mehānismus (Carrasco, 2011). Eksperimentāli tika apliecināts, ka redzes uzmanība spēj ietekmēt smadzeņu reģionu neirālo procesu dinamiku un sinhronizāciju, kontrolējot holīnerģiskos mehānismus redzes garozā (Gu & Liljenström, 2007). Līdz ar to, tika secināts, ka uzmanības procesi spēj daļēji kontrolēt, vai redzes uztvertie neironu impulsi tiek nodoti tālākai apstrādei vai nomākti. Kopumā uztveres organizācijai un uzmanībai ir izšķiroša nozīme vizuālās vides uztverē.

Meklēšanas uzdevumos izmanto vairāku veidu stimulus. Redzes stimuli, kuri atšķiras no mērķa stimula ar vienu vai vairākām pazīmēm, tiek saukti par distraktoriem jeb uzmanības novērsējiem. Tādējādi meklēšanas veida uzdevuma dizainā parasti tiek pielietota divu alternatīvu piespiedu izvēles procedūra atbildes iesniegšanā (Pelli & Farell, 1995). Lai samazinātu minēšanas varbūtību, tiek izstrādāti arī citi uzdevuma dizainu varianti, piemēram, indivīdam ir nevis jānosaka mērķa stimula klātesamība, bet jānodedinē tā atrašanās vieta attēlā vai telpā.

Vizuālajā meklēšanā distraktori var atšķirties no mērķa stimula pēc dažādiem parametriem. Klasiskajā klasifikācijā izšķir divus galvenos meklēšanas uzdevuma tipus: pazīmes meklēšanu (*feature search*) un pazīmju konjunkcijas meklēšanu (*conjunction search*). Pazīmes meklēšanas uzdevumā katrs distraktors atšķiras no mērķa tikai pēc vienas pazīmes. Tā var būt, piemēram, forma,

virziens vai lielums. Savukārt, ja tā ir pazīmju konjunkcijas meklēšana, tad distraktori atšķiras no mērķa ar vismaz divām pazīmēm. Saprotais, ka abu veidu uzdevumu veikšanas grūtības pakāpe būtiski atšķiras (Wolfe, 2000).

Agrāk tika uzskatīts (Treisman & Gelade, 1980), ka, veicot pazīmes meklēšanas uzdevumu, smadzenēs notiek tā saucamā paralēlā informācijas apstrāde – informācija no daudziem distraktoriem var tikt apstrādāta vienlaicīgi, līdz ar to meklēšana ir samērā ātra. Tādā gadījumā uzdevuma izpildīšanas laiks nemainās palielinoties stimulu skaitam uzdevumā. Savukārt, ja pazīmju, pēc kurām atšķiras mērķis un distraktors, ir vairāk, tad ir nepieciešama sērijveida informācijas apstrāde. Tā ir īpatnēja ar to, ka informācija par katru simbolu tiek apstrādāta gandrīz izolēti no iepriekšējā vai nākamā, un ir nepieciešama tiešas uzmanības pievēršana katram objektam atsevišķi. Tādēļ uzdevuma izpildīšanai patērētais laiks pieaug lineāri atkarībā no stimulu skaita.

Tomēr turpmāk tika secināts, ka šis sadalījums sērijveida un paralēlos kognitīvajos procesos atkarībā no pazīmju skaita, kas atšķir mērķa objektu no visiem pārējiem, nav viennozīmīgs. Piemēram, ir pierādīts, ka, jo mazāk distraktors atšķiras no mērķa, jo grūtāk atrast mērķi. Tādā gadījumā (uzdevumā ar augstu mērķa-distraktora līdzību) veiksmīga uzdevuma izpildīšana aizņem vairāk laika, ja stimulu skaits tiek palielināts, kas savukārt ir raksturīgs sērijveida apstrādei, neskatoties uz to, ka tikai viena pazīme atšķir mērķi no distraktoriem. Līdzīga atradne ir novērojama uzdevumos ar lielu stimulu skaitu un / vai lielu uzdevuma ekrānu (Hulleman et al., 2017). Šeit pazīmju analīzes procesi nevar notikt pilnīgi vienlaicīgi, jo redzes sistēmas telpiskajai izšķirtspējai ir zināmas robežas. Tādējādi vēlāk tika izvirzītas divas citas ietekmīgas teorijas – virzītā meklēšana (Wolfe et al., 1989) un uzmanības iesaistīšanas teorija (Duncan & Humphreys, 1989).

Jāatzīmē, ka vairākas objekta pazīmes var tikt apstrādātas paralēli meklēšanas laikā. Tāpat kopumā meklēšana nav tikai sērijveida vai paralēls process smadzenēs, bet drīzāk tā ir šo abu procesu veidu mijiedarbība ar mainīgo īpatsvaru, kas var būt atkarīga no dažādiem faktoriem, piemēram, redzes uzdevuma grūtības, cilvēka pieredzes veikt darbību u.c.

Tiek plaši pētīts, kādi kognitīvie procesi nosaka meklēšanas stratēģiju un ietekmē rezultātu. Visus procesus iedala augšupejošos (*bottom-up*) un lejupejošos (*top-down*). Augšupejošie procesi ir tieši ietekmēti no redzes stimulu fizikāliem parametriem. Vizuālā uztverē vēl pirms tiešas uzmanības pievēršanas var notikt informācijas apstrāde noteiktajām stimulu īpašībām, pamatojoties uz izmaiņām redzes laukā sekojošos parametros – krāsa, intensitāte, virziens u.c. (Treisman, 1980). Analizējot acu kustības (Anderson et al., 2015) ir pierādīts, ka brīvas izvēles nosacījumos pirmās acu fiksācijas ir virzītas uz tām attēla vietām, kurām piemīt vislielākā nozīme (*saliency*). Citiem vārdiem sakot, redzes uzmanība ir pievērsta attēlu vietām, kurās ir ievērojamas pamata īpašību izmaiņas.

Fizikālo parametru uztvere redzes stimulus tiek ietekmēta arī dalībnieka redzes kvalitātes dēļ. Piemēram, cilvēkam var būt grūtāk noteikt mērķa stimula klātesamību, ja viņa redzes asums ir samazināts un atbilstoša optiskā korekcija nav lietota. Turklāt, sliktāki rezultāti meklēšanas uzdevumā var tikt uzrādīti, ja cilvēka kontrastjutība ir samazināta.

Savukārt lejupejošie procesi ietver cilvēka motivāciju, pieredzi un modrību. Kā jebkuru no psihofizikāliem testiem, arī meklēšanas uzdevuma izpildi un rezultātu būtiski ietekmē motivācija – ārējā un iekšējā (Schneider et al., 2018). Tādēļ ir ļoti svarīgi, ka katru reizi pētījuma dalībnieki saņem vienas un tās pašas instrukcijas, turklāt testa veicējs pārliecinās par dalībnieka izpratni. Parasti vizuālā meklēšanā dominē lejupejošie procesi, bet procesu kontrole var tikt mainīta, piemēram, noguruma apstākļos (Faber et al., 2012).

Jāatzīmē, ka vizuālā meklēšana ir ne tikai neatņemama ikdienas sastāvdaļa, bet arī profesionālā darbība, kas ietver meklēšanas procesus. Augsta vizuālās meklēšanas efektivitāte ir būtiska profesionālās jomās, tādās kā drošība (cilvēku seju atpazīšana, kravu un bagāžas satura analīze) un medicīna (operāciju vizualizācija, diagnostika, pielietojot rentgena un datortomogrāfijas attēlus). Katrā no šīm jomām ir svarīgi zināt, kā speciālistu uztveres procesus ietekmē attēlu fizikālās īpašības, ekrāna vizualizācijas iespējas, darbinieku apmācība, un kādas iespējas pastāv darbības rezultāta un sniegto pakalpojumu uzlabošanā.

### ***Interaktīva vizuālā meklēšana***

Pēdējo septiņu gadu laikā visvairāk tiek pētīts, kā dažādi faktori ietekmē radiologu redzes uztveri un meklēšanas efektivitāti. Ikdienā radiologi izskata lielu daudzumu vizuālās informācijas, un daudzi no viņu uzdevumiem iekļauj vizuālās meklēšanas procesus (*van der Gijp et al., 2017*).

Interpretējot datortomogrāfijas diagnostikas attēlus, radiologu pirmais uzdevums ir noteikt vai dotajā attēlā ir redzamas patoloģiskās izmaiņas, līdzīgi kā klasiskajā meklēšanas uzdevumā, kad jānosaka mērķa stimula klātesamība. Otrkārt, radiologam jāspēj lokalizēt anomāliju anatomiskajās struktūrās. Treškārt, speciālists izvērtē anomāliju un raksturo to, nosakot tā izmēru, formu un citas īpašības (*Andriole et al., 2011*). Analizējot radiologu darba kļūdas, ir noteikts, ka tās var rasties katrā no šiem posmiem (*Drew et al., 2013a*), bet pirmā posma kļūdas ir visnozīmīgākās, jo nepamanot mērķa stimula klātesamību dotajā attēlā, speciālists noteikti nespēs turpmāk īstenot 2. un 3. posmu.

Tādējādi pareiza medicīnisko attēlu izskatīšana un interpretācija ir tieši saistīta ar vizuālās meklēšanas pareizību, ko uzrāda radiologi (*Nakashima et al., 2013*). Tādēļ viņu darbu spēj ietekmēt gan vispār zināmi eksogēnie, gan endogēnie faktori, kuri ietekmē jebkuru meklēšanas procesu. Tomēr radiologiem šis uzdevums var būt sevišķi komplicēts.

Daudzos attēlos ir novērojama augsta mērķa-distraktora līdzība, kas ietekmē speciālistu uzmanības pievēršanas spējas un acu kustību skaitu. Turklāt nereti šis faktors mijiedarbojas ar daļējo mērķa objekta oklūziju, jo anatomiskās struktūras maskē klīniskās atradnes. Piemēram, plaušu pūslīši var būt daļēji aizklāti vai paslēpti krūškurvja ribu dēļ (*Krupinski, 2010*). Tādā gadījumā noder iespēja apskatīties anatomisko struktūru no vairākām pusēm, lai uzlabotu meklēšanas efektivitāti. Citādi sfēriskais mērķa objekts var atšķirties no apkārtējās vides tikai mazliet – ar vienu vai dažām īpašībām, tādām kā izmērs, forma un ārējā apvalka biežums.

Parādoties interaktīvām attēlu kopām un trīsdimensionāliem ekrāniem, vizuālās meklēšanas pētījumu interese ir ievērojami paplašinājusies un ir parādījušies jauni parametri, lai raksturotu meklēšanas procesus. Viens no tādiem parametriem ir attēlu pārvietojumu secība jeb ritināšanas stratēģija (*den Boer et al., 2018*). Tas ir veids, kā speciālisti izskata daudzus attēla slāņus, izmantojot datorpeli, kursorsviru vai datora tastatūru.

Pētījumi liecina, ka radiologi pārsvarā izmanto divu veidu meklēšanas stratēģijas – tā saucamo lokālo un globālo meklēšanu, kas var būt saistīta ar meklēšanas uzdevuma izpildes kvalitāti (*Drew et al., 2013a*). Lokālā meklēšana izpaužas, pētot vairākus attēlus vienu pēc otra, selektīvi apskatot atsevišķus attēla reģionus un pārvietojoties starp attēla dziļuma plaknēm salīdzinoši ātri. Savukārt globālā meklēšana nozīmē, ka tiek apskatīta katra atsevišķa slāņa kopaina, un process ir ilgstošs. Salīdzinoši mazs pārvietojumu skaits ir raksturīgs globālai meklēšanai, savukārt, lielāks atpakaļsoļu skaits – lokālai meklēšanai.

Eksperimentāli pierādīts, ka speciālisti izmanto metodiskāku un daudz labāk organizētu meklēšanu nekā studenti vai iesācēji. Analizējot acu kustību pierakstus (*Diaz et al., 2015*) un ierobežojot meklēšanas laiku, tika uzzināts, ka pirmajās sekundēs speciālisti izskata kopainu kā globālajā meklēšanā, un tad „pārslēdzas” uz lokālo meklēšanu, kas kopumā ir ievērojami ātrāks un precīzāks darba veids nekā studentu izmantotā globālā meklēšanas metode visam uzdevumam. Tiek uzskatīts, ka holistiskā informācijas apstrāde ir saistīta ar speciālistu pieredzi (lejupejošiem procesiem), jo viņi pēc pieredzes vairāk zina, kuros attēla reģionos biežāk sastopamas anomālijas un kā pielāgot meklēšanu atkarībā no attēla fizikāliem parametriem (*Drew et al., 2013b*), efektīvi izmantojot informāciju parafoveālā un perifērā redzes apgabalā (*Sheridan & Reingold, 2017*). Tomēr to nevarētu apgalvot par studentiem vai iesācējiem, jo viņu pieredze ir daudz mazāka, tāpēc viņiem ir nepieciešams ilgāks laiks pavadīt pie katra attēla slāņa. Turklāt, pētnieki skaidro, ka studentu meklēšanas stratēģiju var vairāk ietekmēt attēla fizikālie parametri (*saliency map*), jo nav pietiekami uztrenēta lejupejošo procesu iesaiste (*Wolfe et al., 2016*). Ritināšanas analīze (*Boer et al., 2018*) apliecina, ka atšķirīgi kognitīvi procesi ir cieši saistīti ar noteiktu veidu stratēģijām, ko speciālisti pielieto mijiedarbojoties ar profesionālo meklēšanas uzdevumu uz ekrāna. Tiek pausta ideja, ka liels redzes informācijas apjoms un izvēlētas meklēšanas stratēģijas neefektivitāte kopumā ved pie pārmēru kognitīvās slodzes un rezultējošā noguruma (*Mizuno et al., 2011*). Iespējams, šis izaicinājums varētu tikt pārvarēts, ja papildu demonstrētu anatomisko struktūru renderētus telpiskus

attēlus (*Andriole et al.*, 2011), un tad samazinātos nepieciešamība turēt lielu informācijas daudzumu atmiņā.

Pirms profesionālu snieguma noteikšanas darbā ar volumetrisko ekrānu, ir nepieciešams uzzināt, kā izvēlētais redzes uzdevuma veids ietekmē sniegumu vispārīgi. Tādējādi, plānojot pētījumu, kurā mērķē detalizēti un daudzpusīgi novērtēt darba sniegumu, lai analizētu ekrānu ietekmi uz redzes procesiem, ir ieteicama divu soļu procedūra (*Jameson*, 2012). Pirmajā daļā jāiesaista jauni cilvēki ar netraucētām redzes funkcijām un bez pieredzes jaunās vizualizācijas iekārtas izmantošanā. Turpmāk iegūtie dati kalpos par atskaites sistēmu dažādu faktoru ietekmes analīzē. Tikai tad otrajā daļā būtu jāaicina dalībnieki ar atšķirīgām īpašībām, lai paplašinātu zināšanas par ekrāna ietekmi un to mijiedarbību ar lietotāju īpatnībām. Piemēram, dalībai pētījumā ir vērts piesaistīt gados vecākus lietotājus, tādēļ ka viņi pārstāv lielāko darbaspēka daļu, specifisko profesiju pārstāvjus, lietotājus ar pazeminātu redzes asumu un dažādu redzes korekciju. Jāpiebilst, ka eksperimenta procedūrai jābūt salīdzinoši ilgai, lai pilnvērtīgi novērtētu datoru ekrānu ilgtermiņa ietekmi.

Lai izvērtētu vizuālās meklēšanas īpatnības darbā ar volumetrisko ekrānu, mēs veicām pētījumu, kura mērķis bija novērtēt mērķa-distraктора atšķirības, redzes stimulu skaita un ekrāna dziļuma segmenta ietekmi uz meklēšanas sniegumu, laiku un mijiedarbību ar vizuālo uzdevumu. Mērījumiem tika izmantota speciāli izveidota datorprogramma, kas ģenerēja redzes stimulus uz ekrāna un ļāva noteikt meklēšanas laiku, atbildes pareizību, kā arī izsekot mijiedarbības stratēģiju. Šāds pētījums ļauj novērtēt vizuālās meklēšanas īpatnības darbā ar volumetrisko ekrānu atkarībā no stimulu fizikālajām īpašībām.

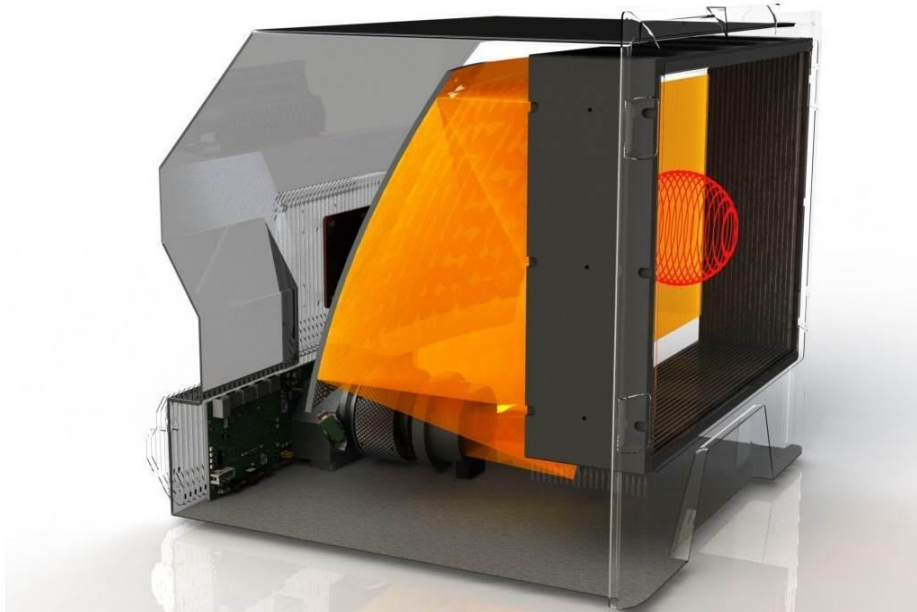
## **Pētījuma dalībnieki**

Pētījumā piedalījās divdesmit cilvēki (vecumā no 21 līdz 29 gadiem). Četrpadsmit cilvēkiem bija emetropija, bet sešiem – koriģēta miopija (ar kontaktlēcām). Visiem dalībniekiem tuvumā (45 cm attālumā) binokulārais redzes asums bija 1,0 (decimālajās vienībās), kā arī bija netraucēta binokulārā redze un stereoredze. Pētījuma procedūru apstiprināja Latvijas Universitātes Akadēmiskā ētikas komisija, un pētījums tika veikts, ievērojot Helsinku deklarāciju.

## **Iekārta**

Redzes stimuli tika parādīti uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna (*LightSpace Technologies*, x1405). Ekrānā ir daudzplakņu optiskais elements, optiskā elementa dzinējs, ātrgaitas projektors un buferis. Optiskais elements volumetriskajā daudzplakņu ekrānā sastāv no 20 šķidro kristālu plaknēm, kuras atrodas viena aiz otras (skat. 1. att.). Attālums starp plaknēm ir 5,0 mm, katras plaknes biezums – 1,1 mm. Tādējādi kopējais optiskā elementa platums sastāda aptuveni 11,7 cm. Volumetriskā ekrāna parametri: 39,5 cm garš un 29,5 cm augsts. X, Y, Z izšķirtspēja ir 1024x768x20 pikseļi. Aptuveni 45 cm attālumā bija nodrošināts no volumetriskā ekrāna priekšējās plaknes līdz dalībnieka acu plaknei.

Volumetriskā ekrāna darbības mehānismā ir ātra šķidro kristālu difūzeru pārslēgšanās starp diviem optiskiem stāvokļiem – izkliedējošu un caurspīdīgu (*Osmanis et al.*, 2018). To panāk ar elektriskā sprieguma palīdzību. Katrā brīdī, veidojot volumetrisko attēlu uz ekrāna, tikai viena plakne izkliedē gaismu, kas nāk no projektora. Tajā pašā laikā pārējās plaknes laiž cauri gaismas starus, proti, tās ir caurspīdīgas. Attēla atjaunošanās frekvence ir 60 Hz. Pārslēgšanās starp caurspīdīgu un izkliedējošu stāvokli visām ekrāna plaknēm notiek tik ātri, kā mūsu redzes sistēma nespēj noteikt atsevišķu divdimensionālu attēlu klātesamību. Tādējādi, daudzi divdimensionāli attēli no dažādām vietām ekrāna dziļumā tiek apvienoti, un rezultātā mēs redzam trīsdimensionālo attēlu volumetriskā ekrāna iekšā.



1. att. SIA “LightSpace Technologies” volumetriskais daudzplakņu ekrāns (Osmanis *et al.*, 2018).

### ***Meklēšanas uzdevums***

Ņemot vērā parametrus, kuri spēj ietekmēt darba efektivitāti pie dažāda veida ekrāniem, tika izveidota meklēšanas uzdevumu metode, lai varētu raksturot cilvēka darba spējas atkarībā no skatīšanās attāluma, redzes informācijas apjoma un sarežģītības gan volumetriskajam ekrānam, gan ikdienā izmantojamam plakanam ekrānam. Nepieciešamības gadījumā metode var būt adaptēta arī izmantošanai uz ekrāna ar anaglifa vai polarizētiem filtriem, nodrošinot attēlu sadalījumu abām acīm.

Meklēšanas uzdevumā uz izvēlētā ekrāna parādās attēli ar riņķiem, no kuriem viens atšķiras visvairāk no visiem pārējiem. Visi stimuli ir ahromatiski. Dalībnieka uzdevums ir to atrast un noteikt relatīvu lokalizāciju uz ekrāna, pildot uzdevumu līdzīgi kā darba ikdienā – precīzi un ātri. Darba efektivitāti vizuālajā meklēšanā raksturo izpildīšanas kvalitāte (pareizo atbilžu skaits), uzdevumam patērētais laiks, pārvietojumu skaits un secība attēlu kopās.

### ***Stimulu fizikālie parametri datorprogrammas iestatījumos***

Darbā bija izveidota datorprogramma, lai pētītu vizuālo uztveri, cilvēkiem pildot meklēšanas uzdevumus uz dažāda veida ekrāniem. Tajā ir nodrošināta plaša izvēle pētāmajiem parametriem. Palaižot datorprogrammu, ir iespēja iestatīt vērtības katrā no sekojošiem parametriem (skat. 2. att.):

- *skatīšanas attālums* – attālums no dalībnieka acu plaknes līdz ekrāna priekšējai virsmai (metros);
- *stimula izmērs* – ārējais riņķa diametrs (leņķiskajās mērvienībās – grādos);
- *uzdevuma atkārtojumu skaits* – mēģinājumu skaits uzdevumam ar uzstādītajiem parametriem;
- *segments* – ekrāna plaknes, kurās tiks projicēti riņķi; “1” nozīmē, ka riņķi būs projicēti 1.-10. plaknē, skaitot no skatītājam vistuvākās plaknes (turpmāk tekstā tas tiks apzīmēts kā priekšējais segments); “11” nozīmē, ka riņķi būs projicēti 11.-20. plaknē (turpmāk tekstā tas tiks apzīmēts kā mugurējais segments);
- *fiksācijas laiks* – laiks, cik ilgi fikācijas krustiņš parādās uz ekrāna pirms katra mēģinājuma 1. vai 11. plaknē atkarībā no izvēlētā dziļuma segmenta;
- *pazīmes lielums* – mērķa-distraktora līdzības lielums, piemēram, 1,25 nozīmē, ka mērķa riņķis atšķirsies no visiem pārējiem stimuliem par 25 % atbilstoši izvēlētajai pazīmei;
- *pazīme* – mērķa-distraktora līdzības veids. Izvēloties “2”, mērķa objekts atšķiras no distraktoriem ar riņķa līnijas platumu tā centra virzienā. Izvēloties “3”, mērķa objekts atšķiras no distraktoriem ar vienu no perpendikulāriem diametriem, citādi sakot, tas kļūst par ovālu, ar lielāku diametru vertikālā virzienā, salīdzinot ar horizontālo;

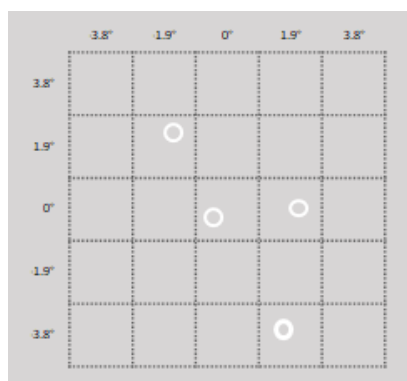
- *set size* – riņķu skaits katrā no 10 attēliem, tādējādi kopējais stimulu skaits ir izrēķināms pareizinot *set size* vērtību ar 10.

**2. att.** Datorprogrammas iestatījumu piemērs meklēšanas uzdevumam uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna. Lai palaistu šo uzdevumu uz plakanā ekrāna, ir jāizvēlas “lietot 2D ekrānu” un papildu jāievada trīs parametri.

### ***Redzes stimulu izkārtojums uz ekrāna***

Attēlu kopa sastāv no desmit divdimensionāliem attēliem. Divdimensionāls attēls ir nosacīti sadalīts 25 kvadrātos ar viduslīnijām  $0^\circ$ ,  $1,9^\circ$  un  $3,8^\circ$  leņķiskajos attālumos, skaitot no attēla centra. Katrā no kvadrātiem var atrasties riņķis. Tādējādi vienā attēlā vienlaikus var tikt radīti  $5 \times 5$  jeb maksimāli 25 stimuli.

Mērķa riņķis nevar būt novietots kvadrātos ar viduslīniju  $0^\circ$ , jo tādu lokāciju nevar nozīmīgi definēt kā atbilstošo vienam no kvadrantiem. Tomēr tajos kvadrātos var būt citi stimuli. Katras plaknes ietvaros stimuli nevar būt kopējo punktu, citiem vārdiem sakot, tie nevar “pieskarties” cits citam. Lai pētītu meklēšanas stratēģiju, pārvietojoties attēlu kopās, mērķa riņķis nevarēja atrasties skatītājam tuvākajās piecās izvēlētajā segmenta plaknēs (1.-5. vai 11.-15.).



**3. att.** Riņķu izkārtojuma piemērs vienam no attēliem uz ekrāna, kad uzdevuma iestatījumos *set size* ir 4. Riņķis ar lielāku līnijas biezumu (jeb mērķa riņķis) ir redzams kvadrāta koordinātēs  $x = 1,9^\circ$ ,  $y = -3,8^\circ$ . Stimulu izkārtojuma mērogs nav atbilstošs ekrāna lielumam.

3. attēlā ir ilustrēts piemērs redzes stimulu izkārtojumam uz vienas plaknes (no 10), kad ievadāmos parametros stimulu skaits (*set size*) ir 4, un plakne satur mērķa objektu (līniju un skaitļu uz ekrāna nav, pelēks laukums ilustrē ekrāna plakni).

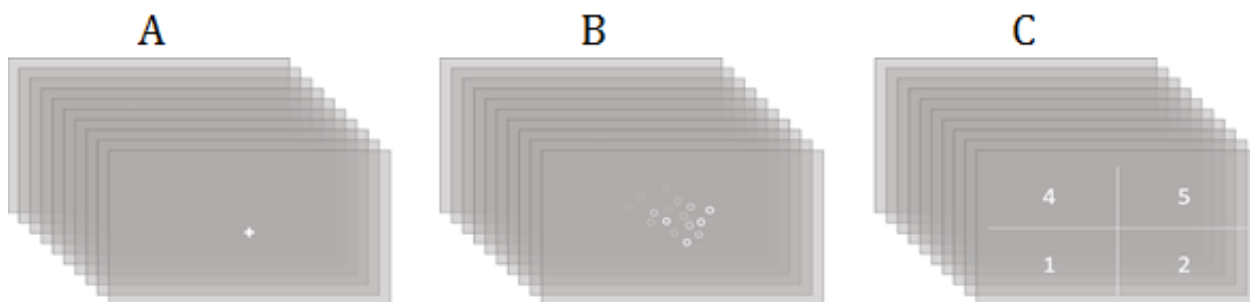
### **Meklēšanas uzdevuma secība**

1. *Fiksācijas krusts*. Pirms katra uzdevuma parādās fikācijas krusts 1. vai 11. ekrāna plaknes centrā atkarībā no izvēlētā dziļuma segmenta (ievadāmie datorprogrammas parametri aprakstīti zemāk). Fiksācijas krusta parādīšanās laiks tiek regulēts uzdevuma iestatījumos. Optimālais fikācijas laiks ir robežās no 400 ms līdz 1000 ms, lai nodrošinātu skata fikāciju centrā pirms katra mēģinājuma izpildīšanas. Pētījuma nolūkiem tika izvēlēts 1000 ms ilgums. Fiksācijas krusta lielums ir tāds pats kā riņķiem.

2. *Meklēšanas uzdevums*, kas sastāv no 10 attēliem uz 10 ekrāna plaknēm (1.-10. vai 11.-20.). Sākumā uz volumetriskā ekrāna ir redzami visu 10 attēlu kopa, kur katrs attēls atrodas savā plaknē. Uzdevuma izpildīšanas laiks nav ierobežots.

Meklējot mērķa stimulu, dalībnieks pārvietoja attēlus, nospiežot bultiņu “uz augšu”, ja vēlas ekrāna priekšējā plaknē ieraudzīt dziļākajā plaknē projicēto attēlu, “uz leju” – ja iepriekšējo. Kad dalībnieks vienreiz nospiež “uz augšu”, visi attēli pārvietojas par vienu dziļuma plakni tuvāk dalībniekam. Un pretēji – ja nospiež “uz leju”, tad attēli pārvietojas par vienu plakni dziļumā no dalībnieka. Tātad, katru reizi pārvietojoties dziļāk attēlu kopā, tiek “noņemts” dalībniekam tuvākais attēls un visi pārējie tiek pārvietoti par vienu plakni uz priekšu, un otrādi. Svarīgi, ka lineārais stimulu lielums un savstarpējais attālums mainās saskaņā ar leņķiskiem izmēriem. Uzdevums beidzas tad, kad dalībnieks uzskata, ka ir noteicis mērķa stimula klātbūtni un viņš nospiež atstarpes taustiņu datora tastatūrā.

3. *Atbildes sniegšana*. Pēc atstarpes nospiešanas, uz ekrāna parādās atbilžu varianti 1. plaknē vai 11. plaknē atkarībā no sākumā izvēlētā dziļuma segmenta. Dalībniekam jānospiež klaviatūras taustiņš, raksturojot, kurā no kvadrantiem redzēja mērķa riņķi. ‘1’, ja kreisajā apakšējā kvadrantā; ‘4’, ja kreisajā augšējā kvadrantā; ‘2’, ja labajā apakšējā kvadrantā, ‘5’, ja labajā augšējā kvadrantā (skat. 4. att.).



4. att. Meklēšanas uzdevuma secība tipiskam mēģinājumam. Vispirms segmenta pirmās plaknes centrā parādījās fikācijas krustiņš (A). Tad sekoja meklēšanas uzdevums, šeit ilustrēts, kā riņķu kopums uz 10 ekrāna plaknēm (B). Atbildes iesniegšanas laikā dalībniekam tika parādīti četri atbilžu varianti (C).

Dotie atbilžu varianti ir izvēlēti, lai dalībnieks varētu ātrāk ievadīt atbildi, jo skaitļu izkārtojums ir tāds pats, kā klaviatūras labajā apakšējā pusē. Uzdevuma laikā mērķa objekts vairākas reizes parādījās katrā no četriem kvadrantiem uzdevuma pildīšanas laikā nejaušā secībā. Pēc atbildes iesniegšanas parādījās fikācijas krusts, un sekoja nākamais meklēšanas uzdevums.

### **Pētījuma gaita**

1. Binokulārā redzes asuma un stereoasuma noteikšana tuvumā. Binokulārais redzes asums tika noteikts ar tuvuma redzes tabulu un stereoasums – ar *Titmus* testu 45 cm attālumā. Anamnēzes vākšana, kas iekļauj informācijas iegūšanu par dalībnieka redzes un veselības stāvokli, izmantojamo optisko korekciju, dažādu ekrānu izmantošanas pieredzi. Dalībnieks tiek iepazīstināts ar pētījuma mērķi un pielietojamām metodēm, kā arī sniedz rakstisku apliecinājumu par brīvprātīgu dalību pētījumā.



2. Darba vietas iekārtošana tā, lai ekrāna priekšējais virsmas centrs būtu tieši pretī dalībnieka acīm un 45 cm skatīšanas attālumā (skat. 5. att.). Ja eksperiments tiek veikts mezopiskos vai skotopiskos redzes apstākļos, tad turpmāk seko redzes adaptācija izvēlētajiem redzes apstākļiem un instrukciju sniegšana dalībniekam. Turklāt dalībnieks tika aicināts uzlikt pirkstus uz klaviatūras noteiktā veidā – kreisajai rokai jābūt klaviatūras kreisajā apakšējā pusē tā, lai būtu ērti spiest „atstarpi”, savukārt labajai rokai jābūt labajā apakšējā pusē, tā lai varētu nospriest bultiņas „uz augšu” un „uz leju”.



5. att. Eksperimentālais izkārtojums, kad meklēšanas veida uzdevums tika pildīts uz “*LightSpace Technologies*” volumetriskā ekrāna. Attēli tika demonstrēti uz vairākām ekrāna plaknēm patiesā dziļumā.

3. Iepazīšanās ar meklēšanas uzdevumu. Ja dalībnieki pirmo reizi veic meklēšanas uzdevumu attēlu kopās un / vai uz volumetriskā ekrāna, ir svarīgi, ka viņiem tiek nodrošināta iespēja izmēģināt veikt šo uzdevumu pirms pētījuma datu vākšanas. Šajā laikā operators uzmanīgi seko līdz dalībnieka uzvedībai, pārliecinās par to, vai dalībnieks ir sapratis meklēšanas uzdevumu un spēj to izpildīt. Turklāt operators var sniegt atbildes uz precizējošiem dalībnieka jautājumiem, bet viņš nedrīkst ietekmēt dalībnieka meklēšanas procesu, piemēram, aicinot veikt vairāk pārvietojumu attēlu kopās vai kustināt galvu. Pildot iepazīšanās mēģinājumus, dalībnieks iemācās veikt šo uzdevumu un apzināti vai neapzināti izvēlās meklēšanas stratēģiju.

Iepazīšanās nolūkiem uzdevuma parametros ir ieteicams izvēlēties tādu vizuālās informācijas daudzumu un īpašības, lai iepazīšanās uzdevums nebūtu pārmēru grūti vai pārāk viegli izpildāms, bet tajā pašā laikā – varētu sniegt priekšstatu dalībniekam par to, kā mērķa stimuls atšķiras no pārējiem stimuliem un aptuveni kā izskatīsies uzdevumi pašā eksperimentā. Tādēļ šajā uzdevumā tika izmantots 20 % mērķa pazīmes lielums un 40 stimuli uzdevumā. Ja tiek pielietots pētījuma īsais variants, tad mērķa distraktora līdzība var būt lielāka, piemēram, 25 % vai 30 % mērķa pazīmes lielums, un stimulu skaits – mazāks, piemēram, 30 stimuli kopā uz ekrāna. Turpmākā datu apstrādē šie rezultāti netika ņemti vērā.

4. Meklēšanas uzdevumu sesija. Dalībnieka uzdevums bija pareizi un ātri noteikt mērķa riņķa klātbūtni vienā no četriem iespējamajiem kvadrantiem. Uzdevuma izpildīšanas laiks un pārvietojumu skaits nebija ierobežots programmā, jo šādi nosacījumi atbilst ikdienas darbam.



### ***Izvides dati un to apstrāde***

Pēc meklēšanas uzdevuma sesijas beigšanas, datorprogramma izveido datu failu *comma-separated values* formātā. Tajā ir redzama sekojoša informācija par katru no mēģinājumiem:

- *mērķa stimula atrašanās vieta* – horizontāla un vertikāla mērķa objekta pozīcija kvadrātos ar viduslīniju  $-3,8^\circ$ ,  $-1,9^\circ$ ,  $1,9^\circ$  un  $3,8^\circ$  ekscentricitātē un mērķa objektu saturošs attēla numurs attēlu kopā, skaitot no skatītājam tuvākā attēla meklēšanas uzdevuma sākumā;
- *pārvietojumu stratēģija* – kurš no attēliem pēc kārtas tika demonstrēts skatītājam vistuvākajā ekrāna plaknē. Attēlu numerācija atbilst attēlu izkārtojumam kopā uzdevuma sākumā;
- *uzdevuma izpildīšanas laiks* – laiks no redzes stimulu parādīšanās brīža līdz atstarpes taustiņa nospiešanas brīdim;
- *atbildes pareizība* – “1”, ja mērķa stimula lokalizācijas kvadrants ir noteikts pareizi, citādi ir “0”.

Dalībnieku atbildes tika vērtētas kā pareizas vai nepareizas, atkarībā no mērķa objekta atrašanās vietas un izvēlētas atbildes (kvadranta). Turpmāk pareizo atbilžu īpatsvars tika aprēķināts kā attiecība pareizo atbilžu skaitam pret visu 20 mēģinājumu skaitu katrai no uzdevuma fizikālo parametru kombinācijām. Turklāt datorprogrammā visiem mērījumiem tika pierakstīts laiks, sākot ar uzdevuma palaišanu uz ekrāna līdz klaviatūras atstarpes taustiņa nospiešanai, turpmāk tekstā tas tiks saukts par meklēšanas laiku.

*Q* snieguma koeficients (*Q score*) tika izmantots, lai vispusīgi novērtētu meklēšanas uzdevuma veikumu atkarībā no dažādiem faktoriem. *Hills & Geldmacher* (1998) pirmo reizi pielietoja *Q* snieguma koeficientu, lai raksturotu sniegumu meklēšanas uzdevumos pacientiem pēc galvas smadzeņu traumas. Turpmāk šo lielumu aktīvi pielietoja pētot lietotāju un redzes stimulu fizikālo īpašību ietekmi uz darba sniegumu vai vizuālās meklēšanas kvalitāti (piem., *Huang & Wang*, 2008; *Dalmaijer et al.*, 2015). *Q* snieguma koeficienta lielumu aprēķina, izmantojot formulu

$$Q \text{ score} = \frac{\text{correct responses}}{\text{total target}} \times \frac{\text{correct responses}}{\text{completion time}}$$

kur *correct responses* – pareizi izpildīto uzdevumu skaits; *total target* – visu uzdevumu skaits; *completion time* – vidējais uzdevuma izpildīšanas laiks. Jo augstāks ir *Q score*, jo efektīvāka ir vizuālā meklēšana. Tādējādi aprēķinot *Q* koeficientu ir iespēja raksturot meklēšanas uzdevuma izpildīšanas efektivitāti ņemot vērā gan pareizo atbilžu skaitu, gan uzdevuma izpildīšanai patērēto laiku. Jāpiebilst, ka, uzdevuma interaktivitātes ietekmes analīzei tika aprēķināts kopējais mijiedarbību skaits un noteikts, kā tika apskatīti attēli uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna.

### **Rezultāti un diskusija**

Vizuālās meklēšanas analīzē tika apstrādāti gan tradicionāli testējamie lielumi, tādi kā uzdevuma izpildīšanas pareizība un laiks (*Wolfe*, 1998), gan raksturota mijiedarbība ar interaktīvu uzdevumu, jo bija nodrošināta iespēja pārvietot stimulus ekrāna plaknēs un selektīvi apskatīt tos.

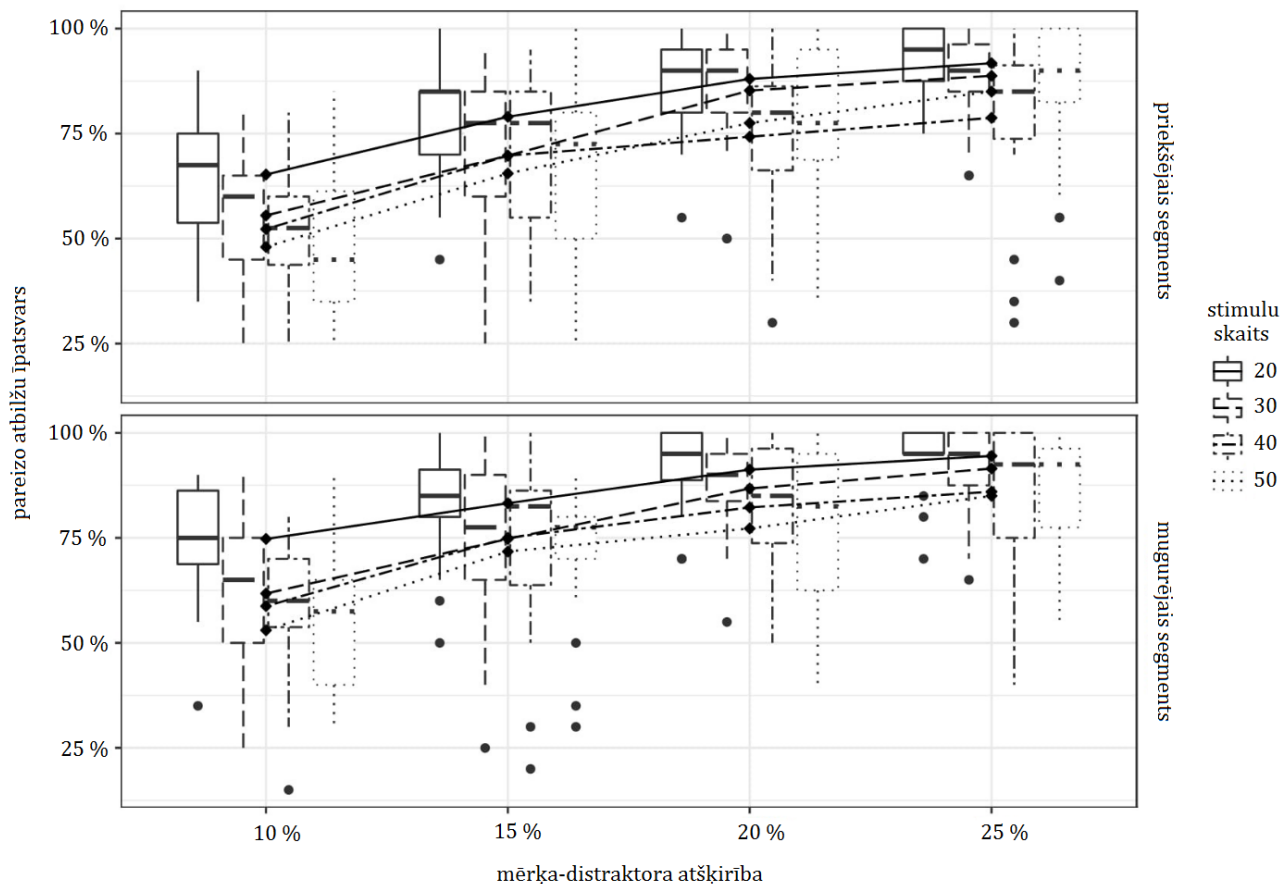
#### ***Pareizo atbilžu īpatsvars***

Pareizo atbilžu skaits ir viens no svarīgākajiem meklēšanas uzdevuma izpildīšanas raksturlielumiem. Bieži darba efektivitāte primāri ir atkarīga no tā, vai mērķa objekta(-u) klātesamība ir pamanīta redzes ainā.

Trīs faktoru atkārtotu mērījumu ANOVA tika izmantota, lai noteiktu pareizo atbilžu īpatsvara atkarību no sekojošiem faktoriem: dziļuma segments (divi līmeņi – priekšējais un mugurējais), mērķa-distraktora atšķirība (četri līmeņi – 10 %, 15 %, 20 %, 25 %) un kopējais stimulu skaits uzdevumā (četri līmeņi – 20, 30, 40, 50). Sfēriskums bija spēkā visiem faktoriem, tas bija pārbaudīts izmantojot *Mauchly* testu.

Ja aplūko izvēlētas dalībnieku grupas pareizo atbilžu īpatsvara vidējās vērtības, ir novērojams, ka vizuālās meklēšanas uzdevuma izpildīšanas pareizību ietekmēja gan mērķa-distraktora atšķirība,

gan parādīto stimulu skaits uz volumetriskā ekrāna, turklāt bija uzradīti salīdzinoši augstāki rezultāti ekrāna mugurējā segmentā (skat. 6. att.). Statistiskā analīze apliecināja, ka visi trīs parametri būtiski ietekmēja pareizo atbilžu īpatsvaru vizuālās meklēšanas uzdevumos, attiecīgi, dziļuma segments  $F_{1,19} = 6,24, p = 0,022$ , mērķa-distraktora atšķirība  $F_{3,57} = 141,80, p < 0,001$  un kopējais stimulu skaits  $F_{3,57} = 36,50, p < 0,001$ . Pareizo atbilžu skaits bija visaugstākais, ja mērķa-distraktora atšķirība bija 25 % un stimulu skaits bija mazs uz katras ekrāna plaknes dziļuma segmenta ietvaros.



**6. att.** Vidējais pareizo atbilžu īpatsvars visiem dalībniekiem atkarībā no mērķa-distraktora atšķirības meklēšanas uzdevumos ar dažādu kopējo stimulu skaitu uz ekrāna priekšējā un mugurējā dziļuma segmentā.

Turklāt tika noteikta statistiski būtiskā mijiedarbība starp kopējo stimulu skaitu un mērķa-distraktora atšķirību  $F_{9,171} = 2,78, p = 0,005$ . Šīs atradnes interpretācija ir skaidri redzama 6. attēlā – atšķirības pareizo atbilžu īpatsvarā kļūst mazāk izteiktas, kad mērķa-distraktora atšķirība palielinās. Tas nozīmē, ka liels distraktoru skaits negatīvi ietekmēja lēmuma pieņemšanu par mērķa objekta noteikšanu redzes ainā, kad mērķa objekts bija līdzīgs pārējiem stimuliem. Tomēr meklēšanas uzdevums bija samērā veiksmīgi izpildāms, kad stimulu skaits uz ekrāna bija mazs.

Izmantojot *Post-hoc* pāru t-testu ar *Bonferroni* korekciju tika noteiktas statistiski nozīmīgas atšķirības visiem mērķa-distraktora atšķirības pāriem ( $p < 0,001$ ). Savukārt izskatot kopējo stimulu skaita ietekmi, starp visiem faktora pāriem bija būtiskas atšķirības ( $p < 0,05$ ), izņemot atšķirības pareizo atbilžu īpatsvarā, kad meklēšanas uzdevumos bija demonstrēti 40 vai 50 stimuli uz ekrāna ( $p = 1,00$ ).

Mūsu darba rezultāti ir saskaņā ar agrākajos darbos iegūtajām atziņām par mērķa-distraktora ietekmi un mijiedarbību ar stimulu skaita ietekmi pazīmes meklēšanas uzdevumos uz plakanajiem ekrāniem. *Wienrich et al.* (2009) pētījumā bija noteikts, kā četru līmeņu mērķa-distraktora atšķirība vizuālās meklēšanas uzdevumos ietekmēja rezultējošo sniegumu. Visvairāk kļūdu bija pieļauts vizuālās meklēšanas uzdevumos, kur mērķa objekts atšķīrās no pārējiem stimuliem par 7 %, turklāt kļūdu skaits palielinājās līdz ar stimulu skaitu pieaugumu uz ekrāna. Savukārt, *Wloka et al.* (2017)

pētījuma ietvaros pareizo atbilžu īpatsvars bija salīdzinoši zems, kad meklēšanas uzdevumos mērķa objekta izmērs atšķirās no pārējiem stimuliem par 10 % vai 13 %, un bija novērojama nozīmīga stimulu skaita ietekme. Savukārt, sākot ar 28 % mērķa-distraktora atšķirību dalībnieki uzrādīja visaugstāko sniegumu neatkarīgi no stimulu skaita uz ekrāna.

Arī mūsu pētījumā var domāt, ka meklēšanas uzdevumi ar zemu mērķa-distraktora atšķirību kalpoja par lielāku izaicinājumu redzes sistēmai, kurš nevarēja tikt kompensēts ar ilgāku meklēšanas laiku, kas ir redzams turpmākajā vidējā meklēšanas laika rezultātu analīzē. Agrākajā darbā (*Erkelens & Hooge, 1996*) līdzīgu atradni saistīja ar informācijas apstrādi redzes lauka perifērijā. Viņu aprakstītajā modelī perifērajai redzei bija būtiskā loma acu kustību plānošanā veicot meklēšanas uzdevumu. Ja mērķa-distraktora atšķirība bija augsta, mērķa objekts varēja tikt ātri pamanīts perifērajā redzes laukā. Savukārt zemas mērķa-distraktora atšķirības gadījumā perifērās redzes loma samazinājās, un katru stimulu bija nepieciešams pārbaudīt ar centrālo redzi. Mūsu darbā zema stimulu atšķirība iespaidoja pareizo atbilžu skaita samazinājumu līdz ar stimulu skaita pieaugumu salīdzinot ar uzdevumiem ar lielāku mērķa-distraktoru atšķirību.

Plānojot pētījumu netika sagaidīts, ka pareizo atbilžu īpatsvars ievērojami variēs redzes uzdevumos, kad stimuli bija izvietoti dažādos ekrāna dziļuma segmentos. Iespējams, skatīšanas attālums ir kalpojis par iemeslu konstatētajām atšķirībām. Ikdienā darba attālums līdz plakanajiem ekrāniem sastāda aptuveni 60 cm. Šajā darbā ir redzams, ka redzes uzdevuma izpildīšanas pareizība bija labāka, ja stimuli atradās tālāk no skatītāja acīm – 51-57 cm attālumā (mugurējā ekrāna segmentā) salīdzinot ar 45-51 cm (priekšējā ekrāna segmentā). Nedrīkstam izslēgt to, ka pareizo atbilžu skaita samazināšanos pie zemas mērķa-distraktora atšķirības varēja ietekmēt arī daļēja stimulu izkliede uz volumetriskā ekrāna. Turpmāk būtu nepieciešams noskaidrot, vai sniegtās atbildes pareizība korelēja ar mērķa stimula atrašanās vietu uz volumetriskā ekrāna plaknēm.

### ***Meklēšanas laiks***

Parasti darba prioritāte ir profesionālā uzdevuma izpildīšanas pareizība, tomēr sistemātiskās paaugstinātās darba slodzes un ierobežotā laika apstākļos ikdienā kļūst svarīgi atrast mērķa objektu ne tikai pareizi, bet arī patērējot pēc iespējas īsāku laiku. Tādējādi mērķa objekta meklēšanas laiks arī tiek uzskatīts par būtisku lielumu, raksturojot redzes uzdevuma izpildīšanu izmantojot ekrānu. 7. attēlā ir apkopoti dati par meklēšanas laiku uzdevumos ar atšķirīgiem fizikāliem parametriem.

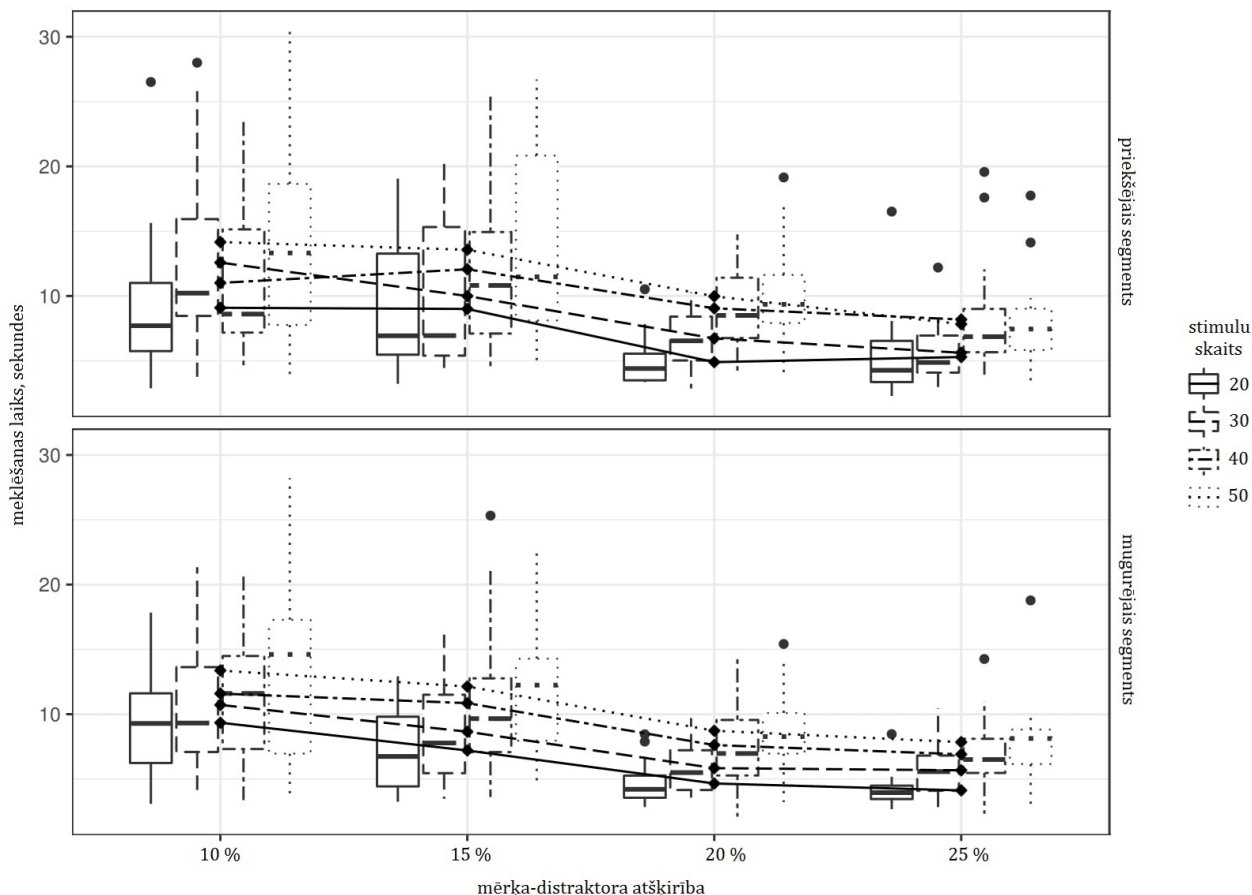
Līdzīgi kā pareizo atbilžu īpatsvaram, arī analizējot meklēšanas laiku, tika pielietots trīs faktoru atkārtotu mērījumu ANOVA. Jāpiebilst, ka par meklēšanas laiku apzīmējam vidējo meklēšanas laiku 20 mēģinājumos katrai no faktoru kombinācijām.

Sfēriskums bija pārbaudīts izmantojot *Mauchly* testu. *Greenhouse-Geisser* p-vērtības korekcija tika pielietota, ja sākotnēji sfēriskums bija pārkāpts (diviem faktoriem: mērķa-distraktora atšķirībai un kopējam stimulu skaitam).

Interesanti, ka pretstatā pareizo atbilžu īpatsvaram, dziļuma segments neietekmēja meklēšanas laiku ar statistisko nozīmību  $F_{1,19} = 1,46, p = 0,242$ . Savukārt, pārējie faktori tika atzīti par būtiski ietekmējošiem (mērķa-distraktora atšķirībai  $F_{2,35} = 22,03, p < 0,001$  un kopējam stimulu skaitam  $F_{2,38} = 56,11, p < 0,001$  līdzīgi kā pareizo atbilžu īpatsvaram. Starp faktoriem nebija novērotas būtiskas mijiedarbības. Mērķa-distraktora atšķirība būtiski ietekmēja gan meklēšanas uzdevuma izpildes precizitāti, gan reakcijas laiku arī *Scialfa et al. (1998)* pētījumā, kur mērķa objekti atšķirās tik pat vai vairāk nekā mūsu darbā. Tādējādi, mēs pieļaujam, ka neatkarīgi no ekrāna veida, izvērtējot meklēšanas uzdevuma sniegumu, ir jāņem vērā, ka mērķa-distraktora atšķirība var būtiski ietekmēt laika rezultātus. Ņemot vērā gan pareizo atbilžu īpatsvara, gan meklēšanas laika rezultātus, var domāt, ka pie mazākās stimulu atšķirības var būt uzskatāmāk pamanāma ekrāna kvalitātes ietekme uz redzes sniegumu.

*Post-hoc* pāru t-testā ar *Bonferroni* korekciju tika pierādītas statistiski nozīmīgas atšķirības ( $p < 0,05$ ) visiem mērķa-distraktora atšķirības līmeņiem, izņemot meklēšanas laika rezultātus, kad mērķa-distraktora atšķirības sastādīja 10 % un 15 % ( $p = 0,125$ ), tādēļ pieņemam, ka lietotājiem bija nepieciešams vienlīdz ilgs laiks, lai atrastu mērķa objektu ar 10 % un 15 % atšķirību no pārējiem stimuliem un noteiktu tā relatīvu atrašanās vietu uz volumetriskā ekrāna. Arī *Wienrich et al. (2009)*

pētījumā vidējais reakcijas laiks bija līdzīgs, kad mērķa objekts atšķīrās no pārējiem stimuliem par 12 % un 17 %. Bet pie mazākas atšķirības reakcijas laiks strauji pieauga līdz ar stimulu skaita palielināšanos meklēšanas uzdevumā.



**7. att.** Vidējais meklēšanas laiks visiem dalībniekiem atkarībā no mērķa-distraktora atšķirības uzdevumos ar dažādu kopējo stimulu skaitu uz ekrāna priekšējā un mugurējā dziļuma segmentā.

Analizējot atšķirības kopējiem stimulu skaitiem, būtiskas atšķirības tika pierādītas visiem līmeņiem ( $p < 0,001$ ). Straujš vizuālās meklēšanas laika pieaugums līdz ar lielāku stimulu skaitu uzdevumos apliecina, ka sērijveida informācijas apstrāde dominēja meklēšanas laikā dotajā uzdevumā uz volumetriskā ekrāna. Jo grūtāk saskatāma ir mērķa-distraktora atšķirība, jo pastāv lielāka nepieciešamība pievērst selektīvu uzmanību atsevišķi katram stimulam vai stimulu grupai, kas var būt saistīts ar ilgāku lēmumu pieņemšanas laiku un selektīvas uzmanības loga samazināšanos. Turklāt samazinot mērķa-distraktora atšķirības ievērojami palielinās vidējais atkārtoto fiksāciju skaits (Wienrich et al., 2009), kas varētu būt saistīts ar grūtībām izšķirt mērķa objektu vai lēmuma pieņemšanas nenoteiktību.

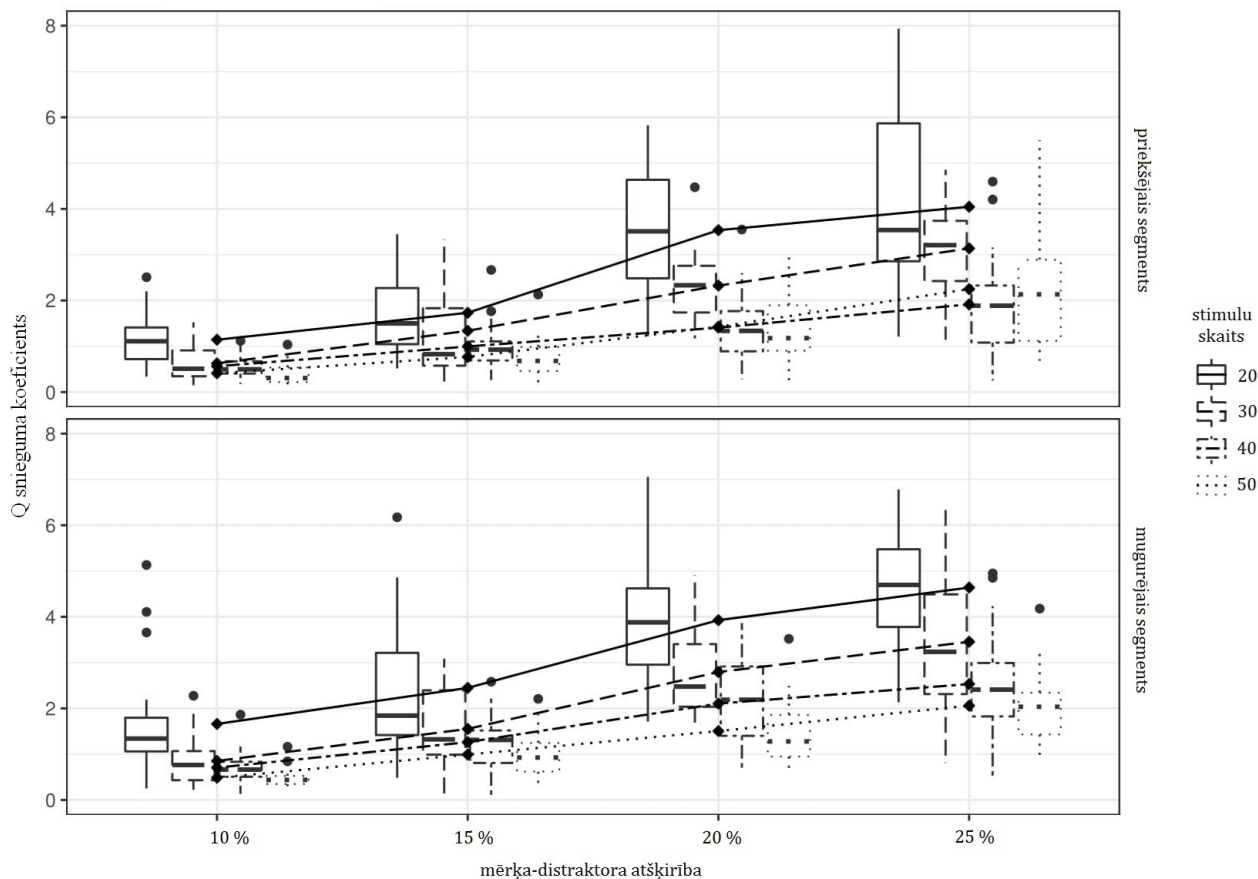
Jāpiebilst, ka laika pieaugums līdz ar lielāka skaita stimulu demonstrāciju varēja būt daļēji saistīts ar mūsu pētījumā izvēlēto nosacīti nejaušu stimulu izkārtojumu uz ekrāna plaknēm. Proti, pētot stimulu izkārtojuma ietekmi uz vizuālās meklēšanas sniegumu (Santhi & Reeves, 2004) tika parādīts, ka vienkāršās pazīmes meklēšanas uzdevumā reakcijas laiks nemainījās būtiski neatkarīgi no stimulu skaita, kad tie bija izkārtoti ar vienādu savstarpējo attālumu uz ekrāna (homogēns izkārtojums). Tomēr reakcijas laiks mazliet pieauga palielinot stimulu skaitu, ja šis novietojuma nosacījums nebija spēkā (heterogēns izkārtojums).

### ***Q* snieguma koeficients**

Ņemot vērā, ka mērķa-distraktora līdzība, redzes informācijas apjoms un stimulu radīšana dažādos ekrāna segmentos neietekmēja vienlīdzīgi uzdevuma izpildīšanas pareizību un laiku, *Q* snieguma

koeficients tika izmantots, lai raksturotu un salīdzinātu kopējo redzes sniegumu darbā ar volumetrisko daudzplakņu ekrānu.

Aprēķinātas  $Q$  snieguma koeficienta vērtības apliecināja, ka redzes sniegums bija visaugstākais uzdevumos ar salīdzinoši mazu stimulu skaitu un lielu mērķa-distraktora atšķirību. Tas nozīmē, ka pārsvarā lietotāji spēja paveikt uzdevumu gan pareizi, gan ātri. Tomēr  $Q$  snieguma koeficients izteikti mainījās palielinot stimulu skaitu un / vai samazinot mērķa-distraktora atšķirību, turklāt novērotas izmaiņas izpaužas atšķirīgā mērā dažādos ekrāna dziļuma segmentos (skat. 8. att.).



**8. att.** Vidējais  $Q$  snieguma koeficients visiem dalībniekiem atkarībā no mērķa-distraktora atšķirības uzdevumos ar dažādu kopējo stimulu skaitu uz ekrāna priekšējā un mugurējā dziļuma segmentā.

Sfēriskums bija pārbaudīts izmantojot *Mauchly* testu. Vienam faktoram (mērķa-distraktora atšķirībai) *Greenhouse-Geisser*  $p$ -vērtības korekcija tika pielietota, jo sākotnēji sfēriskums bija pārkāpts.

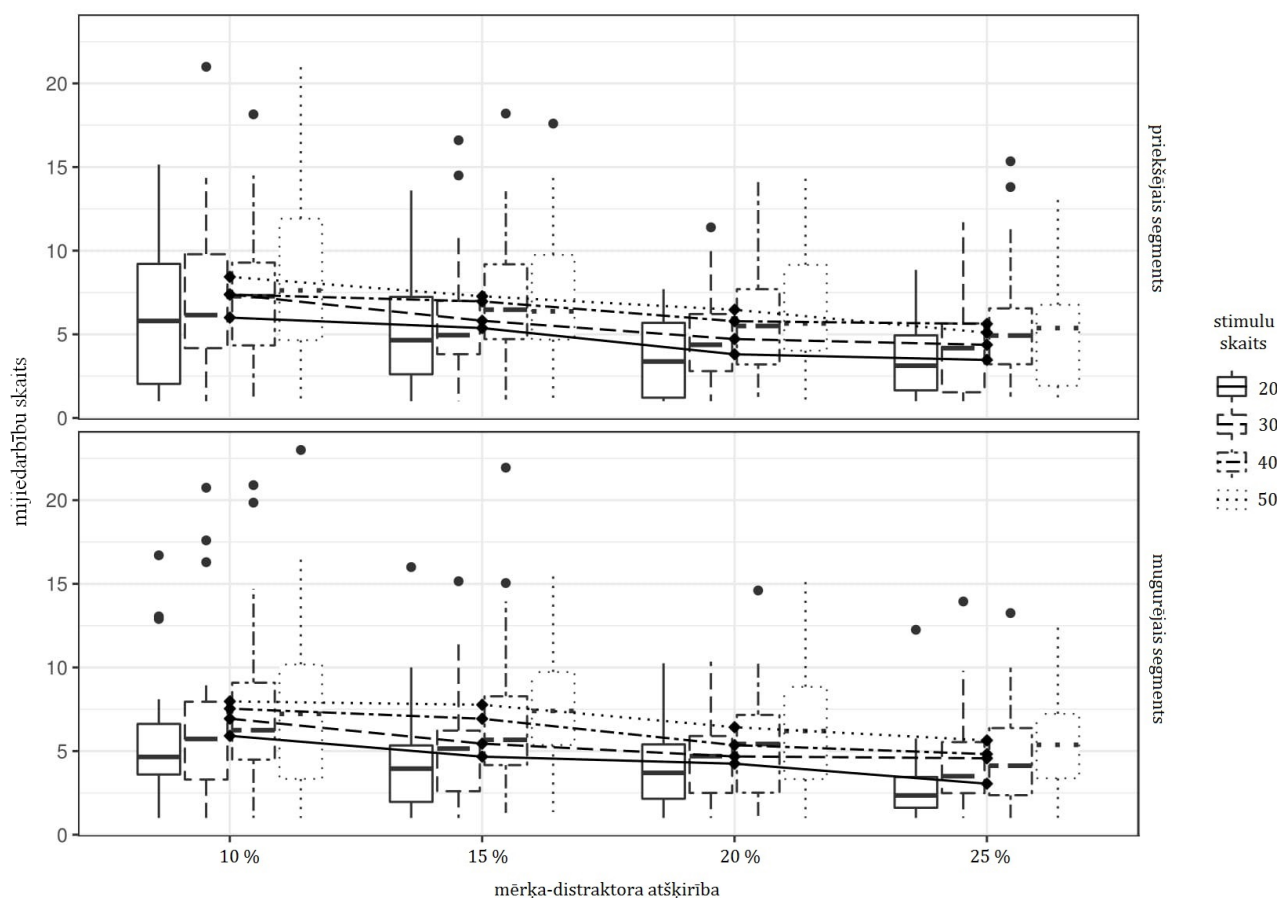
Veicot analoģu rezultātu analīzi, tika pierādīts, ka visi trīs faktori būtiski ietekmēja  $Q$  snieguma koeficientu:  $F_{1,19} = 8,02$ ,  $p = 0,011$  ekrāna segmentam,  $F_{2,38} = 102,5$ ,  $p < 0,001$  mērķa-distraktora atšķirībai un  $F_{3,57} = 95,1$ ,  $p < 0,001$  kopējām stimulu skaitam.

Mijiedarbība starp kopējo stimulu skaitu un mērķa-distraktora atšķirību arī tika noteikta kā nozīmīga  $F_{9,171} = 8,93$ ,  $p < 0,001$ . Šīs atradnes interpretācija ir skaidri redzama 8.attēlā –  $Q$  snieguma koeficienta atšķirības dažādiem stimulu skaitiem palielinās līdz ar mērķa-distraktora atšķirības pieaugumu. Tātad kopumā  $Q$  snieguma koeficienta rezultāti palīdz noteikt, ka pie 10 % un 15 % atšķirības, meklēšanas process bija neefektīvs neatkarīgi no tā, cik stimuli bija radīti uz ekrāna. Savukārt palielinot mērķa-distraktora atšķirību, meklēšanas process ir kļuvis daudz efektīvāks, bet tikai pie salīdzinoši maza stimulu skaita. Tas uzskatāmi parāda, ka samazinot redzes informācijas daudzumu uz volumetriskā ekrāna, var panākt ievērojami augstāku sniegumu 3D meklēšanas uzdevumos, kas varētu būt rekomendējams atsevišķos gadījumos, kad sākotnēji lietotājs izjūt grūtības atrast interesējošo informāciju uz ekrāna.

Post-hoc pāra t-tests ar Bonferroni korekciju uzrādīja nozīmīgas atšķirības ( $p < 0,01$ ) starp visiem līmeņiem mērķa-distraktora atšķirībai, kā arī kopējam stimulu skaitam ( $p < 0,05$ ). Tomēr jāpiebilst, ka uzdevumos ar 40 un 50 stimuliem  $Q$  snieguma koeficients bija vismazāk atšķirīgs ( $p = 0,043$ ), kas varētu būt saistīts ar pareizo atbilžu skaita līdzību pie šiem nosacījumiem.

### Mijiedarbība ar meklēšanas uzdevumu

Atšķirībā no parasti izmantojamiem meklēšanas uzdevumiem, uz volumetriskā ekrāna bija iespējams ne tikai parādīt stimulus dažādās fiziskās vietās dziļumā, bet arī nodrošināt iespēju lietotājiem mijiedarboties ar tiem, "pārvietojot" stimulus ekrāna plaknēs. Proti, cilvēkam tika dota iespēja pašam izlemt, kā viņam ir ērtāk izskatīt attēlu un meklēt stimulu, pielietojot navigācijas sistēmu. Tas rezultātā atspoguļojās viņa meklēšanas stratēģijā, kas mūsu darbā izpaužas stimulu pārvietojumu secībā un skaitā. Lai raksturotu lietotāju izvēli mijiedarbībā ar redzes uzdevumu uz volumetriskā ekrāna, dotajā analizē mēs izvēlāmies novērtēt mijiedarbību skaitu, kas veidojās kā kopsumma visiem veiktiem stimulu pārvietojumiem uz ekrāna plaknēm pildot meklēšanas uzdevumu.



**9. att.** Vidējais mijiedarbību skaits visiem dalībniekiem atkarībā no mērķa-distraktora atšķirības uzdevumos ar dažādu kopējo stimulu skaitu uz ekrāna priekšējā un mugurējā dziļuma segmentā.

Katru reizi meklēšanas uzdevuma sākumā stimuli tika radīti uz 10 volumetriskā ekrāna plaknēm. Tādējādi, vislielākais mijiedarbību skaits pārvietojot stimulus vienā virzienā (uz priekšu vai atpakaļ dziļumā) sastādīja deviņus klikšķus. Turklāt, jāatceras, ka mijiedarbību skaits un pārvietojumu virziena maiņu skaits nebija ierobežots uzdevumos. Tādēļ, kopējo mijiedarbību skaits varēja būt gan lielāks, gan ievērojami mazāks par 9. Lietotājs varēja izvēlēties arī nemijiedarboties ar uzdevumu, ja uzskatīja, ka mērķa objekts ir pamanāms redzes ainā bez stimulu pārvietošanas.

Mijiedarbību skaita rezultāti variēja uzdevumos ar dažādu stimulu skaitu un mērķa-distraktora atšķirību (skat. 9. att.). Šī atradne visticamāk ir saistīta ar stimulu izkārtojumu uz plaknēm, proti, pie lielākā stimulu skaita (blīvākās redzes informācijas) pastāvēja mazāka varbūtība izšķirt mērķa stimulu bez pārvietojumu īstenošanas.

Sfēriskums bija pārbaudīts izmantojot *Mauchly* testu. *Greenhouse-Geisser* p-vērtības korekcija tika pielietota, ja sākotnēji sfēriskums bija pārkāpts (diviem faktoriem: mērķa-distraktora atšķirībai un kopējām stimulu skaitam).

ANOVA testa rezultāti uzrādīja, ka ekrāna segments neietekmēja būtiski kopējo mijiedarbību skaitu  $F_{1,19} = 0,04$ ,  $p = 0,847$ , līdzīgi kā meklēšanas laiku. Tas varētu nozīmēt, ka meklēšanas stratēģija nebija saistīta ar stimulu izvietojumu ekrāna dziļumā un / vai skatīšanās attālumu dotajai dalībnieku izlasei. Tomēr statistiski nozīmīga ietekme bija atrasta mērķa-distraktora atšķirībai  $F_{2,32} = 11,94$ ,  $p < 0,001$  un kopējām stimulu skaitam  $F_{2,38} = 27,58$ ,  $p < 0,001$ .

*Post-hoc* pāra t-tests ar *Bonferroni* korekciju uzrādīja nozīmīgas atšķirības starp visiem līmeņiem mērķa-distraktora atšķirībai un kopējām stimulu skaitam. Bet tajā pašā laikā nebija atrastas būtiskās mijiedarbības starp šiem faktoriem. Tas nozīmē, ka samazinoties mērķa-distraktora atšķirībai meklēšanas uzdevumos, lielākoties indivīdi izvēlējās veikt vairāk stimulu pārvietojumu, ja uz ekrāna bija demonstrēti daudzi stimuli salīdzinot ar gadījumiem, kad redzes informācijas daudzums bija ievērojami zemāks. Visaktīvāk indivīdi mijiedarbojās ar meklēšanas uzdevumu, kad mērķa-distraktora atšķirība sastādīja 10 %, līdz ar ko mijiedarbību skaits varēja sastādīt pat aptuveni 20 klikšķus, kas nozīmē, ka pildot meklēšanas uzdevumu uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna lietotājs mainīja stimulu pārvietojumu virzienu vismaz vairākas reizes. Šī atradne var būt saistīta ar nepieciešamību atkārtoti izskatīt stimulus un pārliecināties par savu izvēli, kura ir bieži novērojama zemas mērķa-distraktora atšķirības gadījumos (*Wienrich et al.*, 2009).

## Secinājumi

Līdz ar jauno vizualizācijas tehnoloģiju izstrādi un turpmāko praktisko ieviešanu ir svarīgi rūpīgi izvērtēt, kā ekrāns ietekmēs cilvēka darba spējas un redzes sistēmas atbildi. Pētījuma ietvaros tika izstrādāta un testēta metode redzes snieguma un attēla izskatīšanas stratēģijas novērtēšanai darbā ar jaunu vizualizācijas iekārtu – volumetrisko daudzplakņu ekrānu atkarībā no vairākiem redzes stimulu fizikāliem parametriem.

Kā zināms, augsts sniegums vizuālajā meklēšanā ir svarīgs gan ikdienas, gan profesionālos uzdevumos, un tas ir atkarīgs no daudziem faktoriem. Ņemot vērā darbā iegūtos rezultātus, varam secināt, ka gan redzes sniegums, gan mijiedarbību skaits ar redzes uzdevumu ir atkarīgs no mērķa-distraktora līdzības lieluma darbā ar volumetrisko ekrānu. Turklāt, jo dziļāk uz ekrāna plaknēm stimuli tika projicēti, jo sekmīgāk cilvēki varēja uztvert atšķirības starp tiem. Vizuālās meklēšanas sniegums bija saistīts arī ar demonstrēto redzes informācijas apjomu uz ekrāna. Proti, pie liela informācijas apjoma bija novērojams vizuālās meklēšanas efektivitātes samazinājums, proti, būtiski pieauga meklēšanas laiks un palielinājās kļūdu skaits.

Iegūtās atradnes jāņem vērā, plānojot cilvēka-orientēto darba vidi ar volumetrisko daudzplakņu ekrānu. Būtu ieteicams nepieciešamības gadījumā nodrošināt iespēju samazināt redzes informācijas daudzumu uz ekrāna, lai cilvēks varētu atrast informāciju ātri un pareizi. Tas būtu sevišķi svarīgi, kad interesējošs objekts maz atšķiras no citiem objektiem. Tādējādi, nodrošinot lietotājiem iespēju mijiedarboties ar redzes stimuliem uz volumetriskā ekrāna, var tikt sasniegts augsts darba sniegums. Nākotnē šādu pētījumu iespējams turpināt, iesaistot dažādu profesiju pārstāvjus.

## Pateicības

Pētījums izstrādāts LU un SIA „*LightSpace Technologies*” ESP projekta „3D volumetriskais ekrāns un redzes sistēmas funkcionalitāte”, LU Fonda un SIA “Mikrotīkls” projekta Nr. 2184 „Redzes ergonomikas pētījumu vides attīstība”, LU Bāzes un Snieguma projektu ietvaros. Liels paldies Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas studentiem Kristapam Kļavam, Viktorijai Andriksonei, Marinai Seļežņovai, Vitai Konošonokai un Gunitai Jankovskai par palīdzību pētījuma īstenošanā.

## Literatūra

Anderson, N. C., Ort, E., Kruijne, W., Meeter, M., & Donk, M. (2015). It depends on when you look at it: Saliency influences eye movements in natural scene viewing and search early in time. *Journal of Vision*, 15(5), 1-22.



- Andriole, K. P., Wolfe, J. M., Khorasani, R., Treves, S. T., Getty, D. J., Jacobson, F. L., Steigner, M. L., Pan, J. J., Sitek, A., & Seltzer, S. E. (2011). Optimizing analysis, visualization, and navigation of large image data sets: one 5000-section CT scan can ruin your whole day. *Radiology*, *259*(2), 346-362.
- Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision Research*, *51*(13), 1484-1525.
- Dalmajer, E. S., Van der Stigchel, S., Nijboer, T. C. W., Cornelissen, T. H. W., Husain, M. (2015). CancellationTools: All-in-one software for administration and analysis of cancellation tasks. *Behavior Research Methods*, *47*(4), 1065-1075.
- den Boer, L., van der Schaaf, M. F., Vincken, K. L., Mol, C. P., Stuijzand, B. G., & van der Gijp, A. (2018). Volumetric image interpretation in radiology: scroll behavior and cognitive processes. *Advances in Health Sciences Education. Theory and Practice*, *23*, 783-802.
- Diaz, I., Schmidt, S., Verdun, F. R., & Bochud, F. O. (2015). Eye-tracking of nodule detection in lung CT volumetric data. *Medical Physics*, *42*(6), 2925-2932.
- Drew, T., Vo, M. L.-H., Olwal, A., Jacobson, F., Seltzer, E. S., & Wolfe, M. J. (2013a). Scanners and drillers: Characterizing expert visual search through volumetric images. *Journal of Vision*, *13*(10), 1-13.
- Dillon, A. (1992). Reading from paper versus screens: A critical review of the empirical literature. *Ergonomics*, *35*(10), 1297-1326.
- Drew, T., Evans, K., Vö, M. L.-H., Jacobson, F. L., & Wolfe, J. M. (2013b). What can you see in a single glance and how might this guide visual search in medical images? *RadioGraphics*, *33*, 263-274.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*(3), 433-458.
- Erkelens, C. J., Hooge, I. T. C. (1996). The role of peripheral vision in visual search. *Journal of Videology*, *1*, 1-8.
- Faber, L. G., Maurits, N. M., & Lorist, M. M. (2012). Mental fatigue affects visual selective attention. *PLoS ONE*, *7*(10), 1-10.
- Geng, J. (2013). Three-dimensional display technologies. *Advances in Optics and Photonics*, *5*(4), 456-535.
- Gu, Y., & Liljenström, H. (2007). A neural network model of attention-modulated neurodynamics. *Cognitive Neurodynamics*, *1*(4), 275-285.
- Hills, E. C., & Geldmacher, D. S. (1998). The effect of character and array type on visual spatial search quality following traumatic brain injury. *Brain Injury*, *12*(1), 69-76.
- Huang, H.-C., & Wang, T.-Y. (2008). Visualized representation of visual search patterns for a visuospatial attention test. *Behavior Research Methods*, *40*(2), 383-390.
- Hulleman, J., & Olivers, C. N. L. (2017). The impending demise of the item in visual search. *Behavioral and Brain Sciences*, *40*, 1-69.
- Ideses, I., & Yaroslavsky, L. (2005). Three methods that improve the visual quality of colour anaglyphs. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, *7*(12), 755-562.
- Jameson, A. (2012). Visual displays. In: Jackie, J. A., editor, *Human computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies, and emerging applications*: 3rd ed., CRC Press, 157-192.
- Krupinski, E. A. (2010). Current perspectives in medical image perception. *Attention, Perception & Psychophysics*, *72*(5), 1-13.
- Mehrabi, M., Peek, E. M., Burkhard, C. W., Lutteroth, C. (2013). Making 3D work: a classification of visual depth cues, 3D display technologies and their applications. *Proceedings of the Fourteenth Australasian User Interface Conference AUIC 2013*, 91-100.
- Mizuno, K., Tanaka, M., Yamaguti, K., Kajimoto, O., Kuratsune, H., & Watanabe, Y. (2011). Mental fatigue caused by prolonged cognitive load associated with sympathetic hyperactivity. *Behavioral and Brain Functions*, 1-7.
- Nakashima, R., Kobayashi, K., Maeda, E., Yoshikawa, T., & Yokosawa, K. (2013). Visual search of experts in medical image reading: the effect of training, target prevalence, and expert knowledge. *Frontiers in Psychology*, *4*, 1-8.
- Osmanis, K., Vabals, V. R., Gertners, U., Osmanis, I., Kalnins, L., Kandere, U., & Ozols, A. (2018). Advanced multiplanar volumetric 3d display. *Proceedings of SPIE, 10555, Emerging Liquid Crystal Technologies XIII*, 1055510.
- Peinsipp-Byma, E., Rehfeld, N., Eck, R. (2009). Evaluation of stereoscopic 3D displays for image analysis tasks. *Proceedings of SPIE, 7327, Stereoscopic Displays and Application XX*, 72370L.
- Pelli, D. G., & Farell, B. (1995). Psychophysical methods. In M. V. In: Bass (Ed.), *Handbook of Optics*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill.
- Plainis, S., & Murray, I. (2000). Neurophysiological interpretation of human visual reaction times: Effect of contrast, spatial frequency and luminance. *Neuropsychologia*, *38*, 1555-1564.



- Reichelt, S., Haussler, R., Futterer, G., Leister N. (2010). Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays. *Proceedings of SPIE, 7690, Three-dimensional Imaging, Visualization, and Display 2010 and Display Technologies and Applications for Defence, Security, and Avionics IV*, 76900B, 1-12.
- Santhi, N., Reeves, A. (2004). The roles of distractor noise and target certainty in search: A signal detection model. *Vision Research*, 44(12), 1235-1256.
- Schneider, D., Bonmassar, C., & Hickey, C. (2018). Motivation and short-term memory in visual search: attention's accelerator revisited. *Cortex*, 102, 45-56.
- Scialfa, C. T., Esau, S. P., Joffe, K. M. (1998). Age, target-distractor similarity, and visual search. *Experimental Aging Research*, 24(4), 337-358.
- Sheridan, H., & Reingold, E. M. (2017). The holistic processing account of visual expertise in medical image perception: a review. *Frontiers in Psychology*, 8, 1-11.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.
- van der Gijp, A., Ravesloot, C. J., Jarodzka, H., van der Schaaf M. F., van der Schaaf, I. C., van Schaik, J. P. J., & Ten Cate, T. J. (2017). How visual search relates to visual diagnostic performance: a narrative systematic review of eye-tracking research in radiology. *Advances in Health Sciences Education. Theory and Practice*, 22(3), 765-787.
- Viguer, A., Clement, G., Troter, Y. (2001). Distance perception within near visual space. *Perception*, 30, 115-124.
- Wienrich, C., Heße, U. & Müller-Plath, G. (2009). Eye movements and attention in visual feature search with graded target-distractor-similarity. *Journal of Eye Movement Research*, 3(1):4, 1-19.
- Wloka, C., Sang-Ah, Y., Sengupta, R., Tsotsos, J. K. (2017). The interaction of target-distractor similarity and visual search efficiency for basic features. 17<sup>th</sup> Vision Science Society Annual Meeting.
- Wolfe, J. M., Evans, K. K., Drew, T., Aizenman, A., & Josephs, E. (2016). How do radiologists use the human search engine? *Radiation Protection Dosimetry*, 169(1-4), 24-31.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R. & Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(3), 419-433.
- Wolfe, J. M. (2000). Visual attention. In: De Valois K. K., editor. *Seeing*: 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press.
- Yang, D.-K., Wu, S.-T. (2014). *Fundamentals of liquid crystal devices*. New York: Wiley.
- Ziefle, M. (1998). Effects of display resolution on visual performance. *Human Factors*, 40(4), 554-568.
- Ziefle, M. (2003). Sitting posture, postural discomfort, and visual performance: A critical view on the independence of cognitive and anthropometric factors in the VDU workplace. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 9(4), 495-506.

# Vizuālās meklēšanas novērtējums radiologiem darbā ar volumetrisko ekrānu

Viktorija Andriksone<sup>1</sup>, Tatjana Pladere<sup>1</sup>, Reinis Pitura<sup>2</sup>, Karola Panke<sup>1</sup> un Gunta Krūmiņa<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte, Optometrijas un redzes  
zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
<sup>2</sup>Rīgas Stradiņa universitāte, Medicīnas fakultāte, Rīga, Latvija  
viktorija.andriksone@lu.lv

## Anotācija

Acu kustību pētījumu rezultāti apliecina, ka radiologu un rezidentu vizuālās meklēšanas process un sniegums ir atšķirīgs profesionāliem uzdevumiem. Vai atšķirības sniegumā ir attiecināmas uz dažāda veida meklēšanas uzdevumiem? Darba mērķis bija izpētīt vizuālās meklēšanas izpildes atšķirības sertificētiem radiologiem un ārstiem-rezidentiem, veicot trīsdimensionālu redzes uzdevumu uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna.

Pētījumā piedalījās 21 dalībnieks vecumā no 26 līdz 62 gadiem. Dalībnieku uzdevums bija izpildīt vizuālās meklēšanas uzdevumus ar atšķirīgu stimulu skaitu un mērķa-distraktora līdzību uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna. Katrā uzdevumā dalībniekam bija jāatrod mērķa stimulš citu stimulu vidū un jāsniedz atbilde par tā relatīvo atrašanās vietu uz ekrāna ar datora tastatūras palīdzību.

Iegūtie vizuālās meklēšanas izpildes lielumi liecina, ka gan mērķa-distraktora līdzība, gan redzes informācijas apjoms būtiski ietekmē sniegumu vizuālās meklēšanas uzdevumos. Tomēr sertificēti radiologi un rezidenti-radiologi veic nemedicīniskus uzdevumus ar līdzīgu rezultātu, salīdzinot patērēto laiku, pareizo atbilžu īpatsvaru, kā arī ņemot vērā kopējo sniegumu darbā ar volumetrisko daudzplakņu ekrānu. Tādējādi, šī pētījuma rezultāti neapstiprina izvirzīto hipotēzi, ka medicīnas speciālistiem vizuālās meklēšanas uzdevuma izpildes rezultāts, izskatot nemedicīniskos attēlus uz volumetriskā ekrāna, ir saistīts ar viņu darba pieredzi.

## Atslēgas vārdi:

Vizuālā meklēšana, radiologi, mērķa-distraktora līdzība, volumetriskais ekrāns

## Literatūras pārskats

Veicot medicīnisku attēlu analīzi, radiologi atrod un konstatē patoloģiskas izmaiņas audu struktūrās (*Chen et al.*, 2011). Darba ikdienā speciālisti izskata vairākus simtus attēlus (*Krupinski*, 2010), un liela daļa no viņu profesionāliem uzdevumiem iekļauj vizuālās meklēšanas procesus (*Wolfe et al.*, 2016).

Pateicoties tehnoloģiju attīstībai, mūsdienās var tikt uzņemti daudzi anatomiskās struktūras šķērsriezuma attēli (*Andriole et al.*, 2011; *Singh et al.*, 2012), kuri tiek apvienoti tā saucamās trīsdimensionālās attēlu rekonstrukcijās turpmākai analīzei. Iegūtie attēli nodrošina augstāku attēla izšķirtspēju salīdzinot ar rentgenattēliem (*Krupinski*, 2010), līdz ar to, radiologiem ir iespēja atrast mazākas izmaiņas un precīzāk noteikt mērķa struktūru atrašanās vietu (*Drew et al.*, 2013a). Tomēr, līdz ar sīkākām detaļām un palielinātu redzes informācijas apjomu, rodas jauni izaicinājumi radiologu redzes sistēmai, kas var apgrūtināt attēlu izmeklējumus, jo pie augstas redzes un atmiņas slodzes, samazinās vizuālās meklēšanas precizitāte un palielinās uzdevumam patērētais laiks (*Pomplun et al.*, 2013).

Šo izaicinājumu cenšas pārvārtēt kā papildu iespēju piedāvājot izskatīt daudzus šķērsriezumu attēlus vienlaikus, demonstrējot tos kā renderētus telpiskus attēlus ar medicīnā iepriekš neizmantotām vizualizācijas metodēm, piemēram, virtuālajā realitātē (*Deng et al.*, 2018) vai uz stereoskopiskiem ekrāniem (*Ferre et al.*, 2018). Tomēr jāpiebilst, ka dotās vizualizācijas metodes ierobežo novērotāju skaitu, un ilgstoša skatīšanās provocē akomodācijas-verģences konfliktu nesaskaņotās dziļuma informācijas dēļ (*Geng*, 2013), izraisa diskomfortu un astenopiskās sūdzības (*Hoffman et al.*, 2008).

Tādējādi, šie vizualizācijas veidi var būt pieļaujami reti medicīnisko attēlu izskatīšanas gadījumiem, bet neder ilgstošam radiologu darbam ikdienā.

Turpretī akomodācijas-verģences konflikts nav novērojams apskatot telpiskus attēlus uz volumetriskā ekrāna (Reichelt et al., 2010). Šādi ekrāni pieder pie autostereoskopiskiem ekrāniem (Geng, 2013). Trīsdimensionālā attēla efekts rodas pateicoties attēla projicēšanai uz ekrāna optiskā elementa, kas sastāv no vairākām šķidro kristālu plaknēm, un ir redzams bez papildierīcēm (Osmanis et al., 2018). Tiek uzskatīts, ka nākotnē ekrāns varētu tikt jēgpilni pielietots medicīnā diagnosticēšanas un operācijas plānošanas mērķiem (Zhao et al., 2013), bet vispirms ir svarīgi izprast, kā jauna vizuālās informācijas attēlošanas tehnoloģija ietekmē veselības aprūpes speciālistu darba spējas.

Nemot vērā radiologu redzes slodzi un efektīvās vizuālās meklēšanas procesu lomu medicīnisko attēlu analīzē (Andriole et al., 2011), pēdējo septiņu gadu laikā tiek plaši pētīts, kā dažādi faktori ietekmē radiologu redzes uztveri un meklēšanas stratēģiju izskatot rentgenogrammas, mamogrammas un tomogrāfijas attēlu rekonstrukcijas. Jaunāko pētījumu rezultāti (piem., Drew et al., 2013b; Kelly et al., 2016; van der Gijp et al., 2017) parāda, ka meklēšanas stratēģija un sniegums ievērojami atšķiras pieredzējušiem ārstiem un rezidentiem, novērtējot acu kustību parametrus, skata fiksāciju ilgumu un telpisko sadalījumu, kā arī rezultējošo darba sniegumu.

Nosakot atšķirības radiologu meklēšanas procesā un sniegumā ir svarīgi atcerēties, ka vizuālo meklēšanu ietekmē gan lejupejošie, gan augšupejošie kognitīvie procesi (Drew et al., 2013a; Wolfe et al., 2016). Turklāt, radiologiem lejupejošo procesu ietekme būtiski mainās līdz ar darba pieredzes pieaugumu (Kelly et al., 2016). Tādēļ rodas jautājums, vai iepriekš konstatētās atšķirības ir saistītas ar radiologu redzes uzdevumu specifiku, vai tās var tikt attiecināmas uz jebkura veida meklēšanas uzdevumiem, tai skaitā nesaistītiem ar medicīnu.

Eksperimentālos mēģinājumos novērtēt medicīnas speciālistu sniegumu izskatot nemedicīniskus attēlus uz plakana divdimensiju ekrāna netika atrasta statistiski būtiska atšķirība rezidentu un radiologu sniegumā (Nodine et al., 1998; Kelly et al., 2018). Tomēr svarīgi ņemt vērā, ka rezultātu ticamību var ietekmēt gan izvēlētie redzes stimuli meklēšanas uzdevumā, gan eksperimenta norise (Jameson, 2012). Iepriekšminētā pētījuma izvēlētie uzdevumi bija vienkārši izpildāmi, kas varētu neradīt būtiskas atšķirības meklēšanas procesos. Tādēļ mūsu pētījumā vēlamies izpētīt to, kā dažādi stimulu fizikālie parametri ietekmē iegūtos rezultātus, eksperimentāli nosākot medicīnas speciālistu sniegumu darbā ar volumetrisko ekrānu.

## Metodika

Pētījuma mērķis bija noteikt atšķirības vizuālās meklēšanas uzdevuma veikšanā rezidentiem un radiologiem, izmantojot daudzplakņu volumetrisko ekrānu, atkarībā no darba stāža un pieredzes radioloģijā. Dalībnieku uzdevums bija atrast un atpazīt mērķa stimulu starp citiem stimuliem uz volumetriskā ekrāna.

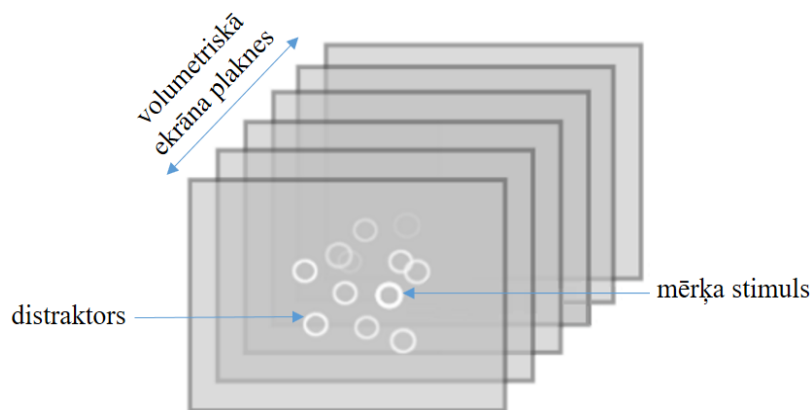
Pētījumā brīvprātīgi piedalījās 21 cilvēks vecumā no 26 līdz 62 gadiem: 9 sertificēti ārsti-radiologi (vidējais darba stāžs:  $22 \pm 11$  gadi) un 12 rezidenti-radiologi (vidējais darba stāžs:  $2 \pm 1$  gadi), kas strādā Rīgas slimnīcās. Visi dalībnieki atbilda sekojošiem kritērijiem: 1) tuvuma redzes asums ir 1,0 (decimālajās vienībās) vai labāks, noteikts izmantojot tuvuma redzes tabulu, 2) tuvumā stereoredzes asums ir 200 loka sekundes vai mazāks, noteikts ar *Titmus* testu, 3) vismaz 1 gada darba pieredze praktiskajā radioloģijā.

Redzes uzdevuma veikšanai izmantoja “*Lightspace Technologies*” volumetrisko daudzplakņu ekrānu x1406. Volumetriskais ekrāns sastāv no daudzplakņu optiskā elementa, ātrgaitas projektora un daudzplakņu optiskā elementa dzinēja. Optiskais elements sastāv no 20 šķidro kristālu plaknēm. X, Y, Z izšķirtspēja ir  $1024 \times 768 \times 50$  pikseļi. Ekrāna attēla atjaunošanās frekvence ir 60 Hz.

Pateicoties ekrāna uzbūvei ir iespējams redzēt trīsdimensionālu attēlu, neizmantojot palīgierīces, tādas kā brilles ar polarizējošiem vai sarkan-zaļiem filtriem. Ekrāna darbības pamatā ir attēlu projicēšana uz daudzplakņu optisko elementu (Osmanis et al., 2018). Laikā, kad attēls tiek projicēts uz vienu no plaknēm, pārējās plaknes laiž cauri projektora radīto gaismu un ir caurspīdīgas.

Attēla pārslēgšanās no vienas plaknes uz nākamo notiek tik ātri, ka mūsu redze nepaspēj uztvert daudzus atsevišķus divdimensionālus attēlus, un rezultātā tiek uztverts vienots trīsdimensionāls attēls.

Redzes uzdevuma veikšanas laikā dalībnieka acis bija aptuveni 60 cm attālumā no volumetriskā ekrāna priekšējās plaknes, un vērstas vienā līmenī pret ekrāna centru. Dalībnieka uzdevums bija atrast mērķa stimulu (skat. 1. att.) starp pārējiem stimuliem, un norādīt tā aptuveno atrašanās vietu uz volumetriskā ekrāna, izvēloties vienu no četriem piedāvātajiem variantiem. Mērķa stimuls atšķīrās no pārējiem stimuliem ar palielināto līnijas biezumu.



**1. att.** Redzes stimulu izkārtojums uz volumetriskā ekrāna plāknēm meklēšanas uzdevumā. Mērķa stimuls atšķīrās no distraktoriem ar lielāku līnijas platumu. Riņķu mērogs neatbilst ekrāna izmēram dotajā shematiskajā ilustrācijā.

Pētījums norisinājās saskaņā ar Helsinku deklarāciju, pirms eksperimenta sākuma dalībnieki parakstīja informēto piekrišanu par dalību pētījumā. Tad tika noteikts tuvuma redzes asums un stereoredzes asums katram dalībniekam. Turpmāk eksperimenta procedūra norisinājās mezopiskos apstākļos (~1 lx apgaismojums). Dalībniekam tika sniegta instrukcija par eksperimenta gaitu un stāstīts par volumetrisko ekrāna uzbūvi.

Pirms katra uzdevuma uz ekrāna tuvākas plaknes centrā parādījās fiksācijas krustiņš. Krustiņa izmēri atbilst stimulu lielumiem uz priekšējās plaknes. Pēc fiksācijas krustiņa (1 sekunde), parādās meklēšanas uzdevums. Meklēšanas uzdevumi tika rādīti uz volumetriskā ekrāna ar četriem ievadāmo parametru variantiem, katram no tiem bija pieci mēģinājumi. Tika izmantoti divi mainīgie stimulu parametri: stimulu skaits uz katras no 10 ekrāna plāknēm uzdevuma sākumā un mērķa-distraktora līdzība. Stimulu skaits bija mazs (divi riņķi uz katras plaknes) vai liels (četri riņķi uz katras plaknes). Mērķa-distraktora līdzība bija augsta (mērķa stimulam bija par 15 % lielāks apļa līnijas platumus virzienā uz apļa centru salīdzinot ar visiem pārējiem apliem) vai zema (par 25 % lielāks).

Meklēšanas uzdevuma sākumā apli tika rādīti uz desmit ekrāna plāknēm. Katrs divdimensionāls attēls bija nosacīti sadalīts 25 kvadrātos ar viduslīnijām  $0^\circ$ ,  $1,9^\circ$  un  $3,8^\circ$  leņķiskajos attālumos, skaitot no ekrāna centra. Katrā no kvadrātiem varēja atrasties stimuls, bet mērķa aplis nevarēja būt demonstrēts kvadrātos ar viduslīniju  $0^\circ$ , jo tādu lokāciju nevarētu definēt kā atbilstošu vienam no četriem pamata kvadrantiem.

Dalībniekiem bija iespēja pārvietot stimulus, kas sākotnēji atradās tālākajās ekrāna plāknēs, pietuvinot tos novērotāja acīm, spiežot taustiņus “uz augšu”, un pretējā virzienā – “uz leju”. Piemēram, vienreiz nospiežot taustiņu “uz augšu”, par vienu ekrāna plakni tuvāk tika parādīti stimuli, kuri projicējās dziļākajās plāknēs. Tajā pašā laikā stimuli, kuri atradās pirmajā plāknē pirms tam, uz laiku vairs netika attēloti. Nospiežot taustiņu “uz leju” bija iespējams atgriezt šos stimulus uz ekrānu. Tā kā uzdevuma laikā stimuli tika izkārtoti uz desmit ekrāna plāknēm, dalībnieks spēja pietuvināt tuvāk sev attēla stimulus, kas sākotnēji tika attēloti uz tālākajām plāknēm. Uzdevuma sākumā mērķa stimuls atradās vienā no pēdējām piecām plāknēm ekrāna segmentā. Pēc tam, kad dalībnieks atradis mērķa stimula atrašanās vietu, uz ekrāna parādās četru kvadrantu izvēles varianti un dalībnieks iesniedz savu atbildi ar tastatūras palīdzību.

## Rezultāti un to analīze

Iegūtie 21 dalībnieka rezultāti dati tika apkopoti un apstrādāti programmās *MS Excel* un *RStudio*. Dalībnieku sniegtās atbildes meklēšanas uzdevuma laikā tika vērtētas kā pareizas vai nepareizas, atkarībā no izvēlētajā kvadranta. Tādējādi, pareizo atbilžu skaits raksturoja, vai dalībnieks atrada mērķa stimulu un pareizi noteica tā relatīvo atrašanās vietu uz ekrāna. Meklēšanas laiks parādīja, cik ilgi dalībnieks izskatīja redzes stimulus. Turpmāk tika apkopots vidējais pareizo atbilžu īpatsvars un patērētais laiks uzdevuma veikšanai medicīnas speciālistiem (skat. 1. tab.).

**1. tabula**

Vidējais pareizo atbilžu īpatsvars un meklēšanas laiks rezidentiem un radiologiem redzes uzdevumos ar dažādiem fizikāliem parametriem uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna.

	augsta mērķa-distraktora līdzība		zema mērķa-distraktora līdzība	
	mazs stimulu skaits	liels stimulu skaits	mazs stimulu skaits	liels stimulu skaits
<i>Pareizo atbilžu īpatsvars</i>				
<b>Sertificēti radiologi</b>	0,80 ± 0,06	0,70 ± 0,07	0,90 ± 0,05	0,85 ± 0,06
<b>Rezidenti-radiologi</b>	0,73 ± 0,07	0,82 ± 0,06	0,93 ± 0,04	0,87 ± 0,05
<i>Meklēšanas laiks, sekundes</i>				
<b>Sertificēti radiologi</b>	12 ± 1	19 ± 3	8 ± 1	12 ± 1
<b>Rezidenti-radiologi</b>	13 ± 2	19 ± 2	9 ± 1	12 ± 2

Neskatoties uz sagaidāmajām atšķirībām profesionālās vizuālās meklēšanas pieredzē, pētījuma dalībnieki veica meklēšanas uzdevumus uz volumetriskā ekrāna ar līdzīgiem rezultātiem. Tāpat kā *Kelly et al.* (2018) veiktajā pētījumā, rezidenti uzrādīja mazliet augstāku pareizo atbilžu īpatsvaru salīdzinot ar pieredzējušiem radiologiem redzes uzdevumos ar dažiem no mainīgiem lielumiem, tomēr šī atšķirība nebija statistiski nozīmīga. Salīdzinot rezidentu un radiologu pareizo atbilžu īpatsvaru, statistiski nozīmīgas atšķirības netika konstatētas abiem fizikāliem faktoriem – mērķa-distraktora līdzībai ( $F_{1,19} = 1,30, p = 0,97$ ) un stimulu skaitam ( $F_{1,19} = 1,72, p = 0,20$ ). Līdzīga atradne ir raksturīga arī meklēšanas laika rezultātiem atkarībā no mērķa-distraktora līdzības ( $F_{1,19} = 0,0004, p = 0,98$ ) un stimulu skaita ( $F_{1,19} = 0,23, p = 0,63$ ).

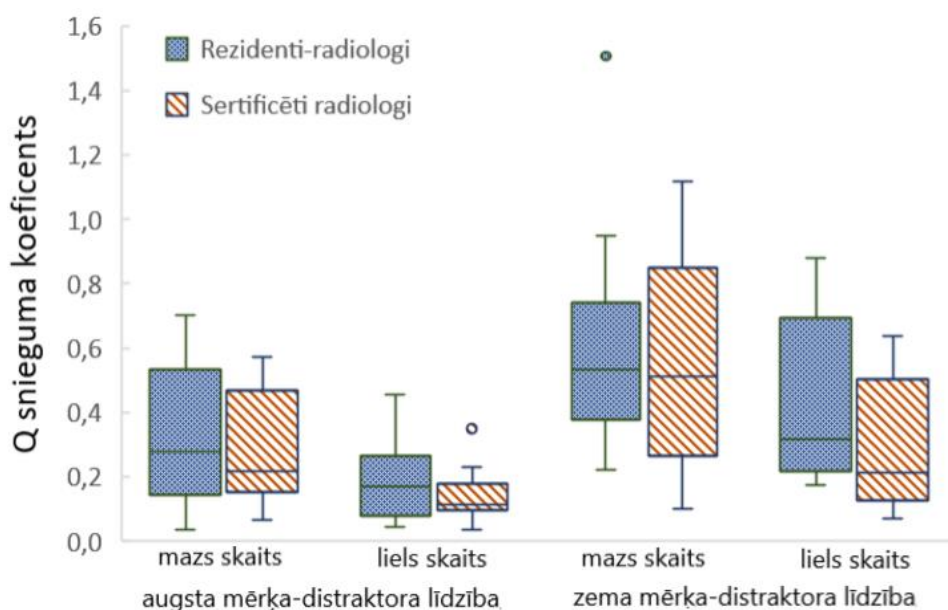
Lai apvienoti raksturotu radiologu un rezidentu meklēšanas sniegumu izskatot nemedicīniskus attēlus uz volumetriskā ekrāna, mēs izmantojam  $Q$  snieguma koeficientu, ko aktīvi pielieto pētījumos, vispusīgi novērtējot meklēšanas procesa kvalitāti atkarībā no dažādiem faktoriem, kuri ir saistīti gan ar stimulu fizikāliem parametriem, gan ar cilvēku īpatnībām (piem., *Hills & Geldmacher, 1998; Huang & Wang, 2008; Dalmaijer et al., 2015*). Šo relatīvo lielumu aprēķina, izmantojot sekojošu formulu:

$$Q \text{ score} = \frac{\text{correct responses}}{\text{total target}} \times \frac{\text{correct responses}}{\text{completion time}},$$

kur  $Q \text{ score}$  ir  $Q$  snieguma koeficients, *correct responses* ir pareizi izpildīto uzdevumu skaits, *total target* ir visu uzdevumu skaits, *completion time* ir vidējais uzdevuma izpildīšanai patērētais laiks.

Tādējādi, aprēķinot  $Q$  koeficientu ir iespēja raksturot meklēšanas uzdevuma izpildīšanas efektivitāti ņemot vērā gan pareizo atbilžu skaitu, gan uzdevuma izpildīšanai patērēto laiku. Jo augstāks ir  $Q$  snieguma koeficients, jo efektīvāka ir vizuālā meklēšana. Apkopojot abu grupu  $Q$  koeficienta vērtības katrai no fizikālo parametru kombinācijām (skat. 2. att.), var redzēt, ka gan

rezidentiem, gan radiologiem visaugstākā  $Q$  koeficienta vērtība bija sasniegta meklēšanas uzdevumos ar zemu mērķa-distraktora līdzību un mazu redzes informācijas apjomu.



**2. att.**  $Q$  snieguma koeficienta vidējās vērtības rezidentiem un radiologiem pildot meklēšanas uzdevumus ar atšķirīgiem fizikāliem parametriem (stimulu skaitu un mērķa-distraktora līdzību) uz volumetriskā ekrāna.

Pielietojot *ezAnova* testu, noskaidrojām, ka abi faktori – mērķa-distraktora līdzība ( $F_{1,19} = 15,6$ ,  $p = 0,0008$ ) un stimulu skaits plaknēs ( $F_{1,19} = 11,7$ ,  $p = 0,002$ ) – statistiski nozīmīgi ietekmēja vizuālās meklēšanas snieguma koeficientu. Spridzot pēc vidējiem rezultātiem, meklēšanas uzdevumi ar augstu mērķa-distraktora līdzību uz volumetriskā ekrāna kalpoja par lielāku izaicinājumu redzes sistēmai, kas netika kompensēts ar ilgāku meklēšanas laiku.

Pētījumā iesaistīto rezidentu un pieredzējušo radiologu sniegums veicot izstrādāto meklēšanas uzdevumu uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna bija līdzīgs. To ietekmēja gan mērķa stimula atšķirības lielums no pārējiem stimuliem, gan redzes informācijas apjoms uz ekrāna. Iegūtie rezultāti neapstiprina hipotēzi, ka atšķirības vizuālās meklēšanas procesos var tikt atspoguļotas globālos meklēšanas parametros, un turpmāk būtu nepieciešams noskaidrot, vai atšķirības ir novērojamas vizuālās meklēšanas veikšanas procesā, izskatot nemedicīniskus attēlus.

## Pateicības

Pētījums izstrādāts LU un SIA „*LightSpace Technologies*” ESP projekta „3D volumetriskais ekrāns un redzes sistēmas funkcionalitāte”, LU Fonda un SIA “Mikrotīkls” projekta Nr. 2184 „Redzes ergonomikas pētījumu vides attīstība”, LU Bāzes un Snieguma projektu ietvaros. Paldies Latvijas Universitātes pētniecei Mārai Vēliņai par palīdzību rezultātu statistiskajā apstrādē. Darba autori pateicas Rīgas slimnīcu radiologiem un rezidentiem par viņu veltīto laiku, aktīvu iesaistīšanos pētījumā un sniegto atgriezenisko saiti. Liels paldies Reinim Pituram un Gunitai Jankovskai par palīdzību pētījuma īstenošanā.

## Literatūra

- Andriole, K. P., Wolfe, J. M., Khorasani, R., Treves, S. T., Getty, D. J., Jacobson, F. L., Steigner, M. L., Pan, J. J., Sitek, A., & Seltzer, S. E. (2011). Optimizing analysis, visualization, and navigation of large image data sets: one 5000-section CT scan can ruin your whole day. *Radiology*, 259(2), 346-362.
- Chen, M., Pope, T., & Ott, D. (2011). *Basic radiology* (2nd ed.). New York: The McGraw-Hill Companies.
- Dalmajer, E. S., van der Stigchel, S., Nijboer, T. C. W., Cornelissen, T. H. W., Husain, M. (2015). CancellationTools: All-in-one software for administration and analysis of cancellation tasks. *Behavior Research Methods*, 47(4), 1065-1075.

- Deng, K., Wei, B., Chen, M., Huang, Z., Wu, H. (2018). Realization of real-time X-ray stereoscopic vision during interventional procedures. *Scientific Reports*, 8, Article No. 15852.
- Drew, T., Evans, K., Vö., L.-H., Jacobson, F., & Wolfe, J. M. (2013a). What can you see in a single glance and how might this guide visual search in medical images? *RadioGraphics*, 33, 263-274.
- Drew, T., Le-Hoa Vo, M., Olwal, A., Jacobson, F., Seltzer, S. E., & Wolfe, J. M. (2013b). Scanners and drillers: Characterizing expert visual search through volumetric images. *Journal of Vision*, 13(3), 1-13.
- Ferre, R., Goumot, P.-A., Mesurole, B. (2018). Stereoscopic digital mammogram: Usefulness in daily practice. *Journal of Gynecology Obstetrics and Human Reproduction*, 47(6), 231-236.
- Geng, J. (2013). Three-dimensional display technologies. *Advances in Optics and Photonics*, 5(4), 456-535.
- Hills, E. C., & Geldmacher, D. S. (1998). The effect of character and array type on visual spatial search quality following traumatic brain injury. *Brain Injury*, 12(1), 69-76.
- Huang, H.-C., & Wang, T.-Y. (2008). Visualized representation of visual search patterns for a visuospatial attention test. *Behavior Research Methods*, 40(2), 383-390.
- Jameson, A. (2012). Visual displays. In: Jackie, J. A., editor, *Human computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies, and emerging applications* (3rd ed.). CRC Press, 157-192.
- Kelly, B. S., Rainford, L., Darcy, S. P., Kavanagh, E. C., Toomey, R. J. (2016). The development of expertise in radiology: In chest radiograph interpretation, "expert" search pattern may predate "expert" levels of diagnostic accuracy for pneumothorax identification. *Radiology*, 280(1), 252-260.
- Kelly, B. S., Rainford, L., McEntee, M., & Kavanagh, E. C. (2018). Influence of radiology expertise on the perception of nonmedical images. *Journal of Medical Imaging*, 5(3), Article No. 031402, 1-5.
- Krupinski, E. A. (2010). Current perspectives in medical image perception. *Attention, Perception & Psychophysics*, 72(5), 1205-1217.
- Nodine, C. F., Krupinski, E. A. (1998). Perceptual skill, radiology expertise, and visual test performance with NINA and WALDO. *Academic Radiology*, 5(9), 603-612.
- Osmanis, K., Valters, G., Zabels, R., Gertners, U., Osmanis, I., Kalnins, L., Kandere, U., Ozols, A. (2018). Advanced multiplanar volumetric 3d display. *Proceeding of SPIE*, 10555, Emerging Liquid Crystal Technologies XIII, Article No. 1055510, 1-13.
- Pomplun, M., Garaas, T. W., & Carrasco, M. (2013). The effects of task difficulty on visual search strategy in virtual 3D displays. *Journal of Vision*, 13(3), 1-13.
- Reichelt, S., Häussler, R., Fütterer, G., & Leister, N. (2010). Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays. *Proceedings of SPIE*, 7690, 1-12.
- Singh, H., Neutze, J., Enterline, J., & Fotos, J. (2012). *Radiology fundamentals: Introduction to imaging & technology* (4th ed.). New York, USA: Springer Science+Business Media.
- van der Gijp, A., Ravesloot, C. J., Jarodzka, H., van der Schaaf, M. F., van der Schaaf, I. C., van Schaik, J. P. J., Ten Cate, T. J. (2017). How visual search relates to visual diagnostic performance: a narrative systematic review of eye-tracking research in radiology. *Advances in Health Science Education, Theory and Practice*, 22(3), 765-787.
- Wolfe, J. M., Evans, K. K., Drew, T., Aizenman, A., Josephs, E. (2016). How do radiologists use the human visual search engine? *Radiation Protection Dosimetry*, 169(1-4), 24-31.
- Zhao, Y., Wei, Y., Cui, X., Qu, L., Liu, L., & Wang, Y. (2013). 3D display technology in medical imaging field. *IEEE International Conference on Medical Imaging Physics and Engineering*, 3(13), 210-214.

# Dziļuma uztvere atkarībā no stimula atrašanās vietas uz volumetriskā ekrāna

Gunita Jankovska, Tatjana Pladere, Vita Konošonoka, Karola Panke un Gunta Krūmiņa  
*Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte, Optometrijas un redzes  
zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija*  
gunita.jankovska@lu.lv

## Anotācija

Telpiska attēla atveidojumu ir iespējams demonstrēt dažādās volumetriskā ekrāna vietās, un ir svarīgi zināt, vai attēls tiek vienlīdz kvalitatīvi uztverts atkarībā no stimula atrašanās vietas. Darba mērķis bija noskaidrot, vai dziļuma uztveri uz volumetriskā ekrāna ietekmē stimula atrašanās vieta dažādos skatīšanās attālumos.

Pētījumā piedalījās 16 dalībnieki vecumā no 20 līdz 25 gadiem. Redzes uzdevums pie katra skatīšanās attāluma bija noteikt, kurš no četriem apļiem atrodas tuvāk dalībniekam. Relatīvā dziļuma novērtēšanas uzdevums tika veikts piecos skatīšanās attālumos no 0,5 m līdz 1,5 m. Visos skatīšanās attālumos tika nodrošināts nemainīgs attēla izmērs uz tīklenes.

Kopumā tika novērots, ka, palielinoties skatīšanās attālumam līdz volumetriskajam ekrānam, samazinās relatīvā dziļuma noteikšanas precizitāte un palielinās uzdevuma izpildes laiks. Turklāt, palielinoties skatīšanās attālumam, dalībnieki biežāk nosaka relatīvo dziļumu pareizi un ātri stimuliem, kuri atrodas pa labi no ekrāna centra vai augšā, salīdzinot sniegumu dziļuma noteikšanā stimuliem horizontālā un vertikālā virzienā. Darbā iegūtie rezultāti norāda, ka, strādājot ar volumetrisko ekrānu, relatīvo dziļuma noteikšanu var ietekmēt stimula atrašanās vieta un precīzai dziļuma noteikšanai būtu iesakāms ievērot tuvu skatīšanās attālumu līdz ekrānam.

## Atslēgas vārdi:

Dziļuma uztvere, atbildes laiks, skatīšanās attālums, volumetriskais ekrāns

## Literatūras pārskats

Cilvēku ikdienā arvien vairāk jomās ienāk jaunie ekrāni. Mūsdienās trīsdimensionālās (3D) vizualizācijas tehnoloģijas tiek izmantotas kā dažādās profesionālās jomās, piemēram, zinātnē un medicīnā, tā izklaides jomā, piemēram, virtuālās realitātes spēlēs (*Mehrabi et al.*, 2013). 3D informācijas vizualizācija nodrošina reālistisku attēlošanas veidu, kas attēlu ļauj uztvert un interpretēt precīzāk, kas ir īpaši svarīgi profesionālo uzdevumu veikšanā. Jaunu tehnoloģiju izstrādes procesā ir jāizpēta, vai tās spēj nodrošināt kvalitatīvu attēlu atveidi. Kvalitatīvu 3D attēlu var radīt, nodrošinot dabiskus skatīšanās apstākļus un savstarpēji saskaņotus dziļuma nosacījumus.

Dziļuma uztvere balstās uz binokulāriem un monokulāriem dziļuma nosacījumiem. Dziļuma uztveres nosacījumu ieguldījumu dziļuma uztveres veidošanā ietekmē skatīšanās attālums, ko ir svarīgi ņemt vērā 3D ekrāna izmantošanā. Ir novērots, ka, piemēram, tādu nosacījumu kā binokulārās disparitātes, kas ir viens no nozīmīgākajiem dziļuma nosacījumiem (*Bolshakov & Sgibnev*, 2018), akomodācijas un konverģences pienesums dziļuma uztverē ievērojami samazinās, palielinoties skatīšanās attālumam (*Geng*, 2013; *Goldstane*, 2010), un tas var ietekmēt attēla tilpuma novērtēšanu lietotājam, kas lieto 3D ekrānu dažādos attālumos.

Ar 3D ekrāniem ir iespējams nodrošināt vairāk dziļuma nosacījumu, salīdzinot ar divdimensionālajām attēlošanas ierīcēm kā, piemēram, plazmas ekrāniem. 3D ekrānus iedala stereoskopiskos un autostereoskopiskos. Stereoskopisko ekrānu gadījumā ir nepieciešams lietot palīgierīces, piemēram, sarkan-zaļā filtra brilles, kur filtra izmantošana var negatīvi ietekmēt attēla kvalitāti (*Ideses & Yaroslavsky*, 2005), tāpat ir novērojams akomodācijas-verģences konflikts (*Geng*, 2013). Akomodācijas-verģences konflikts novērotājam var izraisīt diskomfortu un nogurumu (*Hoffman et al.*, 2008). Turpretī darbā ar tādiem autostereoskopiskiem ekrāniem kā volumetriskais



un hologrāfiskais ekrāns netiek novērots akomodācijas-verģences konflikts (Reichelt et al., 2010), kā arī novērotājam nav nepieciešams lietot papildierīces, lai attēlu uztvertu telpisku. Atšķirībā no stereoskopiskiem ekrāniem, ar volumetrisko ekrānu un datoru radītajām hologrammām tiek nodrošināti vairāki nozīmīgi dziļuma nosacījumi, kuri ir saskaņoti savā starpā (Geng, 2013).

Volumetriskais ekrāns ir inovatīva ierīce, kur attēls tiek radīts gaismu izstarojot vai izkļiedējot fiziskajā telpā (Bolshakov & Sgibnev, 2018). Volumetriskos ekrānus var iedalīt divās grupās – rotējošajos un statiskajos. Rotējošo ekrānu gadījumā projekcijas ekrāns tiek rotēts fiziskajā telpā (Favalora, 2005). Statiskā volumetriskā ekrāna optiskā elementa detaļas atšķirībā no rotējošā nemaina savu atrašanās vietu (Favalora, 2005). Pie statiskajiem volumetriskajiem ekrāniem pieder daudzplakņu ekrāni, kuru optisko elementu veido elektroniski pārslēdzamas šķidrā kristāla plaknes (Geng, 2013).

Telpiska attēla atveidojumu ir iespējams projicēt dažādās ekrāna vietās, tomēr, vai visās ekrāna vietās attēls tiks vienlīdz kvalitatīvi uztverts? Lai noskaidrotu atbildi uz šo jautājumu, Reis ar kolēģiem (2011) veica pētījumu, kur izmantoja divu šķidro kristālu plakņu ekrānu, pētot, kā atbildes sniegšanas laiku ietekmē mērķa-distraktora atšķirība. Tika noteikta tendence, ka vislielākais laika pieaugums ir novērojams virzienā no ekrāna centra uz malām, kad mērķa stimuluss no pārējiem stimuliem atšķiras ar dziļuma komponenti, tomēr tas netika statistiski apstiprināts. Turklāt šajā pētījumā netika konstatētas būtiskas atšķirības stimula atrašanās virziena gadījumā, kā, piemēram, tas tika novērots Previc & Blume (1993) pētījumā, kur dalībniekiem vieglāk bija noteikt stimulus, kas atradās pa labi un augšā no ekrāna centra, kad ekscentricitāte bija neliela un stimuluss atradās tuvāk fiksācijas plaknei. Tomēr ir svarīgi piebilst, ka Previc & Blume (1993) pētījumā attēla telpiskums bija simulēts izmantojot anaglifā metodi. Tādējādi, abi pētījumi nesniedz viennozīmīgu atbildi, vai dziļuma uztveri var ietekmēt stimula atrašanās virziens uz ekrāna, un mūsu pētījuma mērķis ir eksperimentāli noteikt, vai redzes stimulu atrašanās vieta ietekmē redzes sniegumu darbā ar inovatīvu volumetrisko ekrānu.

## Metodika

Eksperimentā brīvprātīgi piedalījās 16 dalībnieki vecumā no 20 līdz 25 gadiem (vidējais vecums  $21 \pm 1$  gadi). Dalībnieki bija emetropi vai emetropizēti, kā korekcijas līdzekli izmantojot kontaktlēcas. Visiem dalībniekiem redzes asums tūlumā un tuvumā bija vismaz 1,0 (decimālajās vienībās), netraucēta binokulārā redze un stereoredze.

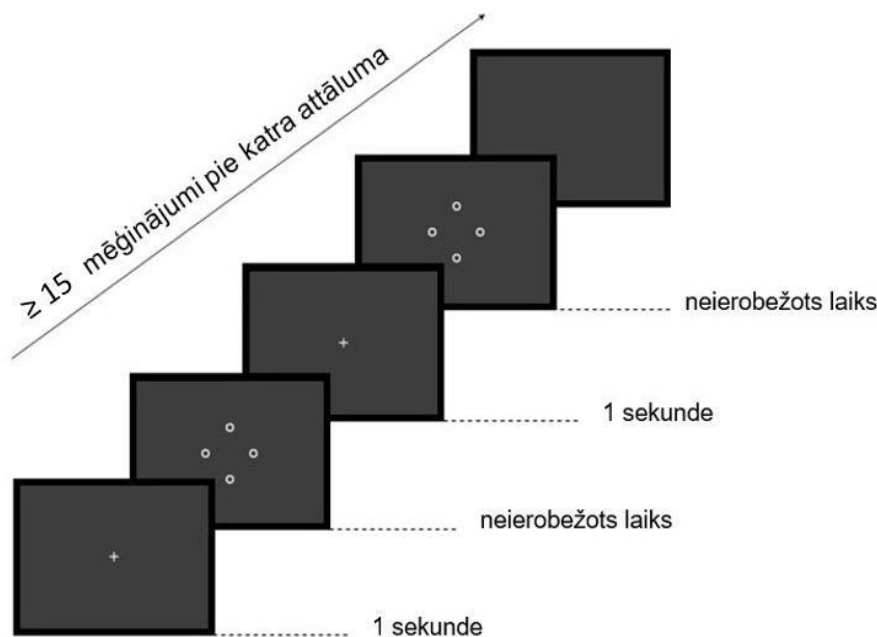
Pētījumā tika izmantots *LightSpace Technologies* volumetriskais ekrāns x1405. Tas sastāv no daudzplakņu optiskā elementa, ātrgaitas projektora, optiskā elementa dzinēja, bufera, kā arī ir nepieciešams dators ar programmatūru, lai uz volumetriskā ekrāna radītu attēlu. Optiskais elements sastāv no 20 šķidrā kristāla plaknēm, kur katras plaknes biezums ir 1,1 mm un tās vidū atrodas šķidrā kristāla slānis, uz kura tiek projicēts stimuluss. Attālums starp divām plaknēm ir 5,04 mm un kopējais daudzplakņu optiskā elementa izmērs ir 11,78 cm. Volumetriskā ekrāna izmērs ir 39,5 cm × 29,5 cm. Redzes stimuluss, kas ir novērojams uz volumetriskā ekrāna, ir kā reāls 3D objekta atveidojums. Stimula atveidošanai plaknes savā starpā pārslēdzas ar 60 Hz lielu frekvenci, jo projektors vienlaicīgi izgaismo tikai vienu ekrāna plakni, kamēr pārējās plaknes ir caurspīdīgas un ļauj gaismai plūst cauri (Geng, 2013).

Pētījuma procedūru apstiprināja Latvijas Universitātes Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta Zinātniskās izpētes ētikas komisija, un pētījums tika veikts, ievērojot Helsinku deklarāciju. Pirms eksperimenta tika noteikts dalībnieka stereosums tuvumā, izmantojot *Titmus* testu, pārbaudīta stereoredze tūlumā, izmantojot Osterberga testu, un redzes asums tūlumā un tuvumā, attiecīgi izmantojot tūluma un tuvuma redzes asuma noteikšanas tabulas. Pēc redzes testu veikšanas telpas apgaismojums tika samazināts un eksperiments noritēja mezopiskos apstākļos (1 lx). Dalībniekam ļāva adaptēties vismaz piecas minūtes pie jaunajiem gaismas apstākļiem, paralēli izstāstot eksperimenta būtību un gaitu, piebilstot, ka uzdevums ir jāveic pēc iespējas precīzāk un ātrāk.

Pētījuma dalībniekiem relatīvā dziļuma salīdzināšanas uzdevums bija jāveic piecos dažādos skatīšanās attālumos, kas bija diapazonā no 0,50 m līdz 1,50 m ar soli 0,25 m, kas tika izvēlēti nosacīti jauktā secībā. Kā pirmais skatīšanās attālums tika izvēlēts 0,50 m, 0,75 m vai 1,00 m, lai eksperimenta

sākumā dalībnieks spētu skaidri redzēt attēla telpiskuma efektu, saprastu uzdevumu un būtu motivēts to izpildīt arī turpmāk.

Kā redzes stimulsi tika izmantoti četri gaiši apli uz tumša fona. Divi no tiem bija demonstrēti dalībnieka acu līmenī (turpmāk tiek saukti par horizontālo grupu), viens – augšā, un viens – lejā (abi turpmāk tiek saukti par vertikālo grupu). Katra apla ārējais diametrs bija  $0,5^\circ$ , iekšējais  $0,4^\circ$  un attālums no ekrāna centra līdz apla centram bija  $1,9^\circ$ . Stimuli tika projicēti uz volumetriskā ekrāna piecām skatītājam tuvākajām plaknēm. Redzes stimulu demonstrēšana dažādās ekrāna plaknēs nodrošināja 3D efektu, proti, trīs apli tika projicēti uz vienas plaknes, bet viens aplis par vienu plakni tuvāk skatītājam. Pirms un starp katra stimula parādīšanās ekrāna centrā bija novērojams gaišs fiksācijas krusts (1 sekunde), uz kuru dalībnieks, iepazīstinot ar eksperimenta norisi (skat. 1. att.), tika lūgts vērst savu skatienu.



1. att. Redzes stimulu relatīvā dziļuma salīdzināšanas uzdevuma norise.

Dalībnieka uzdevums bija pie katra skatīšanās attāluma noteikt, kurš no četriem apliem bija tuvāk viņam un sniegt atbildi par apla virzienu, izmantojot klaviatūras virzienu taustiņus. Dalībnieka sniegtās atbildes par katru mēģinājumu tika saglabātas datorprogrammā. Turklāt bija pieejama informācija par to, cik liela bija plakņu atšķirība, cik ilgā laikā tika sniegta atbilde, vai tā bija pareiza un kurā no virzieniem atradās tuvāk projicētais aplis.

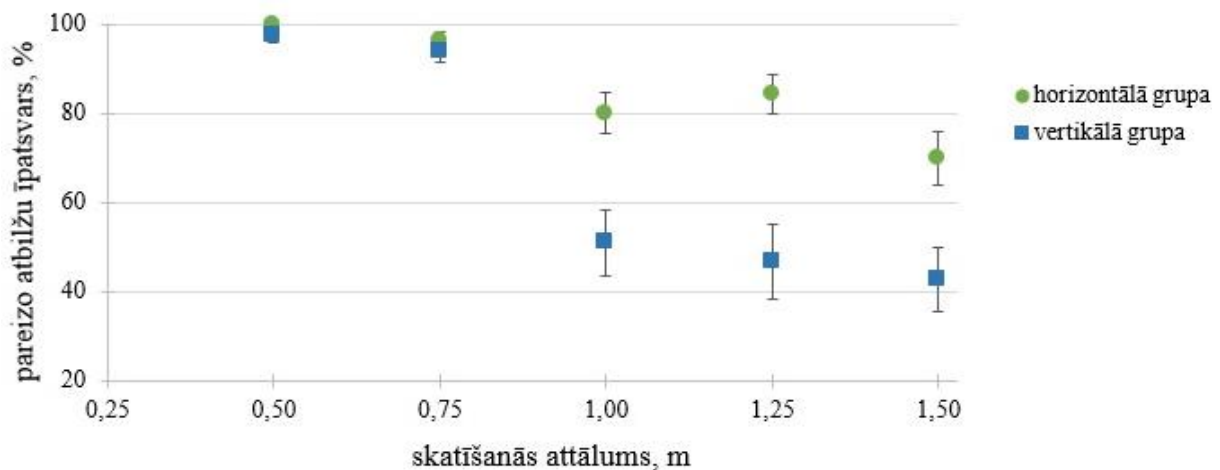
## Rezultāti un to analīze

Rezultātu analīzei tika izmantoti dati pie katra skatīšanās attāluma par pareizību, atbildes sniegšanas laiku un stimula atrašanās virzienu uz volumetriskā ekrāna no 16 pētījuma dalībniekiem. Iegūtie dati tika apkopoti un analizēti programmās *MS Excel* un *RStudio*.

**Pareizo atbilžu īpatsvars.** Šis lielums raksturo dalībnieku spēju pareizi noteikt stimula atrašanās vietu, ja stimuls atrodas horizontālajā vai vertikālajā grupā. Pareizo atbilžu īpatsvars var norādīt gan uz ekrāna spēju ietekmēt dziļuma uztveri, gan cilvēka redzes sistēmas īpatnībām darbā ar šo ekrānu.

Visaugstākais pareizo atbilžu īpatsvars ( $99 \% \pm 5 \%$ ), apkopojot visu dalībnieku datus, tika novērots, kad uzdevums tika pildīts tuvākajā skatīšanās attālumā ( $0,5 \text{ m}$ ). Tāpat tuvākajos skatīšanās attālumos netika novērotas būtiskas atšķirības rezultātos starp horizontālo un vertikālo grupu. Tomēr palielinoties skatīšanās attālumam, uzdevuma veikšanas pareizības atšķirība starp abām grupām

palielinājās, kur pie 1,5 m skatīšanās attāluma horizontālajā grupā pareizo atbilžu īpatsvars nokritās līdz  $70 \% \pm 24 \%$ , bet vertikālajā –  $43 \% \pm 29 \%$  (skat. 2. att.).



**2. att.** Vidējais pareizo atbilžu īpatsvars ar stimuliem horizontālajā un vertikālajā grupā atkarībā no skatīšanās attāluma līdz volumetriskajam ekrānam. Vertikālie stabiņi norāda  $\pm 1$  standartkļūdas robežas.

Pareizo atbilžu īpatsvara analizēšanai tika izmantots divfaktoru atkārtoto mērījumu ANOVA tests, kā faktoros iekļaujot stimula atrašanās virzienu, skatīšanās attālumu, apskatot arī abu šo faktoru mijiedarbību. Sfericitātes novērtēšanai tika izmantots *Mauchly* tests, kas neapstiprinājās tikai abu faktoru mijiedarbībai, tādēļ šim faktoram tika pielietots *Greenhouse-Geisser* tests. Visiem trim apskatītajiem faktoriem – stimula atrašanās virzienam ( $F_{1,15} = 18, p < 0,001$ ), skatīšanās attālumam ( $F_{4,60} = 39, p < 0,001$ ) un abu šo faktoru mijiedarbībai ( $F_{2,7, 40,9} = 6, p < 0,001$ ) – tika novērota statistiski būtiska ietekme uz pareizo atbilžu īpatsvaru. *Pairwise Post-hoc* tests ar *Bonferroni* korekciju uzrādīja, ka statistiski būtiska atšķirība pareizo atbilžu īpatsvaram nav novērojama starp skatīšanās attālumiem 0,50 m un 0,75 m ( $p = 0,47$ ); 1,00 m un 1,25 m ( $p = 1,0$ ); 1,0 m un 1,5 m ( $p = 1,0$ ), kā arī 1,25 m un 1,50 m ( $p = 1,0$ ).

No iegūtajiem rezultātiem par pareizo atbilžu īpatsvaru var secināt, ka pareizību relatīvā dziļuma noteikšanā būtiski ietekmēja stimula atrašanās virziens, kur augstāks pareizo atbilžu īpatsvars bija novērojams, ja stimulā atradās horizontālajā grupā. Šīs atšķirības varētu būt saistītas ar pūļa efektu, kur vertikālajā virzienā tas bija izteiktāks, salīdzinot ar horizontālo, eksperimenta dizaina un ekrāna izmēra dēļ (horizontāli – 39,5 cm, vertikāli – 29,5 cm). Pūļa efekts pieauga, palielinoties skatīšanās attālumam, jo samazinājās attālums starp stimula ārējo malu un ekrāna malu, īpaši vertikālajā virzienā. Turklāt stimuli tuvāk ekrāna malai varēja būt ar lielāku līnijas malu izkliedi, kas varēja ietekmēt spēju novērtēt stimulu relatīvo dziļumu. Tomēr domājams, ka ne tikai ar ekrāna parametriem var izskaidrot darbā iegūtās atradnes.

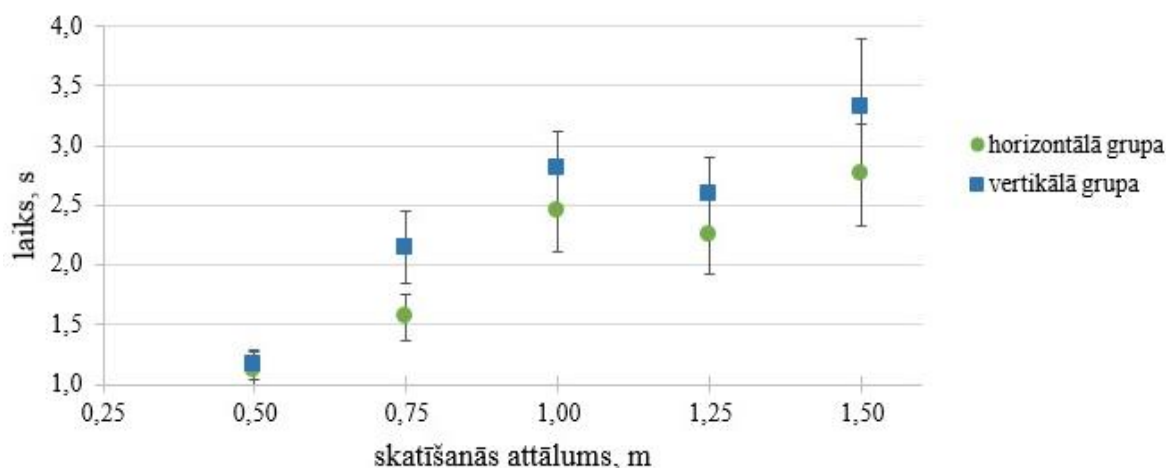
*Chouinard et al.* (2017) pētījumā, novērtējot cilvēka redzes lauku četros virzienos – uz augšu, uz leju, pa labi un pa kreisi – novēroja tendenci, ka kopumā dalībnieki precīzāk un ātrāk noteica stimula atrašanās vietu, ja tie atradās horizontālā virzienā (pa labi vai pa kreisi no fiksācijas punkta). Tomēr šī tendence netika noteikta kā statistiski būtiska. Atšķirīgos rezultātus starp abām grupām varētu skaidrot ar asimetrisko redzes lauku (*Previc & Blume*, 1993).

Statistiski būtiska ietekme pareizo atbilžu īpatsvaram bija skatīšanās attālumam līdz ekrānam. Pareizo atbilžu īpatsvars samazinājās, palielinoties skatīšanās attālumam, ko varētu izskaidrot ar dziļuma uztveres spējas samazināšanos galvenokārt binokulāro dziļumu nosacījumu ietekmes samazināšanās dēļ (*Allison, Gillam & Vecellio*, 2009; *Cutting & Vishton*, 1995), jo eksperimentā izmantotais stimulā galvenokārt tika nodrošināts ar binokulāriem dziļuma nosacījumiem.

Interesanti, ka arī abu faktoru – stimula grupas un skatīšanās attāluma – mijiedarbībai bija būtiska nozīme pareizo atbilžu īpatsvarā. Tika novērots, ka pareizība samazinājās, palielinoties skatīšanās attālumam, un ja stimulā atradās vertikālajā grupā.

**Atbildes sniegšanas laiks.** Rezultāti par atbildes sniegšanas laiku raksturo, cik ilgs laiks pētījuma dalībniekiem nepieciešams, lai noteiktu tuvāk esošo apli. Ilgāks atbildes sniegšanas laiks varētu norādīt, ka dalībniekam bija grūtāk noteikt stimula atrašanās vietu.

Līdzīgi novērojumi kā rezultātos par pareizo atbilžu īpatsvaru par stimula atrašanās virzienu ir pamanāmi arī atbildes sniegšanas laikā. Palielinoties skatīšanās attālumam līdz volumetriskam ekrānam no 0,5 m līdz 1,5 m, vidējais atbildes sniegšanas laiks horizontālajā grupā pieauga no  $1,1 \text{ s} \pm 0,6 \text{ s}$  līdz  $2,8 \text{ s} \pm 1,8 \text{ s}$ , bet vertikālajā – no  $1,2 \text{ s} \pm 0,5 \text{ s}$  līdz  $3,3 \text{ s} \pm 2,2 \text{ s}$  (skat. 3. att.).



**3. att.** Vidējais atbildes sniegšanas laiks stimuliem horizontālajā un vertikālajā grupā atkarībā no skatīšanās attāluma līdz volumetriskam ekrānam. Vertikālie stabiņi norāda  $\pm 1$  standartkļūdas robežas.

Izmantojot *ezANOVA* testu tika apskatīta tādu faktoru kā stimula atrašanās virziens un skatīšanās attāluma ietekme uz atbildes sniegšanas laiku. Sfericitātes novērtēšanai tika izmantots *Mauchly* tests, kas neapstiprinājās skatīšanās attālumam, tādēļ šim faktoram tika pielietots *Greenhouse-Geisser* tests. Abiem apskatītajiem faktoriem – stimula atrašanās virzienam ( $F_{1,15} = 11$ ,  $p < 0,005$ ) un skatīšanās attālumam ( $F_{2,4,36,7} = 16$ ,  $p < 0,001$ ) – tika novērota statistiski būtiska ietekme uz atbildes sniegšanas laiku. Tomēr statistiski nozīmīga atšķirība atbildes sniegšanas laikā netika pierādīta skatīšanās attālumiem 1,00 m un 1,25 m ( $p = 1,0$ ); 1,0 m un 1,5 m ( $p = 1,0$ ), 1,25 m un 1,50 m ( $p = 0,15$ ), kas norāda, ka lielākos skatīšanās attālos (virs 1,0 m) atbildes sniegšanas laiks statistiski būtiski nemainījās.

Atbildes sniegšanas laika atšķirības horizontālajā un vertikālajā virzienā varētu daļēji skaidrot ar atšķirīgajiem acu kustības laikiem starp horizontālām un vertikālām acu kustībām. *Hong* (2015) novēroja šo sakarību savā pētījumā, kur dalībniekiem, veicot redzes stimulu izvēles uzdevumu, tika novērota kopīga tendence – acu kustības horizontālajā virzienā bija ātrākas. Iespējams, šo tendenci varētu skaidrot ar to, ka ikdienā cilvēka acis daudz kustas horizontālā virzienā, piemēram, viena no tādām darbībām ir lasīšana. Turpmākajos darbos acu kustību pieraksts varētu sniegt skaidru priekšstatu par acu kustību virzienu, veicot redzes stimulu apskatīšanu uz volumetriskā ekrāna.

Relatīvā dziļuma noteikšanas uzdevuma izpilde dažādos skatīšanās attālos sniedza ieskatu, kā dalībnieki spēj uztvert 3D attēlu uz volumetriskā ekrāna. Iegūtie rezultāti liecina, ka dziļuma uztveri ietekmēja stimula atrašanās vieta uz ekrāna, jo statistiski būtiski lielāks pareizo atbilžu īpatsvars tika sasniegts, kā arī atbildes sniegšanas laiks bija īsāks, ja tuvāk esošais stimuluss bija no horizontālās grupas. Atšķirības starp abām stimulu virziena grupām pieauga, palielinoties skatīšanās attālumam līdz ekrānam. Tādējādi, strādājot ar volumetrisko ekrānu, ļoti precīzai attēla dziļuma noteikšanai būtu iesakāms ievērot salīdzinoši tuvu skatīšanās attālumam līdz ekrānam.

## Pateicības

Pētījums izstrādāts LU un SIA „*LightSpace Technologies*” ESP projekta „3D volumetriskais ekrāns un redzes sistēmas funkcionalitāte”, LU Fonda un SIA “*Mikrotīkls*” projekta Nr. 2184 „Redzes

ergonomikas pētījumu vides attīstība”, LU Bāzes un Snieguma projektu ietvaros. Paldies Latvijas Universitātes pētniecei Mārai Vēliņai par palīdzību rezultātu statistiskajā apstrādē.

## Literatūra

- Allison, R. S., Gillam, B. J., & Vecellio, E. (2009). Binocular depth discrimination and estimation beyond interaction space. *Journal of Vision*, 9(1), 1-14.
- Bolshakov, A., & Sgibnev, A. (2018). System analysis of formation and perception processes of three-dimensional images in volumetric displays. *Journal of Physics: Conference Series*, 973, 1-10.
- Chouinard, P. A., Peel, H. J., & Landry, O. (2017). Eye-tracking reveals that the strength of the vertical-horizontal illusion increases as the retinal image becomes more stable with fixation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 1-14.
- Cutting, J. E., & Vishton, P. (1995). Perceiving layout and knowing distances: The interaction, relative potency, and contextual use of different information about depth. Epstein, W., *Handbook of perception and cognition: Perception of space and motion*. New York: Academic Press, 69-117.
- Favalora, G. E. (2005). Volumetric 3D displays and application infrastructure. *Computer*, 38(8), 37-44.
- Geng, J. (2013). Three-dimensional display technologies. *Advances in Optics and Photonics*, 5(4), 456-535.
- Goldstane, B. E. (2010). *Sensation and perception*. Australia: Wadsworth, Cengage Learning.
- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 1-30.
- Hong, S. K. (2015). Comparison of vertical and horizontal eye movement times in the selection of visual targets by an eye input device. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 34(1), 19-27.
- Ideses, I., & Yaroslavsky, L. (2005). Three methods that improve the visual quality of colour anaglyphs. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, 7(12), 755-762.
- Mehrabi, M., Peek, E. M., Burkhard, C. W., Lutteroth, C. (2013). Making 3D work: a classification of visual depth cues, 3D display technologies and their applications. *Proceedings of the Fourteenth Australasian User Interface Conference AUIC 2013*, 91-100.
- Previc, F. H., & Blume, J. L. (1993). Visual search asymmetries in three-dimensional space. *Vision Research*, 33(18), 2697-2704.
- Reichelt, S., Häussler, R., Fütterer, G., & Leister, N. (2010). Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays. *Proceedings of SPIE*, 7690, 1-12.
- Reis, G., Liu, Y., Havig, P., & Heft, E. (2011). The effects of target location and target distinction on visual search in a depth display. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(1), 29-41.

# Stereotests stereoanomālijas novērtēšanai

Gunta Krūmiņa<sup>1\*</sup>, Annija Gulbe<sup>1</sup>, Elizabete Eldmane<sup>1</sup>, Carlo Adami<sup>2</sup> un Vsevolod Liakhovetckii<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

<sup>2</sup>Ottica Adami Ferdinando, Verona, Itālija

<sup>3</sup>Krievijas Zinātņu akadēmija, Pavlova fizioloģiskais institūts, Sanktpēterburga, Krievija

\*Gunta.Krumina@lu.lv

## Anotācija

Optometrists novērtējot stereoredzes kvalitāti izmanto mums labi zināmos klīniskos stereoredzes novērtēšanas testus kā *TNO*, *Titmus* un *Lange I* un *II*. Tie ir testi, kuri ir ieguvuši speciālistu atzinību, ir vienkārši lietojami. Taču ar tiem var novērtēt tikai aptuvenu stereoredzes asumu, jo to ietekmē testa izveides īpašības. Datorizētie testi galvenokārt tiek veidoti ar anaglifa metodi, kur pielieto krāsu filtrus. Sāk parādīties arī testi, veidoti uz polarizētiem datoru ekrāniem. Līdz ar to rodas daudz jautājumu, kuri ekrāni, kuri testi būtu labāki un vai eksistē kāds ideāls stereotests.

*Metode.* Veikta dažādu autoru publicēto rezultātu izpēte, lai izprastu klīnisko un uz datora veidoto testu pielietošanas iespējas, un lai varētu izprast kādi faktori ietekmē stereoredzes novērtēšanas sliksni. Kā arī ir veiktas iestrādes jauna datorizētā stereotesta izveidē un aprobācijā.

Stereotestus pēc veidiem varētu iedalīt divās lielās grupās – lokālās un globālās stereoredzes novērtēšanas testi. Lokālās stereoredzes testiem ir monokulāras norādes un tie var maldināt redzes speciālistu, ja pacients neredz stereoattēlu, bet meklē atšķirīgo attēlu, piemēram, uz sānu nobīdītos. Globālās stereoredzes testos nav monokulāro norāžu un tos ir grūtāk ieraudzīt, ja tos skatās pirmo reizi. Kā arī tiek uzskatīts, ka globālās stereoredzes (izklīdēto punktu) testi pilnībā nevērtē tikai globālo stereoredzi, jo šeit pēc attēlu līdzīgo punktu savietošanas ir nepieciešams salikt kopā arī attēla nosacīto kontūru (*Westheimer & McKee*, 1979). Viens no uzskatiem, ka vieglāk cilvēkam ir skatīties uz līniju jeb kontūru testu, kā arī rezultāti parāda, ka ātrāk saskatīt ir tieši kontūru testus (*Harwerth & Rawlings*, 1977). Stereoasums ir atkarīgs arī no testa veikšanas reizēm, līdzīgi kā redzes treniņš. Jo cilvēks vairākkārtīgi skatās uz smalkajām nobīdēm, jo ir iespējams uzlabot stereoredzes asumu. Pierādīts, ka treniņš līdz 2000 reižu atkārtojumam ir maksimums, lai katrs indivīds sasniegtu savu labāko stereoasuma vērtību (*Fendick & Wetheimer*, 1983; *Gantz & Bedell*, 2010). Patlaban ir neatbildēts jautājums, kādēļ veicot stereoasuma novērtēšanas testus uz datora ekrāna un klīniski izveidotos testus uz platēm, labāki rezultāti ir sasniedzami uz platēm (*Gadia et al.*, 2014). Anaglifa metodē tiek pielietoti krāsu filtri, kas varētu būt traucēklis laba stereoaasuma novērtēšanai. Kā viens no skaidrojumiem varētu būt arī ‘zilo’ vāļišu iztrūkums centrālajā tīklenes daļā, kas varētu norādīt, ka stereoasums ir sliktāks nekā ar sarkani zaļiem stimuliem (*Pennington*, 1970). Strādājot redzes speciālista praksē būtiski ņemt vērā, ka stereoredzes asums samazinās gadījumos, kad vienas acs defokuss ir 0,50 D, savukārt redzes asums tai pat laikā saglabājas ļoti labs vai vispār nepasliktinās. Kā arī monokulārais defokuss vairāk ietekmē stereoredzes kvalitāti nekā binokulārais defokuss (*Lit*, 1968; *Legge*, 1979; *Shor et al.*, 1984). Tas ir svarīgi zināt pie redzes korekcijas izrakstīšanas vai iesakot pacientiem lietot monokorekciju vai pielietojot specifiskas presbiopijas korekcijas kontaktlēcas.

*Secinājumi.* Lai varētu novērtēt stereosliksni ir nepieciešami datorizētie testi, kuriem ir iespēja mainīt stimulu parametrus, kuri ir atkārtojami vairākas reizes un kuriem cilvēks neatcerēsies rādītos stimulus. Kā arī svarīgi ņemt vērā testu izveides principus un faktorus, kas ietekmē stereoredzes kvalitātes novērtēšanu. Cerēsim, ka tuvākā nākotnē arvien pieprasītāki kļūst uz viedām ierīcēm izveidotie testi un optometrists būs pietiekami gudrs, lai izvērtētu rādīto stimulu parametrus un to ietekmi uz stereoasuma novērtēšanu.

## Atslēgas vārdi:

Klīniskie stereotesti, stimulu veidi, stimulu fizikālās īpašības, stereoasums

## Ievads

Optometrista praksē stereoredzi novērtē pielietojot dažādus stereotestus, piemēram, *TNO*, *Lange testu*, *Titmus testu*, projektoru testus. Pēc būtības tos var iedalīt divās lielās grupās – testi, kas paredzēti globālās stereoredzes novērtēšanai, un testi, kas paredzēti lokālās stereoredzes novērtēšanai. Stereoredzes pamatā ir binokulārā disparitāte, kas ir objekta attēla nobīde uz vienas tīklenes attiecībā pret attēlu uz otras tīklenes. Šī nobīde rodas tāpēc, ka abas acis ir laterāli atdalītas un redz pasauli no diviem nedaudz atšķirīgiem skata punktiem. Binokulārā disparitāte ir visa vajadzīgā informācija smadzenēm, lai noteiktu attēla fona un elementa dziļumu. Testos šo nobīdi rada mākslīgi, pielietojot attēlu nobīdi, atdalot attēlus ar filtriem laikā vai ar spoguļu palīdzību. Stereoredzes mērījumi ir svarīgi binokulārās redzes anomāliju skrīningā un diagnostikā, un pēdējos gados arī ir informatīva dažādu nopietnu saslimšanu gadījumos (piemēram, autisma, disleksijas, multiplās sklerozes u.c. slimību gadījumos).

Stereoredzes raksturlielums ir *stereoasums (binokulārā disparitāte)*, kas nosaka relatīvās stereoskopiskās paralaksēs leņķi, kuru cilvēks vēl var saskatīt un atšķirt. Stereoskopiskās paralaksēs lielums ir atkarīgs no cilvēka starpzīlīšu attāluma, no objekta lokalizācijas, no stimula parametriem, kuri tiek izmantoti testa izveidošanā. Stereoredzes raksturlielums ir stereoasums, stereoleņķis vai stereoslieksnis, kuru mērvienība ir loka sekundes. Stereoasums 400 loka sekundes un vairāk ir novērojams perifērās binokularitātes gadījumā, 80-200 loka sekundes raksturo binokularitāti, kas veidojas makulas rajonā, stereoasums mazāks kā 60 loka sekundes ir iegūstams tikai ar foveolas binokularitāti (*Simons 1993*).

Redzes anatomiskie un fizioloģiskie pētījumi ir pierādījuši trīs paralēlos informācijas plūsmas ceļus *laterāli genikulārajā ķermenī (LGK)* un primārajā redzes garozā. *Magno šūnu* ceļš ir paredzēts kustību un pagaidu informācijas uztverei, kā arī šeit varētu norisināties rupjās, lokālās stereoredzes veidošanās, *parvo starpšūnu* ceļš ir augsto frekvenču un statiskās informācijas pārraidei, kā arī iesaistās smalkās, globālās stereoredzes veidošanās, un *parvo šūnu* ceļš ir hromatiskās un zemo frekvenču informācijas pārraidei, un stereoredzes procesam, kas novērtē attēlu lieluma atšķirības starp acīm (*Livingstone & Hubel 1987; Tyler 1990*).

Vispirms smadzenes abos retinālajos attēlos nosaka lielas attēla sakritības, kuru veic *lokālā stereoredze*. Lokālā stereoredze darbojas arī tādos gadījumos, ja telpiskais objekts ir uztverams arī monokulāri. Lokālā stereoredze eksistē, lai redzes sistēma atšķirtu divus horizontāli nobīdītus stereostimulus. Šis process ir pietiekams kontūras stereoredzei. Pēc lokālās stereoredzes smadzenēs abi retinālie attēli tiek salīdzināti daudz plašākā apgabalā.

*Globālā stereoredze* ir nepieciešama iekliedēto stereogrammu ieraudzīšanai, kad nav monokulāri nosacījumi telpiska attēla ieraudzīšanai. Šajā gadījumā ir nepieciešama informācija no abu acu tīklenes attēliem, kuri tiek smadzenēs sapludināti un tikai tad veidojas stereosajūta. Tās darbība noris foveolas līmenī un galvenokārt tiek analizēti objekti, kas atrodas uz empīriskā horoptera vai ļoti tuvu tam.

*Tyler (1990)* apgalvo, ka lokālajā stereoredzē piedalās gan rupjās, gan smalkās stereoredzes komponentes, bet globālajā stereoredzē piedalās tikai smalkās stereoredzes komponente. Klīniskie stereoredzes novērtēšanas testi balstās uz globālo stereoredzi, iekļaujot gan smalko, gan rupjo stereoredzi, tādēļ tie ir daudz jutīgāki pret noteiktām binokulārām anomālijām nekā testi, kas balstās tikai uz lokālo stereoredzi.

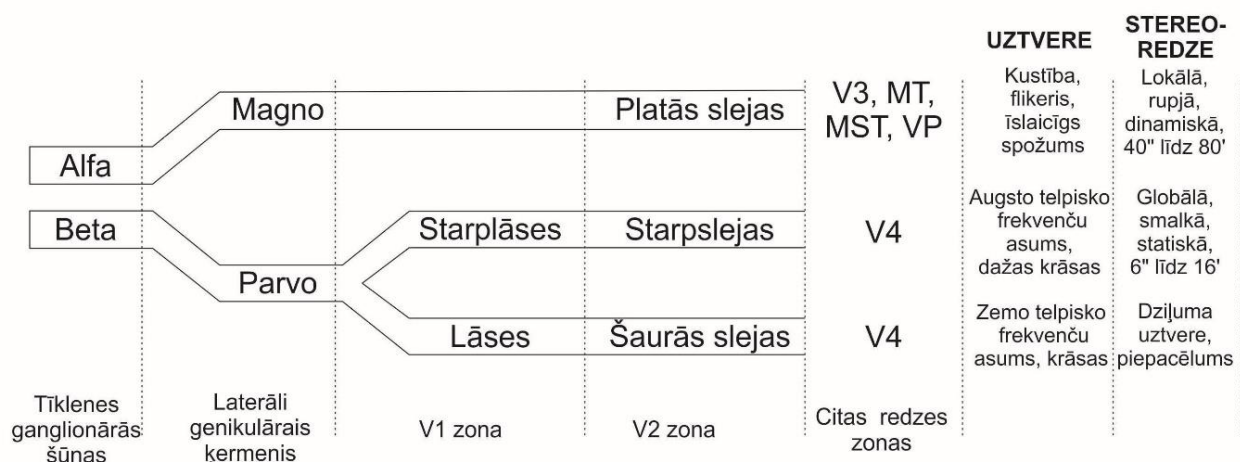
Pavisam var izdalīt četru veidu neironus, kas reaģē uz diviem (krustotās un nekrustotās) disparitātes veidiem (*Poggio & Poggio 1984, Poggio et al. 1988, Cumming & De Angelis 2001*): (1) uzbudinoši noskaņotie (*tuned excitatored neurons – TEN*) neironi, (2) kavējoši noskaņotie (*tuned inhibited neurons – TIN*) neironi, (3) tuvu noskaņotie (*tuned near neurons – TNN*) un tālu noskaņotie (*tuned far neurons – TFN*) neironi, (4) tuvie (*near neurons – NN*) neironi un tālie (*far neurons – FN*) neironi.

Šis šūnu iedalījums grupās var izskaidrot stereoanomālijas. Individīdiem, kas neuztver stimulus ar lielu nekrustoto disparitāti ( $> 0,5^\circ$ ), domājams, nav tālo neironu. Tiem, kas neuztver lielas krustotās disparitātes, nav tuvo neironu, bet viņiem ir normāla smalkā stereopse fiksācijas attālumā (*Cumming & De Angelis 2001*).



Redzes ceļi smadzenēs iedalās magnocelulārajā un parvocelulārajā apakšsistēmā. Bija doma, ka informācija par stereoredzi tiek vadīta tikai pa magnocelulāro sistēmu (*Livingstone & Hubel 1987*). Tomēr ir daži fakti, kas to apstrīd, piemēram, lai uztvertu izkliedēto punktu stereogrammas, ir nepieciešama augsta telpiskā izšķiršana, ko regulē parvocelulārā sistēma. Parvocelulārā sistēma ir atbildīga par krāsu uztveri, tā var atbalstīt stereoskopiskas kustības uztveri krāsainiem stimuliem, stereopsi var iegūt, ja ir krāsu korespondence, bet nav spožuma korespondences. Bojājumi parvocelulārajā sistēmā apgrūtina stereogrammu uztveri, kurām ir smalks raksts, bet neietekmē stereogrammas ar rupju struktūru. Šie novērojumi liecina, ka krāsu informācijai ir tikpat svarīga loma stereoredzē kā spožumam un eksistē būtiska pārklāšanās starp abām sistēmām uzturot stereoredzi. Fizioloģiskie novērojumi tomēr parāda, ka tikai magnocelulārā sistēma ir iesaistīta stereopses procesos, jo disparitātes jutīgās šūnas pārsvarā ir atrodamas tikai šīs sistēmas struktūrās.

Līdz šim laikam atšifrētais redzes ceļš ir parādīts 1. attēlā, kurā var redzēt, ka stereoredzes veidošanā piedalās gan parvo, gan magno šūnas un to tālāk veidotie informācijas plūsmas ceļi.



**1. att.** Redzes receptoru uztvertās informācijas plūsmas ceļi sākot no tīklenes šūnām līdz pat redzes garozas specifiskajām zonām (aizgūts un modificēts no Hart, W.M. (Ed.) (1992). "Adler's physiology of the eye").

Līdz šim uzskatīja, ka klīniskie stereoredzes testi pietiekami labi, lai novērtētu tikai krustoto disparitāti, jo nevienam testam nav iedota instrukcija, ka to varētu arī savādāk izmantot. Pētījumi 70. gados parādīja, ka ir iespējams novērtēt stereoanomāliju jeb vienas disparitātes iztrūkumu (*Richards, 1970, 1971*). Sākotnēji stereoanomālija tika pētīta, izmantojot lokālos stereotestus, tomēr vēlāk pētījumus papildināja arī globālie stereotesti. Līdz šim pētījumos tika izmantotas salīdzinoši lielas disparitātes, tikai īsi apskatot smalkākas disparitātes stimulus. Stereoanomālijas pētīšanai ir nepieciešams datorizēts stereotests, jo tajā nepieciešams ierobežot stimula rādīšanas laiku. Jo īsāks būs stimula rādīšanas laiks, jo procentuāli vairāk stereoanomālo dalībnieku tiks konstatēti. *Ogle & Weil (1958)* parādīja, ka testa stimula ekspozīcijas laikiem palielinoties no 10 ms uz 1000 ms stereoasums uzlabojas četras reizes. Klīniskajos drukātajos stereotestos kā liels risks jāmin testa stimulu iemācīšanās, kas apgrūtina atkārtotus mērījumus viena testa ietvaros un īsākos laika periodos. Kas savukārt ir viens no plusiem datorizētajiem stereotestiem, kuros stimul tiek parādīts jauktā secībā un paralēli iespējams pārbaudīt gan krustoto, gan nekrustoto disparitāti. Šādi testi arī dod lielisku iespēju veikt stereoredzes treniņus. Līdz šim pētījumos izmantoti tikai lokālie stereoredzes testi stereoanomālijas novērtēšanai (*Richards, 1970, 1971; Stelmach & Tam, 1996; van Ee & Richards, 2002; van Ee, 2003*). Mūsu pētījuma mērķis bija izstrādāt jaunu lokālo un globālo datorizēto stereoredzes testu un noskaidrot, cik stereoanomālo dalībnieku ir novērojami.

## Metode

Stereotestam ir četras versijas – globālās stereoredzes novērtēšanas tests ar ierobežotu un neierobežotu skatīšanās laiku, lokālās stereoredzes novērtēšanas tests ar ierobežotu un neierobežotu skatīšanās laiku. Testam ir iespējams mainīt sākuma nobīdi, lai cilvēks varētu testu redzēt. Globālās

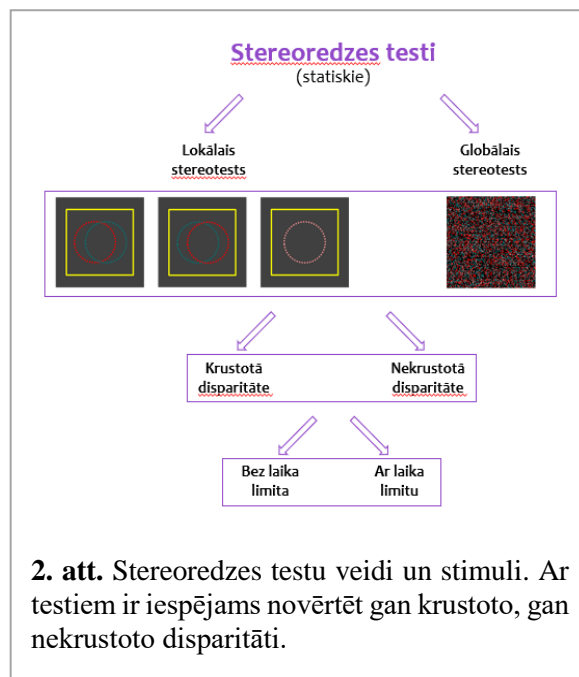


stereoredzes testam ir iespējams mainīt punktu blīvumu, punktu lielumu. Lokālās stereoredzes testam ir iespējams mainīt elementa kontūras biezumu un elementa lielumu. Ja sākotnējā iecere bija izveidot testus pēc iespējas līdzīgākus, lai atšķirtos tikai ar vienu pazīmi, tad diemžēl lokālās stereoredzes testam nav iespējams izveidot raibu fonu kā tas būtu izkliedēto punktu testā. Šis raibais fons neļauj noslēpt vienas acs attēlu. Testam ir trīs atbildes versijas – elements (aplis) atrodas pirms ekrāna, aiz ekrāna un nav manāma figūra jeb nav novērojama stereogramma (skat. 2. att.).

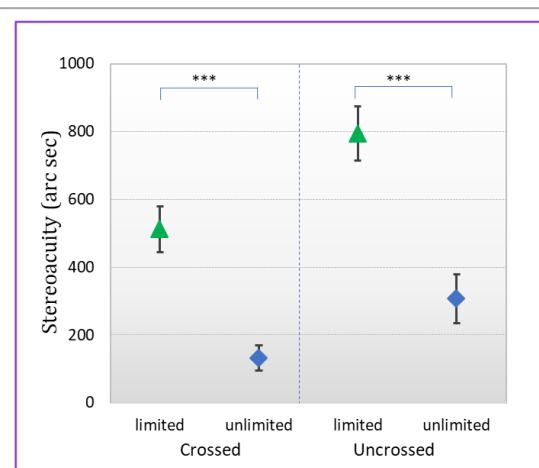
Visiem dalībniekiem pirms datorizētā testa tika noteikta stereoredze ar TNO un Titmus testu, kā arī redzes asums ar *Freiburg Visual Acuity & Contrast Test*, izmantojot Landolta C optotipus četros dažādos virzienos 1,2 m attālumā. Pētījumā piedalījās tikai tie dalībnieki, kuriem bija stereoredze ar abiem testiem. Datorizētais stereotests tika rādīts 1,2 m, lai varētu novērtēt pēc iespējas smalkāku stereoredzes asumu, kāds ir iespējams ar datorizētām programmām attiecīgo pikseļu izmēra gadījumā. Neierobežota laika stimula gadījumā demonstrēšanas ilgums bija limitēts – 5000 ms stimula rādīšanai un 3000 ms atbildes sniegšanai. Ierobežotais stimula rādīšanas laiks bija 200 ms ar 3000 ms laiku atbildes sniegšanai. Stimula demonstrēšanas laiki izvēlēti atbilstoši citu pētījumu (*Stelmach & Tam, 1996; Patterson & Fox, 1984*) novērojumiem un iegūtajiem rezultātiem. Visi dalībnieki veica gan lokālo, gan globālo stereoredzes testu. Pirms testa izpildes tika iedota izmēģinājuma versija, lai dalībnieks varētu saprast, kas viņam jāredz un ko nozīmē stimula īslaicīgā parādīšanās. Pētījumā piedalījās 55 dalībnieki, kuri nepieciešamības gadījumā lietoja redzes korekciju.

## Rezultāti

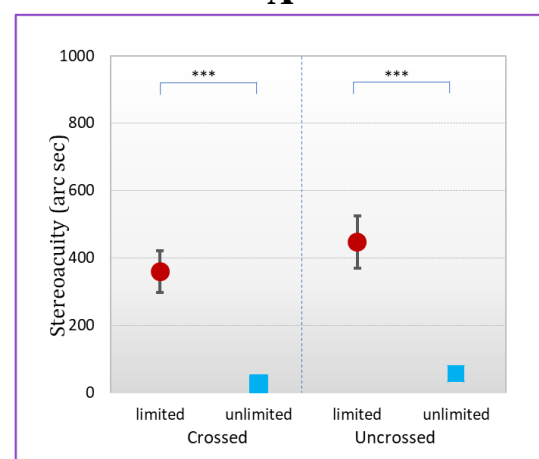
Globālā stereoredzes testā, izmantojot neierobežotu stimula rādīšanas laiku, rezultāti norāda uz statistiski nozīmīgu atšķirību ( $p = 0,05$ ) starp krustoto un nekrustoto disparitāti. Krustotās disparitātes vidējā vērtība bija  $48 \pm 33$  loka sekundes, nekrustotās disparitātes –  $58 \pm 6$  loka sekundes. Salīdzinot rezultātus pie ierobežota stimula rādīšanas laika (200 ms), tika novērota statistiski būtiska atšķirība ( $p = 0,002$ ), dalībniekiem uzrādot labākus rezultātus ar krustoto disparitāti ( $75 \pm 15$  loka sekundes) nekā ar nekrustoto disparitāti ( $261 \pm 59$  loka sekundes). Analizējot dalībnieku vidējo lokālo stereoslieksni pie krustotās disparitātes tas, bija  $212 \pm 26$  loka



2. att. Stereoredzes testu veidi un stimuli. Ar testiem ir iespējams novērtēt gan krustoto, gan nekrustoto disparitāti.



A



B

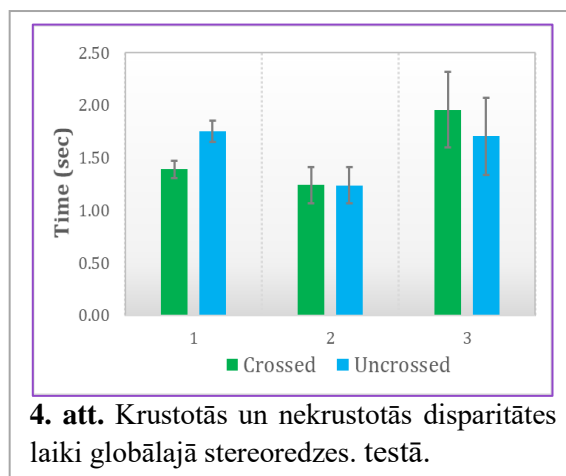
3. att. Globālās (A) un lokālās (B) stereoredzes testu rezultāti pie krustotās un nekrustotās disparitātes un ar ierobežoto un neierobežoto stimulu rādīšanas laiku.

sekundes, savukārt pie nekrustotās disparitātes bija  $190 \pm 29$  loka sekundes. Starp noteiktiem lokālo dispritiāšu stereoasumiem nepastāv statistiski nozīmīga atšķirība,  $p > 0,05$ .

Statistiski būtiska atšķirība tika novērota salīdzinot iegūtos rezultātus starp globālo stereoredzes testu rezultātiem ar neierobežotu stimula rādīšanas laiku (5000 ms) un ierobežotu stimula rādīšanas laiku (200 ms). Gan krustotās, gan nekrustotās disparitātes gadījumā vidējās vērtības izlases grupā statistiski būtiski atšķīrās (skat. 3.A att.). Limitētā stimula rādīšanas gadījumā dalībniekiem stereoasums būtiski pasliktinājās. Tā kā pētījumā lokālo un globālo stereoredzes testu veica vieni un tie paši dalībnieki, tad var redzēt, ka lokālās stereoredzes testā rezultāti ir labāki. Taču šeit jāpiebilst, ka diemžēl dalībnieku skaits, kuri nevarēja redzēt lokālo ierobežotā laika stereoredzes testu šeit gan bija vairāk – gandrīz puse. Tai pat laikā globālo stereoredzes testu ar ierobežoto laiku neredzēja tikai 31 %.

Testa laikā programma automātiska nomērīja laiku, cik ilgi dalībnieks sniedz atbildi, sākot no testa stimula parādīšanās momenta līdz taustiņa nospiešanai. Tādējādi tika apkopots katra dalībnieka vidējais atbilžu laiks krustotās un nekrustotās disparitātes stimuliem, un aprēķināti visu dalībnieku ar normālu stereoredzi atbilžu vidējie laiki. Salīdzinot globālā stereoredzes testā iegūtos rezultātus starp krustotās un nekrustotās disparitātes stimuliem, izmantojot neierobežotu stimula rādīšanas laiku, netika novērota statistiski nozīmīga atšķirība (krustotā disparitāte:  $1,2 \pm 0,6$  s; nekrustotā disparitāte:  $1,1 \pm 0,5$  s;  $p = 0,78$ ), kā arī pie ierobežota skatīšanās laika netika novērota statistiski nozīmīga atšķirība (krustotā disparitāte:  $1,0 \pm 0,4$  s; nekrustotā disparitāte:  $1,0 \pm 0,7$  s;  $p = 0,28$ ). Lokālā stereoredzes testā neierobežota stimula demonstrēšanas laika testā dalībniekiem ar normālu stereoredzi vidējais atbildes sniegšanas laiks bija  $2,0 \pm 0,2$  s krustotajā disparitātē un  $1,8 \pm 0,1$  s nekrustotajā disparitātē. Starp disparitātēm nepastāvēja nozīmīga statistiska atšķirība. Saīsinot stimula demonstrēšanas laiku, vidējais atbildes sniegšanas laiks krustotajā disparitātē samazinājās uz  $1,1 \pm 0,1$  s salīdzinot ar neierobežoto laiku ( $p < 0,005$ ) un nekrustotajā  $1,0 \pm 0,1$  s salīdzinot ar neierobežoto laiku ( $p < 0,005$ ). Lai gan samazināts stimula demonstrēšanas laiks ietekmē atbildes sniegšanas laiku, nenovēroja arī šajā gadījumā viena testa ietvaros atšķirību atbildes sniegšanas laikā starp disparitātēm (skat. 3.B att.).

Ja savukārt dalībniekus iedala trīs grupās, kur 1. grupa ir dalībnieki ar labāku krustotās disparitātes uztveri, 2. grupa – krustotā un nekrustotā disparitāte neatšķiras, 3. grupa – labāka ir nekrustotā disparitāte, tad redzams, ka 1. grupas un 3. grupas krustotās disparitātes laiki ir būtiski atšķirīgi ( $p < 0,05$ ), savukārt nekrustotās disparitātes atpazīšanas laiki nav atšķirīgi (skat. 4. att.).



4. att. Krustotās un nekrustotās disparitātes laiki globālajā stereoredzes testā.

## Diskusija

Šajā pētījumā no 55 dalībniekiem – 17 jeb 31 % no dalībniekiem bija ar globālās vienas disparitātes stereoanomāliju, taču tikai 3 jeb 5 % no dalībniekiem bija divu disparitāšu stereoanomālija. Šī pētījuma rezultāti daļēji sakrīt ar *Richards* (1970) rezultātiem, kur no 75 dalībniekiem 30 % tika novērota stereoanomālija. Savukārt veicot lokālo stereoredzes testu, stereoanomāliju novēroja jau 51 % dalībnieku.

Pētījumu metodikas dažādos pētījumos ir ļoti atšķirīgas. *Richards* (1970) izmantoja lokālo stereotestu (divi nobīdīti stieņi) ar polarizētajiem filtriem. Tas tika veikts lielākā attālumā – 2 metri un stimula rādīšanas laiks bija vairāk kā uz pusi īsāks – 80 ms. Viena no galvenajām atšķirībām, kas jāņem vērā – šeit tika izmantotas lielas disparitātes, sākot no  $0,50^\circ$  līdz pat maksimums  $8^\circ$ . Savukārt mūsu pētījumā tika izmantotas pēc iespējas smalkākas disparitātes – sākot no  $0,012^\circ$  (43 loka sekundes) līdz  $0,30^\circ$  (1075 loka sekundes). *Jones* (1977) kā vienu no galvenajiem secinājumiem minēja, ka stereoanomālijas traucējumi varētu būt tikai pie lielākām disparitātēm, izlaižot smalkās

disparitātes. No mūsu pētījuma iegūtajiem datiem šis apgalvojums neapstiprinājās, iegūstot procentuāli visaugstāko skaitu ar stereoanomālajiem dalībniekiem tieši ar smalkām disparitātēm. *Newhouse & Uttal* (1982) līdzīgi kā esošajā pētījumā izmantoja izkliedēto punktu stereogrammas pēc anaglifa metodes. Taču autori pētījuma programmā pakāpeniski samazināja korelējošos testa punktus no 100 % līdz 40 %. Dalībniekiem tika dotas divas minūtes, lai noteiktu stimula dziļumu. Manuāli tika uzņemts laiks, cik ilgi katrs dalībnieks sniedz savas atbildes. Tikai trīs dalībniekiem no 102 dalībniekiem tika konstatēta divu disparitāšu stereoanomālija, no kuriem vienam dalībniekam tika noskaidrots, ka ir tikai viena redzoša acs (*Newhouse & Uttal*, 1982). Tika konstatēts arī mazs procentuālais dalībnieku skaits ar stereoanomāliju, kas sastāda vidēji 6 % no 102 pētījuma dalībniekiem (*Newhouse & Uttal*, 1982). Tā kā autori dalībniekiem deva maksimums divas minūtes laika stimula atpazīšanai, tas arī varētu skaidro, kāpēc bija tik zems procentuālais dalībnieku skaits ar stereoanomāliju. Līdzīgi kā *Newhouse & Uttal* (1982), mūsu pētījumā izmantojot 5000 ms tikai diviem jeb 4 % no dalībniekiem tika konstatēta stereoanomālija arī pie neierobežota skatīšanās laika.

Mūsu pētījuma stimula rādīšanas laiks tika balstīts uz *Stelmach & Tam* (1996) pētījuma rezultātiem. Viņi izmantoja 200 ms stimula rādīšanas laiku, un ap 10 % tika konstatēta stereoanomālija. Autori darbā izmantoja arī smalkākas disparitātes: 0°; 0,13°; 0,25°, kas ir tuvāk mūsu pētījuma izvēlētajam disparitāšu diapazonam: no 0,012°(43 loka sekundes) līdz 0,30° (1075 loka sekundes) ar vairākiem starpsoliem. *Stelmach & Tam* (1996) pētījumā izmantots polarizētā tipa tests ar izkliedētiem punktiem 50 cm attālumā. Autoru galvenais uzdevums bija pamatot, kāpēc iepriekš minētie rezultāti ir tik atšķirīgi, skaidrojot to ar izmantoto stimula rādīšanas laiku. Galā tika secināts, jo ilgāks stimula rādīšanas laiks, jo mazāk procentuāli stereoanomālo dalībnieku (*Stelmach & Tam*, 1996). Salīdzinot *Stelmach & Tam* (1996) iegūtos rezultātus ar mūsu pētījuma rezultātiem, tika iegūts gandrīz 4 reizes lielāks procentuālais stereoanomālo dalībnieku skaits, izmantojot vienādu stimula rādīšanas laiku (36 % mūsu pētījumā, 10 % *Stelmach & Tam* (1996) pētījumā).

Kaut arī ir vairāki pētījumi, kuros tiek pētīta stereoanomālija, katra pētījuma metodika ir atšķirīga. Līdz ar to pārliecinošus secinājumus un salīdzinājumus nav iespējams veikt. Kopumā jaunais stereotests strādā ļoti labi, lai novērtētu stereoanomālo dalībnieku stereosliekšņus un atbilžu laikus, tādējādi izpildot šī darba galveno mērķi. Kā arī, to salīdzinot ar TNO stereotestu, dalībnieki arī uzrāda labus rezultātus, izmantojot neierobežotu testa rādīšanas laiku. Jauno stereotestu ir iespējams pielāgot klīniskiem izmeklējumiem, kas īpaši noderētu pārbaudot krustotās un nekrustotās stereoredzes darbību. Lai būtu iespējams veikt pārliecinošus secinājumus ir nepieciešami jauni pētījumi, kas pēta stereoanomāliju, izmantojot pēc iespējas smalkākas disparitātes.

## Secinājumi

Sākotnējie rezultāti parāda, ka ar testu var novērtēt krustotās un nekrustotās disparitātes sliekšņus ar ierobežotu un neierobežotu rādīšanas laiku. Taču skatoties pēc literatūras, jāapzinās, ka pie neierobežota rādīšanas ilguma cilvēkam ar stereoanomāliju var tikt novērtēta stereoredze, bet tā nebūs kā attiecīgās disparitātes raksturlielums. Drīzāk tā raksturo, vai cilvēks ir adaptējies un spēj ar vienu disparitātes veidu kompensēt neesošo stereodisparitāti.

## Pateicības

Pētījums tapis ar LU Bāzes un Snieguma finansējuma, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 atbalstu.

## Literatūra

- Cumming, B.G., & De Angelis, G.C. (2001). The physiology of stereopsis. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 203-238.
- Jones, R. (1977). Anomalies of disparity detection in the human visual system. *The Journal of Physiology*, 264(3), 621-640.
- Livingstone, M.S., & Hubel, D.H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, colour, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7(11), 3416-3468.

- Newhouse, M., & Uttal, W.R. (1982). Distribution of stereoanomalies in the general population. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 20(1), 48-50.
- Ogle, K.N., & Weil, M.P. (1958). Stereoscopic vision and the duration of the stimulus. *A.M.A. Archives of Ophthalmology*, 59(1), 4-17.
- Patterson, R., & Fox, R. (1984). The effect of testing method on stereoanomaly. *Vision Research*, 24(5), 403-408.
- Poggio, G.F., & Poggio, T. (1984). The analysis of stereopsis. *Annual Review of Neuroscience*, 7, 379-412.
- Poggio, G.F., Gonzalez, F., & Krause, F. (1988). Stereoscopic mechanisms in monkey visual cortex: binocular correlation and disparity selectivity. *Journal of Neuroscience*, 8(12), 4531-4550.
- Richards, W. (1970). Stereopsis and stereoblindness. *Experimental Brain Research*, 10(4), 380-388.
- Richards, W. (1971). Anomalous stereoscopic depth perception. *Journal of the optical society of America*, 61(3), 410-414.
- Simons, K. (Ed.) (1993). *Early visual development, normal and abnormal*. Oxford University Press, 197-284.
- Stelmach, L.B., & Tam, W.J. (1996). Stereo-anomalous vision in a sample of young adults. *SPIE Human Vision and Electronic Imaging*, 2657, 302-306.
- Tyler, C.W. (1990). A stereoscopic view of visual processing streams. *Vision Research*, 30(11), 1877-1895.
- van Ee, R. (2003). Correlation between stereoanomaly and perceived depth when disparity and motion interact in binocular matching. *Perception*, 32(1), 67-84.
- van Ee, R., & Richards, W. (2002). A planar and a volumetric test for stereoanomaly. *Perception*, 31(1), 51-64.

# Lokālā stereotesta izstrāde stereoanomālijas novērtēšanai

Annija Gulbe<sup>1</sup>, Vsevolod Liakhovetski<sup>2</sup> un Gunta Krūmiņa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

<sup>2</sup>Krievijas zinātņu akadēmijas Pavlova fizioloģijas institūts, Sanktpēterburga, Krievija  
\*gunta.krumina@lu.lv

## Anotācija

Stereoredze kā acu sadarbības un binokularitātes mehānisma augstākā pakāpe ir daudz pētīta. Jo īpaši padziļināti tas veikts kopš 19. gs., kad zinātnieki Herings un Helmholtzs pētīja acu sadarbību skaidroja horoptera principu, kā arī Vītstons pirmais izveidoja stereoskopu, ar kuru veicināja plašāku izpratni par stereoredzi (*Wilcox & Lakra*, 2007). Stereoredzes pētniecība ir vērtīga ne tikai redzes funkciju izmeklēšanai klīniskos nolūkos, bet arī neirozinātnē pētīt smadzeņu garozas algoritmus un uztveri. Lai varētu klīnikā novērtēt stereoredzi, tad ir izveidoti dažādi testi, kas balstīti uz lokālās un globālās stereoredzes principiem. Testi ir statistiski un galvenokārt domāti stereoredzes krustotās disparitātes sliekšņa novērtēšanai.

Par stereoanomāliju dēvē nespēju pareizi uztvert objekta dziļumu pie salīdzinoši lielas krustotās vai nekrustotās disparitātes. Valda uzskats, ka 30 % populācijas saskaras ar šo problēmu (*van Ee*, 2003; *Richards*, 1971). Savu pētījumu rezultātā *Richards* (1971), izmantojot lokālo stereotestu, atsevišķiem pētījuma dalībniekiem novēroja traucējumus vienā no disparitātēm (krustotā vai nekrustotā). Testam bija ierobežots izpildes laiks 80ms un izmantoti lielas disparitātes stimuli ( $1^\circ - 4^\circ$ ). Savukārt citos pētījumos, kas veikti ar standarta klīniskajiem lokālās stereoredzes testiem (*Titmus*), kuriem neparedz demonstrēšanas laika ierobežojumu, šādas dažādu disparitāšu uztveršanas atšķirības stereoredzes kvalitātē nav novērotas (*Momeni-Moghadam et al.*, 2011). Šie pretējie rezultāti kalpojuši par pamatu pētījuma izstrādei un Optometrijas nodaļas lokālā stereotesta izveidei, kurā iekļauts gan neierobežots, gan ierobežots demonstrēšanas laiks un izmantoti stimuli smalko disparitāšu stereoredzes novērtēšanai ( $0,01^\circ - 0,27^\circ$ ).

Pētījuma mērķis ir izstrādāt jaunu, datorizētu smalko disparitāšu lokālās stereoredzes novērtēšanas testu un izpētīt, vai stereoanomālija ir novērojama pie saīsināta stimula demonstrēšanas ilguma. Tika izstrādāts datorizēts anaglifa tipa stereoredzes novērtēšanas tests. Dalībnieku uzdevums bija diferencēt, kā stimuls vērsts pret references objektu. Pētījumā piedalījās 52 dalībnieki. Novērtējot viņu stereoredzi ar jauno izveidoto lokālās stereoredzes testu, pusei no dalībniekiem tika novērota normāla stereoredze un pusei novērojām vienu no stereoanomālijām. Dalībniekiem ar normālu stereoredzi bija labāks stereoasuma sliekšnis un ātrāks atbildes sniegšanas reakcijas laiks, kā arī mazāks kļūdu skaits nekā dalībniekiem ar novēroto stereoanomāliju.

Mūsu rezultāti atšķiras no iepriekš veiktajiem pētījumiem. Domājams, ka stimulu pielietošanas dēļ, kas ir ar mazāku stereodisparitāti un kas varēja ietekmēt stereoslieksni, jo ir grūtāk uztvert mazāku dziļumu. Kā arī vēl viens no cēloņiem varētu būt anaglifa metodē pielietoto krāsu filtru caurlaidība, kas samazina gan redzes asumu, gan var ietekmēt arī stereoredzes kvalitāti. Taču jaunais izveidotais tests dod iespēju novērtēt krustoto un nekrustoto disparitāti un ir ātri paveicams. To pilnveidojot, nākotnē varētu pielietot arī redzes speciālista prakses vietās.

## Atslēgas vārdi:

Stereoredze, stereoanomālija, krustotā un nekrustotā disparitāte, atbildes laiks

## Literatūras pārskats

Jauna lokālā stereotesta (JLS) izveide balstīta uz stereosliekšņa novērtēšanu un stereoanomālijas detektēšanu. Par stereoanomāliju dēvē nespēju pareizi uztvert objekta dziļumu pie salīdzinoši lielas krustotās vai nekrustotās disparitātes. Valda uzskats, ka 30 % populācijas saskaras ar šo problēmu

(van Ee, 2003; Richards, 1971). Savu pētījumu rezultātā Richards (1971), izmantojot lokālo stereotestu, atsevišķiem pētījuma dalībniekiem novēroja traucējumus vienā no disparitātēm (krustotā vai nekrustotā). Testam bija ierobežots izpildes laiks 80 ms un izmantoti lielas disparitātes stimuli ( $1^\circ - 4^\circ$ ). Savukārt citos pētījumos, kas veikti ar standarta klīniskajiem lokālās stereoredzes testiem (*Titmus*), kuriem neparedz demonstrēšanas laika ierobežojumu, šādas dažādu disparitāšu uztveršanas atšķirības stereoredzes kvalitātē nav novērotas (*Momeni-Moghadam, et al., 2011*). Šie pretējie rezultāti kalpojuši par pamatu šī pētījuma izstrādei un Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas lokālās stereotesta izveidei, kuros iekļauts gan neierobežots, gan ierobežots demonstrēšanas laiks un izmantoti stimuli smalko disparitāšu stereoredzes novērtēšanai ( $0,01^\circ - 0,27^\circ$ ).

Izšķir globālo un lokālo stereoredzi, tāpēc ir arī dažādi stereotesti. Lai uztveru lokālās stereoredzes stimulu, nepieciešama laba fūzijas spēja un katras acs disparitātes stimulam jābūt ar augstas pakāpes līdzību. Noteiktās disparitātes amplitūda lokālajai stereoredzei ir mazāka par  $\pm 0,5$  grādiem (*Richards & Kaye, 1974*). Izplatītākais lokālās stereoredzes tests ir Titmus polarizētais tests. Stereoredzes pētīšanai, kā arī klīniski novērtēšanai izmanto stereogrammas jeb divdimensionālie stereotesti, piemēram, pēc anaglifū metodes, kur katrai acij veido savu attēlu, izmantojot filtru brilles. Šādu stāvokli inscenē tikai ar binokulārās disparitātes palīdzību, stimulējot vergēnces sistēmu, akomodācijai paliekot nemainīgai uz aplūkojamo objekta attālumu, radot nedabisku akomodācijas un vergēnces sistēmas darbību.

Lokālās jeb kontūru stereoredzes novērtēšanai, atšķirībā no globālās, izmanto augsta kontrasta stimulus ar monokulāri saskatāmām līnijām. Tas rosina trīsdimensionāla attēla uztveri, stimulējot vergēnces darbību ar labi pamanāmo kontūru palīdzību, kas tādējādi veicina pareizu acu motoro sadarbību. Šādos testos arī fūziju veicinošie stimuli palīdz veikt kvalitatīvu telpiskuma sajūtas novērtēšanu (*Vancleef et al., 2017*). *Landers & Cormack (1997)* secināja, ka, izmantojot lokālās stereoredzes stimulu, novērš iespējamu kļūdīšanos stimula formas noteikšanā, kā arī ir iespēja izmantot plašāku disparitātes amplitūdu nosakot stereosliekni.

Viens no pirmajiem stereoanomālijas pētniekiem Richards (1971) izvirzīja pieņēmumu, ka dziļuma uztveri pamatā veido vismaz trīs mehānismi un ka pastāv trīs dažādi binokulārās aktivitātes centri, kuri katrs atbild par krustoto, nekrustoto un nulles disparitāti. Savu pētījumu rezultātā, izmantojot lokālo stereotestu, atsevišķiem pētījuma dalībniekiem novēroti traucējumi vienā no disparitātēm (krustotā vai nekrustotā), kas liek domāt, ka stereoattēla uztverē darbojas atšķirīgi mehānismi. Tādējādi secināja, ka testos vajadzētu atdalīt abas šīs disparitātes un pētīt atsevišķi. Šis Richards (1971) pētījums tālāk kalpoja par pamatu tālākiem stereoanomālijas pētījumiem.

Kā minimālais demonstrēšanas laiks, lai uztvertu stereoskopisku attēlu, ir 50 ms (*Uttal et al., 1975*). Īso stimula demonstrācijas laiku paredz, lai samazinātu acu kustības un akomodācijas darbību un netiktu mainīta fiksācija, jo, mainot fiksāciju, cilvēks spēj izmainīt uztverto krustotās disparitātes stimulu un pārvietot to uz nekrustotās disparitātes testa telpu, tādējādi maskējot stereoanomāliju (*van Ee, 2003*). *Landers & Cormack (1997)*, pētot lokālo stereoredzei, secināja, ka stereoanomālija nav ļoti neparasta parādība un to nevajadzētu interpretēt kā traucējumus neirālajos mehānismos. Stereoanomālija ir izplatīta stereoredzes variācija, novirze no normas.

Pētījuma mērķis ir izstrādāt jaunu, datorizētu smalko disparitāšu lokālās stereoredzes novērtēšanas testu un izpētīt, vai stereoanomālija ir novērojama pie saīsināta stimula demonstrēšanas ilguma.

## Metodika

Pētījumā piedalījās 53 dalībnieki, no tiem 44 sievietes un 9 vīrieši. Dalībnieku vidējais vecums  $25 \pm 1$  gadi (robežās no 19 līdz 42 gadiem). Visiem dalībniekiem bez redzes korekcijas vai ar vajadzīgo redzes korekciju redzes asums bija normas robežās, līdzīgs redzes asums abās acīs un stereoredze, kas novērtēta ar klīnisko polarizēto stereotestu (*Titmus Stereo Fly*). Datu analīzē tika iekļauti tie dalībnieki, kuri spēja sasniegt vismaz vienā no testa mēģinājumiem augstāku stereoasumu par programmā noteikto maksimālo sliekšni, līdz ar to kopējais dalībnieku skaits, veicot analīzi, bija 52.

Pētījuma sākumā tika ievākti dalībnieku demogrāfiskie dati (vecums un dzimums), nomērīts starpzīlīšu attālums ar pupilometru, redzes asums katrā acī, kas noteikts ar FrACT programmu izmantojot Landolta C optotipus četros dažādos virzienos demonstrētā stereotesta attālumā – 1,2 m. *Titmus Stereo Fly* tests tika demonstrēts pie krustotās un nekrustotās (stereostimulu bloks apvērsts par 180°) disparitātes 1,2 m attālumā, pārrēķinot iegūstamos stereosliekšņus uz minēto attālumu pēc formulas:

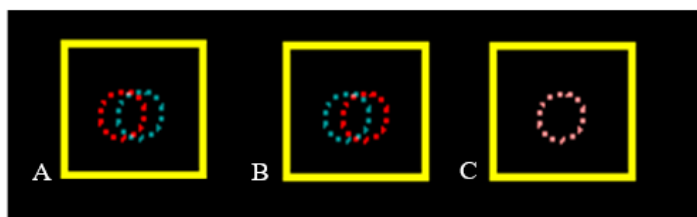
$$a_2 = \frac{d_1}{d_2} \times a_1, \quad (1)$$

kur  $a_2$  – disparitāte [loka sekundes] modificētajā attālumā;  $a_1$  – disparitāte [loka sekundes] standarta attālumā;  $d_1$  – standarta testa attālums [m];  $d_2$  – modificētais testa attālums [m].

Dalībnieka galvenais uzdevums bija diferencēt, kā stimulš vērsts pret references objektu: uz āru no references kvadrāta (krustotā disparitāte), uz iekšu no references kvadrāta (nekrustotā disparitāte) vai vienā līmenī ar references kvadrātu (nulle disparitāte); un sniegt atbildi ar tastatūras taustiņiem: “8” – uz āru, “2” – uz iekšu un “5” – datora ekrāna plaknē. Katrs pētījuma dalībnieks testu pildīja trīs reizes pie neierobežota stimulu demonstrēšanas ilguma (5 s) un trīs reizes pie ierobežota (0,2 s) laika. Gan neierobežota ilguma testam, gan ierobežota ilguma testam tika ņemts vērā dalībnieka vidējais rādītājs.

Jaunais stereotests balstīts uz tuvuma lokālās stereoredzes, ir datorizēts un veidots pēc anaglifū sarkani-zilo filtru metodes, tādējādi atdalot attēlus katrai acij. Lokālās jeb kontūru stereoredzes novērtēšanai izmanto augsta kontrasta stimulus ar monokulāri saskatāmām līnijām. Testa stimulš ir aplis iekš kvadrāta kā references objekta. Stimuli viens pēc otra mainās līdz ar dalībnieka atbildes sniegšanu. Pie neierobežota laika stimula demonstrēšanas ilgums bija tik un tā limitēts – 5 s un 3 s tika dotas atbildes sniegšanai. Ierobežotais stimula rādīšanas laiks bija 0,2 s ar 3 s atbildes sniegšanas laiku. Attēlu atdalīšanai katrai acij tika izmantotas sarkani-zilās filtru brilles. Sarkanās krāsas RGB vērtības atbilst 255;0;0, zilās krāsas RGB vērtības atbilst 0;139;139. 1. attēlā parādīti trīs dažādu stimulu piemēri, kas atbilst 309 loka sekundēm pie krustotās un nekrustotās, kā arī nulles disparitātes (bez nobīdes).

Tests tika demonstrēts uz portatīvā datora (*ASUS K55V*) ar 15,6 collu ekrānu un 1366 x 768 px izšķirtspēju, izmantojot maksimālo ekrāna spožumu un kontrastu. Ar šādiem ekrāna parametriem 1 pikselis atbilst 0,25 mm. Visiem dalībniekiem tika saglabāti vienādi eksperimenta apstākļi un tehniskais nodrošinājums.



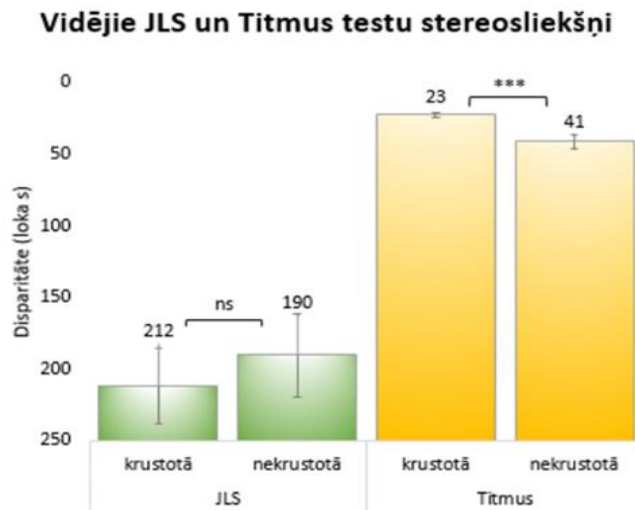
1. att. Jaunā lokālā stereotesta stimulu piemēri: A – krustotā disparitāte (7 px = 293 loka sekundes), B – nekrustotā disparitāte (7 px = 309 loka sekundes), C – nulles disparitāte.

## Rezultāti un to analīze

Ar jauno lokālo stereotestu (JLS) minimālais stereoasums, ko var iegūt izvēlētajā testa attālumā (1,2 m) ir 43 loka sekundes (1 px disparitāte), savukārt maksimālais stereoasums ir 1075 loka sekundes (25 px), kas nozīmē, ka dalībnieks nav spējis izšķirt mazākas disparitātes nobīdi. Vidējais JLS stereoasums bija  $212 \pm 26$  loka sekundes, labākais sasniegtais 43 loka sekundes, zemākais 866 loka sekundes, savukārt pie nekrustotās disparitātes:  $190 \pm 29$  loka sekundes, labākais sasniegtais 43 loka sekundes, zemākais 833 loka sekundes. Starp disprītašu stereoasumiem nepastāv statistiski nozīmīga atšķirība,  $p > 0,05$ . Kontroles mērījums veikts ar klīnisko *Titmus* stereotestu, kas arī ir balstīts uz lokālo stereoredzi. Tests veikts 1,2 m attālumā, un pārrēķināti stereoleņķi uz doto attālumu. Dalībnieku vidējais stereoslieksnis krustotajā disparitātē bija  $23 \pm 2$  loka sekundes, labākais

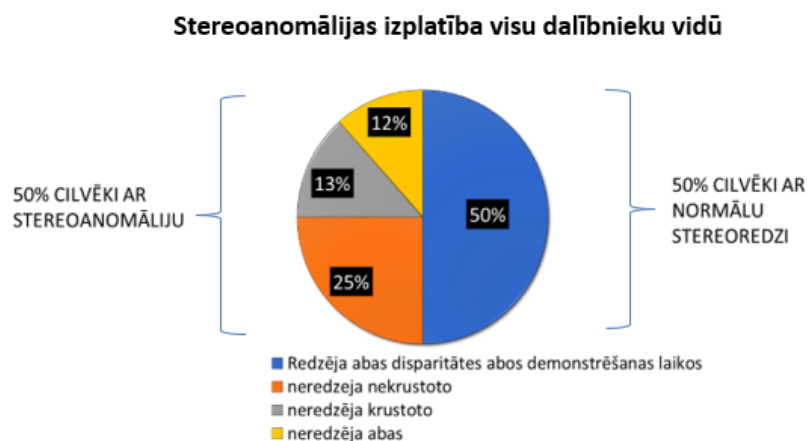


sasniegtais 13 loka sekundes, zemākais 67 loka sekundes, savukārt nekrustotajā diparitātē vidējais stereoslieksni bija  $41 \pm 5$  loka sekundes, labākais sasniegtais 13 loka sekundes, zemākais 133 loka sekundes (skat. 2. att.). Iegūtie rezultāti ar JLS un *Titmus* testu atšķiras un nav savstarpēji salīdzināmi, jo ir veidoti pēc dažādu filtru metodēm, ir atšķirīgs pēc testa uzbūves un disparitātēm.



**2. att.** Vidējie stereosliekšņi visiem dalībniekiem ar jauno lokālo stereotestu (JLS) un Titmus klīnisko stereotestu pie krustotās un nekrustotās disparitātes. Novērojama statistiski nozīmīga atšķirība Titmus testā starp dažādām disparitātēm, savukārt JLS vidējie stereosliekšņi starp disparitātēm neatšķiras. Starp abiem testiem nepastāv korelācija, jo ir atšķirīgas uzbūves testi.

Izvērtējot, kā dalībnieku rezultātu ietekmēja saīsinātais stimula demonstrācijas laiks, var secināt, ka ar īsāku demonstrēšanas laiku 50 % no visiem dalībniekiem novērojama viena no stereoanomālijām (skat. 3. att.): 25 % neredzēja nekrustoto disparitāti, 13 % neredzēja krustoto disparitāti, līdz ar to 38 % bija vienas disparitātes stereoanomālija, taču 12 % nespēja saskatīt nevienu no disparitātēm (abu disparitāšu stereoanomālija), lai gan pie neierobežota laika spēja saskatīt. No visiem dalībniekiem ar stereoanomāliju 12 % dalībnieku novēroja arī nespēja izšķirt vienu no disparitātēm arī pie neierobežota laika.

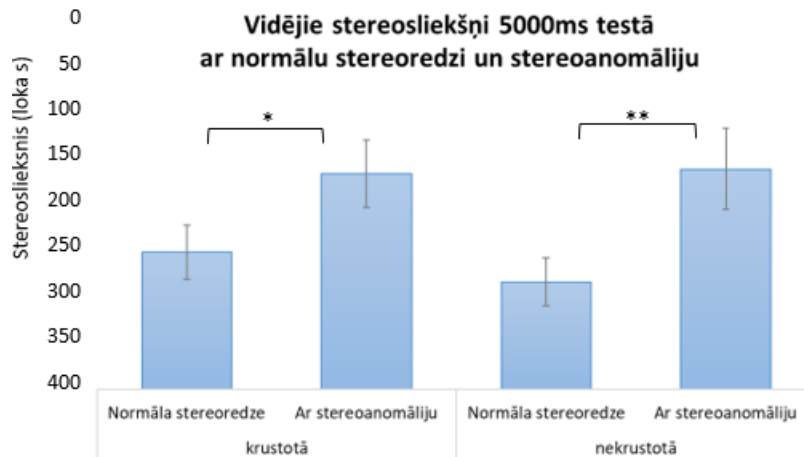


**3. att.** Stereoanomālijas izplatība visu dalībnieku vidū: 50% cilvēki ar normālu stereoredzi - spēja sasniegt pie abām disparitātēm labāku stereoslieksni par programmas minimāli noteikto gan garajā, gan īsajā laikā, savukārt 50% izpaudās vismaz viena no stereoanomālijām saīsinot stimula demonstrēšanas laiku.

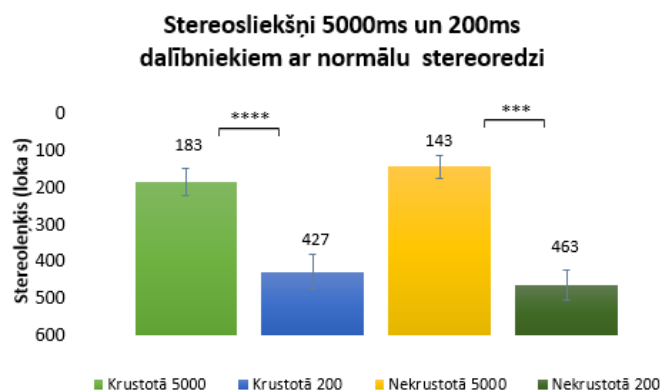
Salīdzinot, kādi ir vidējie stereosliekšņi dalībniekiem ar normālu stereoredzi un dalībniekiem ar stereoanomāliju neierobežota laika stereotestā, var novērot atšķirības starp abām šīm grupām (skat. 4. att.). Dalībniekiem ar normālu stereoredzi vidējais stereoslieksnis ir  $183 \pm 36$  loka sekundes



krustotajā disparitātē un  $143 \pm 31$  loka sekundes nekrustotajā disparitātē. Starp disparitātēm šajā gadījumā nepastāv statistiski nozīmīga atšķirība. Taču dalībniekiem ar stereoanomāliju tāda paša veida stereotestā krustotajā disparitātē  $287 \pm 45$  loka sekundes un nekrustotajā  $294 \pm 54$  loka sekundes, arī starp disparitātēm statistiski nozīmīgas atšķirības nav, taču starp dalībniekiem ar normālu stereoredzi un stereoanomāliju pastāv atšķirības ( $p < 0,05$ ) un dalībnieki ar normālu stereoredzi sasniedza neierobežota laika testā augstāku stereoslieksni.



**4. att.** Vidējie stereoslieksņi neierobežota laika (5 s) testā dalībniekiem ar normālu stereoredzi un dalībniekiem ar stereoanomāliju. Novērojama statistiski nozīmīga atšķirība starp abām šīm dalībnieku grupām ( $p < 0,05$ ), taču savstarpēji vienas grupas ietvaros starp disparitātēm atšķirības nenovēro.



**5. att.** Stereoslieksņa izmaiņas ar testa stimula demonstrēšanas laika samazināšanu dalībniekiem ar normālu stereoredzi. Gan krustotajā, gan nekrustotajā disparitātē garajā laikā statistiski nozīmīgi labāki stereoslieksņi ( $p < 0,05$ ). Savstarpēji starp disparitātēm pie viena laika atšķirības nepastāv.

Lai novērtētu, kā mainās stereoslieksnis un stereoanomālijas izplatība, tika veikts stereoredzes mērījums divos dažādos stimula demonstrēšanas laikos: 5 sekundes (neierobežots laiks) un 0,2 sekundes (ierobežots laiks). Rezultāti uzskatāmi parāda, ka saīsināts stimula demonstrēšanas laiks būtiski ietekmē stereoslieksni gan dalībniekiem ar normālu stereoredzi, gan dalībniekiem ar kādu no stereoanomālijām (skat. 5. att.).

Ar Jauno lokālo stereotestu vidējie stereoslieksņi pie krustotās disparitātes bija  $212 \pm 26$  loka sekundes, pie nekrustotās –  $190 \pm 29$  loka sekundes. Starp Jauno testu un klīnisko *Titmus* testu nepastāv korelācija un testi uzskatāmi par atšķirīgiem dažādas stimulu attēlošanas dēļ. Jaunajā stereotestā saīsinot stimula demonstrēšanas laiku, vidējie stereoslieksņi dalībniekiem ar normālu stereoredzi, krustotajā disparitātē pasliktinājās no  $183 \pm 36$  loka sekundēm uz  $427 \pm 46$  loka sekundēm, savukārt nekrustotajā disparitātē no  $143 \pm 32$  loka sekundēm uz  $463 \pm 42$  loka sekundēm.

Pielietojot limitēto stimulu rādīšanas laiku, 50 % gadījumu pētījuma dalībniekiem novēroja vienu no stereoanomālijas veidiem.

## Diskusija

Iegūtie vidējie stereosliekšņi ar Jauno lokālo stereotestu ir būtiski zemāki par Titmus testu gan krustotās disparitātes, gan nekrustotās disparitātes gadījumā. Savstarpēji starp testiem nepastāv korelācijas un iegūtie stereosliekšņi ir ļoti atšķirīgi. Tam ir vairāki iemesli un galvenais ir atšķirīgais testu dizains. Jaunajā izveidotajā stereotestā, kas veidots pēc anaglifū metodes, ir vairāki aspekti, kas jāņem vērā salīdzinot ar *Titmus* polarizēto testu. Viens no galvenajiem trūkumiem anaglifū testā ir atšķirīgās krāsas, kas ir nopietns traucēklis stereoattēla uztveršanā un, balstoties uz *Vancleef* (2017) atziņu, atšķirīgie filtru spožumi un kontrasts arī veido disbalansu kopīga attēla uztveršanā, kas tādējādi var stimulēt supresijas veidošanos. Šāda tipa testā svarīgas ir arī fūzijas spējas, kas šajā pētījumā netika ņemtas vērā. Vairāki pētnieki (*Yamada et al.*, 2008; *Momeni-Moghadam et al.*, 2011) šos aspektus analizējuši starp klīniskajiem testiem un nav ieguvuši būtiskas atšķirības stereosliekšņos. To var izskaidrot ar ilgstoši veidotu, komerciālu stereotestu izstrādi vairāku gadu garumā. Jaunais izveidotais tests ir sākotnējā izstrādes posmā un var tikt uzlabots, turpinot pielāgot stimula, ekrāna un izmantoto filtru kvalitāti un parametrus. Tādi pētījumi kā *Richards* (1971), *Mix* (2015), *Vancleef* (2017), kuri veidojuši savu stereotestus, tos balstījuši uz polarizācijas metodi. Turpinot pētīt stereoredzi un stereoanomāliju ar šo programmu, būtu nepieciešams izveidot polarizētu testa versiju, kas varētu labāk korelēt ar klīniskajiem testiem, ieskaitot *Titmus* testu (*Mix*, 2015).

Turpinājumā ieteicams pētīt, kā stereoanomālija mainās līdz ar stimula demonstrēšanas ilguma samazināšanu vai palielināšanu pie smalkajām disparitātēm. Saīsināts stimula demonstrēšanas laiks ietekmēja ne tikai sasniegto stereoslieksni, bet arī pieļauto kļūdu daudzumu. Pieaugot stimula demonstrēšanas laikam, pieaug arī atbilžu precizitāte.

Kopumā pētījums ir sniedzis plašāku ieskatu stereoanomālijas izplatībā, iezīmējis atšķirības starp cilvēkiem ar normālu stereoredzi, kā arī sniedzis informāciju par papildus nepieciešamajiem uzlabojumiem šī stereotesta izstrādē. Pēc pētījuma rezultātiem var secināt, ka lokālās stereoredzes novērtēšanai vēlams izmantot polarizētos filtrus nevis anaglifū, kas samazinātu fūzijas darbības slogu un uzdevums kļūtu vieglāks, kā arī rezultāti salīdzināmāki ar klīniskajiem lokālās stereoredzes testiem.

## Secinājumi

Gala rezultātā var secināt, ka konstatējot stereoredzi ar *Titmus* testu un pielietojot jauno lokālo stereotestu, neierobežota laika testā novērojama gan krustotās, gan nekrustotās disparitātes stereoredze, taču pielietojot limitēto stimulu rādīšanas laiku, 50 % pētījuma dalībnieku novērojama vismaz vienas disparitātes stereoanomālija.

## Pateicības

Pētījums izstrādāts LU Bāzes un Snieguma projektu, LU fonda un SIA Mikrotīkls "Redzes ergonomikas un pētījumu vides attīstības" projekta Nr. 2184 ietvaros.

## Literatūra

- Landers, D., & Cormack, L. (1997). Asymmetries and errors in perception of depth from disparity suggest a multicomponent model of disparity processing. *Perception & Psychophysics*, 59(2), 219-231.
- Mix, K.J. (2015). The effect of global versus local viewing conditions on the accuracy and response time of stereopsis perception. *College of Optometry Theses, Dissertations and Capstone Projects*.
- Momeni-Moghadam, H., Kundart, J., Ehsani, M., & Gholami, K. (2011). Stereopsis with TNO and Titmus tests in symptomatic and asymptomatic university students. *Journal of Behavioral Optometry*, 23(2), 35-39.
- Richards, W., & Kaye, M.G. (1974). Local versus global stereopsis: Two mechanisms? *Vision Research*, 14(12), 1345-1347.

- Richards, W. (1971). Anomalous stereoscopic depth perception. *Journal of the Optical Society of America*, 61(3), 410-414.
- Uttal, W.R., Fitzgerald, J., & Eskin, T.E. (1975). Parameters of tachistoscopic stereopsis. *Vision Research*, 15(6), 705-712.
- van Ee, R. (2003). Correlation between stereoanomaly and perceived depth when disparity and motion interact in binocular matching. *Perception*, 32(1), 67-84.
- Vancleef, K., Read, J., Herbert, W., Goodship, N., Woodhouse, M., & Serrano-Pedraza, I. (2017). Overestimation of stereo thresholds by the TNO stereotest is not due to global stereopsis. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 37(4), 507-520.
- Wilcox, L.M., & Lakra, D.C. (2007). Depth from binocular half-occlusions in stereoscopic images of natural scenes. *Perception*, 36(6), 830-839.
- Yamada, T., Scheiman, M., & Mitchell, G. (2008). Comparison of stereopsis testing between red/green targets and polarized targets in children with normal binocular vision. *Optometry*, 79(3), 138-142.

# Globālā stereotesta izstrāde stereoanomālijas novērtēšanai

Elizabete Strauta<sup>1</sup>, Vsevolod Liakhovetskii<sup>2</sup> un Gunta Krūmiņa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

<sup>2</sup>Krievijas zinātņu akadēmijas Pavlova fizioloģijas institūts, Sanktpēterburga, Krievija  
\*gunta.krumina@lu.lv

## Anotācija

Stereoanomālijas pētījumi aizsākas jau kopš 1970. gada. Sākotnēji stereoanomālija tika pētīta, izmantojot lokālos stereotestus, tomēr vēlāk pētījumus papildināja arī globālie stereotesti. Līdz šim pētījumos tika izmantotas salīdzinoši lielas disparitātes, tikai īsi apskatot smalkākas disparitātes stimulus. Līdzšinējie pētījumi tikai sniedz savus minējumus, ka pie smalkākām disparitātēm visticamāk stereoanomālo dalībnieku skaits samazināsies vai pat nebūs iegūstams vispār. Šajā pētījumā, izmantojot pēc iespējas smalkākas disparitātes, tiks noskaidrots vai arī šādos apstākļos ir novērojama stereoanomālija un kāds ir šo dalībnieku procentuālais skaits. Tādējādi tiks papildināti jau iepriekš veiktie pētījumi ar lielākām stimula disparitātēm.

Stereoanomālijas pētīšanai ir nepieciešams datorizēts stereotests, jo tajā nepieciešams ierobežot stimula rādīšanas laiku. Jo īsāks būs stimula rādīšanas laiks, jo procentuāli vairāk stereoanomālo dalībnieku tiks konstatēti. Testa stimula rādīšanas laiki pētījumos variē no 80 ms līdz pat 1000 ms, kas būtiski ietekmē gala rezultātu un stereoanomālo dalībnieku skaitu populācijā. Datorizētie stereotesti, galvenokārt, tiek izmantoti tikai pētījumos. Šādus testus būtu viegli izmantot arī klīnikās, kā alternatīvu drukātajiem stereotestiem, kuru uzbūve bieži vien nav līdz galam izskaidrota, kuros mēdz būt neprecizitātes un var rasties arī kļūdas topogrāfijā. Lai rastu iespējas datorizētu stereotestu izmantot arī klīnikās, jāveic vairāki pētījumi ar dažādām dalībnieku grupām, lai noskaidrotu testa iespējamo pielietojumu redzes speciālista praksē.

Klīniskajos drukātajos stereotestos lielākais risks ir pacienta testa stimulu iemācīšanās, kas aprūtinā atkārtotus mērījumus viena testa ietvaros un īsākos laika periodos. Kas savukārt ir viens no ieguvumiem datorizētajiem stereotestiem, kuros stimulš tiek parādīts jauktā secībā un paralēli iespējams pārbaudīt gan krustoto, gan nekrustoto disparitāti. Šādi testi arī dod lielisku iespēju veikt stereoredzes treniņus.

Pētījuma mērķis: Noskaidrot, cik stereoanomālo dalībnieku ir novērojami populācijā, izmantojot jauno globālo stereotestu, kurā iespējams ierobežot testa stimula rādīšanas laiku, un izvērtēt jaunā stereotesta efektivitāti un pielietojumu klīnikā, salīdzinājumā ar TNO stereotestu. Pētījumā tika izmantots jaunais stereotests ar ierobežotu (200 ms) un neierobežotu stimula rādīšanas laiku. Papildus jaunā stereotesta rezultāti tika salīdzināti ar TNO stereotestu. Pētījuma rezultātos no 55 dalībniekiem – 17 dalībniekiem tika konstatēta vienas disparitātes stereoanomālija, 3 dalībniekiem – divu disparitāšu stereoanomālija. Jaunajā stereotestā dalībnieki ar normālu stereoredzi uzrādīja labākus rezultātus, kā TNO stereotestā.

## Atslēgvārdi:

Stereoanomālija, stereoredze, krustotā disparitāte, nekrustotā disparitāte, globālais stereotests

## Ievads

Stereotesta stimulu iespējams veidot izmantojot trīs binokulārās disparitātes veidus – krustoto, nekrustoto un nulles disparitāti (*Richards, 1970; Stelmach & Tam, 1996*). Stāvokli, kad cilvēks nespēj noteikt vienu no trīs disparitāšu veidiem sauc par stereoanomāliju, kas pēc *Richards (1970)* iegūtajiem rezultātiem sastādīja līdz pat 30 % no 75 pētījuma dalībniekiem, izmantojot lokālās stereoredzes testu ar disparitātēm no 0,5° līdz 4°. Savukārt cilvēki, kas nespēj pareizi novērtēt divus no trim disparitātes veidiem – sastādīja līdz pat 20 % (*Richards, 1970*). *Jones (1977)* veica pētījumu

pēc *Richards* (1970) metodikas, lai noskaidrotu vai tiešām stereoanomālo cilvēku skaits ir tik augsts un vai stereoanomālija ir saistīta ar nepareizām acu kustībām testa laikā. *Jones* (1977) veiktajā pētījumā no 30 dalībniekiem tika novērota stereoanomālija sešiem dalībniekiem. *Newhouse & Uttal* (1982), izmantojot pēc anaglifa metodes globālo stereotestu ar sarkani-zaļajām brillēm, veica pētījumu, lai noskaidrotu, cik stereoanomālo gadījumu ir lielākā populācijā, kontrolētos pētījuma apstākļos, kurā piedalījās jau ievērojami lielāks skaits dalībnieku – 103. No 103 dalībniekiem tikai trīs bija pilnībā stereoakli (nav novērojama stereoredze) (*Newhouse & Uttal*, 1982). Tāpat arī stereoanomālo pacientu skaits bija mazāks nekā noskaidrots iepriekšējos pētījumos, turklāt, no 103 dalībniekiem, ja tika atklāta dalībniekam stereoanomālija, tā bija vienas disparitātes stereoanomālija (*Newhouse & Uttal*, 1982).

Nemot vērā visus iepriekšējos gados veiktos pētījumus, *Stelmach & Tam* (1996) veica pētījumu, kurā tika izmantoti vairāki disparitātes lielumi, dažādi laika ierobežojumi, cik ilgi dalībnieki var sniegt atbildi un dažāda tipa uzdevumi, lai noskaidrotu, cik daudz gados jauniem cilvēkiem ir novērojama stereoanomālija, izmantojot globālās stereoredzes testu. *Stelmach & Tam* (1996) pētījumā piedalījās 100 dalībnieki vecumā no 18 līdz 38 gadiem. Pētījumā tika izmantots dinamiskais globālais stereotests (*Stelmach & Tam*, 1996). *Stelmach & Tam* (1996) pētījumā īsākais testa rādīšanas laiks bija 20 ms un ilgākais 1000 ms, disparitāte no 0° līdz 0,38°, izmantojot piespiedu izvēles metodi, pēc kā tika mainīta stimula disparitāte atkarībā no atbilžu pareizuma. *Stelmach & Tam* (1996) pētījums pierādīja, ka tas, cik populācijā ir stereoanomālo pacientu, mainās atkarībā no testa stimula rādīšanas laika – jo ilgāks rādīšanas laiks, jo mazāks procentuālais stereoanomālo pacientu skaits. *Stelmach & Tam* (1996) pētījums izskaidro to, kāpēc *Richards* (1970) ieguva tik augstu procentuālo dalībnieku skaitu – 30 %, kuriem ir novērojama stereoanomālija, kā arī, kāpēc citos pētījumos šie dati var nesakrist. Pats nozīmīgākais priekšnoteikums, pētot stereoanomāliju, ir norādīt precīzu izmantoto metodiku (*Stelmach & Tam*, 1996). Līdz ar to, cilvēkiem ar stereoanomāliju ir nepieciešams ilgāks laiks, lai spētu saskaņot sniegto stimulu, izmantojot dažādus binokulārās disparitātes veidus (*Stelmach & Tam*, 1996).

Pētījuma mērķis ir noskaidrot, cik stereoanomālo dalībnieku ir novērojami populācijā, izmantojot jauno globālo stereotestu, kurā iespējams ierobežot testa stimula rādīšanas laiku un izvērtēt jaunā globālā stereotesta efektivitāti un pielietojumu klīnikā, salīdzinājumā ar TNO stereotestu.

## Metodika

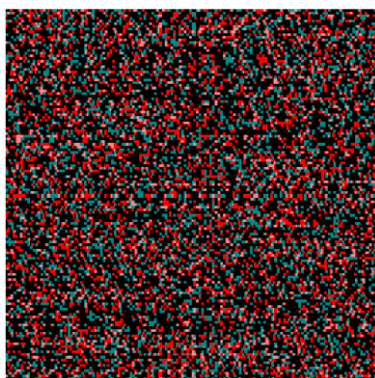
Pētījumā piedalījās 55 dalībnieki – 46 sievietes un 9 vīrieši, vecumā no 19 līdz 42 gadiem (vidējais vecums:  $25 \pm 5$  gadi). Dalībnieki ar normālu binokulāro redzi, kuri pēc TNO stereotesta spēja ieraudzīt vismaz rupjas stereoredzes stimulu (TNO testa III plate). Dalībnieki, kuriem nepieciešama brillu vai kontaktlēcu korekcija, testu pildīja ar savu korekcijas veidu. Redzes asums monokulāri vismaz 0,8 (decimālajās vienībās) testa attālumā (120 cm).

Redzes asuma un jaunā stereotesta mērījumu veikšanai tika izmantots portatīvais dators *Samsung NP300E5A-S03*, ekrāna izmērs 15,6 collas ar izšķirtspēju 1366x768 px. Redzes asums tika pārbaudīts katram dalībniekam, izmantojot *Freiburg Vision Test (FrACT)*. Redzes asuma tests veidots pēc piespiedu trepjveida metodes, sākot no lielākā optotipa un pakāpeniski to samazinot (*Bach*, 1996). Tests tika kalibrēts 1,20 m attālumā. Tādējādi maksimālais sasniedzamais redzes asums šajā attālumā ir 1,24 (decimālajās vienībās), ņemot vērā maksimālo ekrāna izšķirtspēju. Redzes asuma novērtēšanai, tika izmantoti Landolta gredzeni – četros virzienos.

Tika izmantots TNO stereotests, veidots pēc anaglifa izklīdēto punktu stereogrammas metodes, kas sastāv no sarkaniem un zaļiem izklīdētiem punktiem. Testa stimulu iespējams ieraudzīt izmantojot speciālās sarkani-zaļās brilles. Tests sastāv no septiņām platēm, pirmās trīs plates ir veidotas, lai pārbaudītu vai dalībniekam ir rupja stereoredze, šīs plates tiek izmantotas skrīninga nolūkos. Ceturtā plate tiek izmantota, lai pārbaudītu vai pacientam ir binokulārā redze, un lai pārbaudītu vai neveidojas vienas acs supresija. Sākot ar piekto plati, tiek novērtēta smalkā stereoredze no 480 loka sekundēm līdz 15 loka sekundēm. Uz izklīdēto punktu fona redzams aplis ar atvērumu, stimula izmērs ir 5,8 cm, fona izmērs ir 7 cm. Standartā tests tiek izmantots 40 cm attālumā, labi

apgaismotā telpā. Lai iegūtu nekrustotās disparitātes stimulu, tests jāpagriež par 180°. Pētījumā TNO tests tika izmantots 1,20 m attālumā no pacienta. Tādējādi testa stereosliekšņu vērtības tika pārrēķinātas, ņemot vērā jauno attālumu.

Jaunais globālās stereoredzes tests izstrādāts pēc anaglifa izkliedēto punktu stereogrammas metodes. Tests sastāv no sarkaniem un ziliem izkliedētiem punktiem. Stimula ieraudzīšanai dalībniekam jāizmanto sarkani-zilās brilles. Testā iespējams novērtēt visus trīs disparitāšu veidus – krustoto, nekrustoto un nulles disparitāti. Krustotā un nekrustotā disparitāte tiek noteikta paralēli, nulles disparitātes stimuli tiek rādīti jauktā secībā, visa testa laikā. Programmas uzstādījumos iespējams mainīt stimula izmēru, fona izmēru, pielāgot izmantoto brillu filtru krāsu izkliedētajiem punktiem, testa veikšanas attālumu, stimula rādīšanas laiku (ms) un disparitātes lielumu. Stereosliekšņa novērtēšanai izmantota modificēta piespiedu trepjveida metode. Tādējādi paātrinot testa pildīšanas laiku. Katras disparitātes stimuls tiek rādīts 3 reizes, gan krustotajai, gan nekrustotajai disparitātei. Ja trīs atbildes ir pareizas – stimula izmērs samazinās uz pusi, līdz tiek sasniegta smalkākā stereosliekšņa vērtība, kuru dalībnieks spēj atbildēt pareizi trīs reizes. Ja dalībnieks atbild nepareizi – stimula izmērs tiek aprēķināts kā vidējā vērtība no pēdējās pareizās atbildes stimula izmēra un nepareizās atbildes stimula izmēra. Stimula punktu blīvums tika izvēlēts: 25 % un izkliedēto punktu izmērs: 0,50 mm (2 px). Stimula forma ir aplis (5,8 cm), kura fons ir kvadrāts (7 cm) (skat. 1. att.).



1. att. Jaunā globālā stereotesta stimuls.

Jaunā stereotesta stereosliekšņa vērtības, ņemot vērā testa attālumu, ir vidēji no 1075 loka sekundēm (25 px) līdz 43 loka sekundēm (1 px). Papildus tiek ņemts vērā disparitātes veids un dalībnieka starpzīlīšu attālums, kas var nedaudz variēt norādītās vērtības). Tests tika sākts ar stimulu vidēji 430 loka sekundes (10 px) izmērā. TNO stereotesta stereosliekšņa vērtības ir sākot no 240 loka sekundēm līdz 15 loka sekundēm. Mērījumi veikti fotopiskos apstākļos, dalībniekam atrodoties 120 cm attālumā no monitora. Dalībnieka galva tika fiksēta uz speciāla galvas balsta, lai kontrolētu testa attālumu. TNO stereotests – krustotās disparitātes mērījums, izmantojot smalkās stereoredzes testa plates, ar sarkani-zaļajām brillēm. Tad tests tika pagriezts par 180° un pārbaudīts stereosliekšnis ar nekrustotās disparitātes stimulu. Katrs tests tika veikts vienu reizi. Pirms jaunā stereotesta sākuma dalībniekam tika parādīti stimulu paraugi sagatavotā prezentācijā, lai dalībnieks varētu iepazīties ar testa uzdevumu un atkārtot taustiņu secību. Dalībniekam tika iedota datora tastatūra, ar kuru dalībnieks varēja sniegt trīs atbilžu variantus: (1) taustiņš “2” – stimuls atrodas tuvāk nekā datora ekrāns (tuvāk); taustiņš “8” – stimuls atrodas tālāk nekā datora ekrāns (dziļāk); taustiņš “5” – stimuls nav redzams.

Jaunais stereotests tika pildīts ar uzstādītiem stimula rādīšanas laikiem – 5000 ms un 200 ms, papildus dotas trīs sekundes, kuru laikā stimula vietā redzams kvadrāts ar melnbaltiem izkliedētiem punktiem, ar centrētu uzrakstu: “Atbilde”. Dalībnieks tika motivēts sniegt atbildi tiklīdz stimuls ir atpazīts. Tests tika atkārtots trīs reizes katram stimulas rādīšanas laikam.

Datu apstrāde tika veikta izmantojot *Microsoft Excel* datorprogrammu. Pētījuma rezultātu statistikas analīze tika veikta izmantojot aprakstošo statistiku, lai aprēķinātu standarta novirzi vai kļūdu, dalībnieku katras grupas ietvaros stereosliekšņu vērtību salīdzināšanai izmantots t-tests savstarpēji atkarīgu izlašu vidējo salīdzināšanai (*t-test: paired two-sample for means*), dažādu grupu

stereosliekšņu un atbilžu laiku salīdzināšanai izmantots t-tests divu neatkarīgu izlašu, kuru dispersijas ir vienādas, vidējo salīdzināšanai (*t-test: two-sample assuming equal variances*) vai t-tests divu neatkarīgu izlašu, kuru dispersijas nav vienādas vidējo salīdzināšanai (*t-test: two-sample assuming unequal variances*), pirms šo testu veikšanas, tika izmantots Fišera tests (*F-test two-sample for variances*) grupu dispersiju salīdzināšanai, un lai salīdzinātu vidējos atbilžu laikus katras grupas dalībniekiem, samazinot testa stimula rādīšanas laiku, tika izmantota viena faktora dispersiju analīze (*ANOVA: Single Factor*).

## Rezultāti un to analīze

Salīdzinot jauno globālo stereotestu ar TNO stereotestu dalībniekiem ar normālu stereoredzi ( $n = 25$ ) un neierobežotu skatīšanās laiku (5000 ms), novērojama statistiski nozīmīga atšķirība gan krustotās ( $p = 0,01$ ), gan nekrustotās ( $p = 0,03$ ) disparitātes gadījumā. Jaunajā stereotestā vidējās stereosliekšņa vērtības ar krustoto disparitāti ir  $48'' \pm 3''$ , TNO stereotestā –  $94'' \pm 14''$ , jaunajā testā iegūstot statistiski nozīmīgi zemāku stereoslieksni kā TNO stereotestā. Nekrustotās disparitātes stimulam jaunajā stereotestā stereosliekšņa vidējā vērtība ir  $58'' \pm 6''$ , TNO stereotestā –  $88'' \pm 13''$ .

Stereoanomālie pētījuma dalībnieki tika sadalīti divās grupās – vienas un divu disparitāšu stereoanomālija. Vienas disparitātes stereoanomālija tika novērota 17 dalībniekiem, no kuriem 16 dalībniekiem ierobežotajā stimula rādīšanās laikā novērota nekrustotās disparitātes stereoanomālija, vienam dalībniekam krustotās disparitātes stereoanomālija. Diviem dalībniekiem no 16, nekrustotās disparitātes stereoanomālajiem dalībniekiem tika konstatēti traucējumi arī pie neierobežota stimula rādīšanas laika (5000 ms), nesasniedzot minimālo programmas noteikto stereoslieksni. Divu disparitāšu stereoanomālija tika novērota trīs pētījuma dalībniekiem, kuri uzrādīja normālus rezultātus pie neierobežota stimula rādīšanas laika, taču nesasniedza minimālo programmas stereoslieksni pie ierobežota stimula rādīšanas laika (200 ms).

Neierobežota stimula rādīšanas laika vidējo stereoanomālo dalībnieku (SAD) stereoslieksni –  $104'' \pm 29''$  salīdzinot ar ierobežotu stimula rādīšanas laika stereoslieksni –  $290'' \pm 68''$ , tika konstatēta statistiski būtiska atšķirība ( $p = 0,01$ ). Stereosliekšņa vidējā vērtība ar neierobežotu laiku ir statistiski nozīmīgi zemāka (labāka), nekā ierobežotā stimula rādīšanas laikā. Tas norāda uz traucējumiem arī krustotās disparitātes virzienā, ja stimula rādīšanas laiks tiek saīsināts uz 200 ms. Statistiskā analīze tika veikta dalībniekiem ar nekrustotās disparitātes stereoanomāliju ( $n = 16$ ).

Nosakot vai testa stimula rādīšanas laiks ir kā faktors atbilžu laika izmaiņām, tika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība gan krustotās ( $p = 0,02$ ), gan nekrustotās ( $p = 0,0007$ ) disparitātes gadījumā. Pie krustotās disparitātes stimula vidējais atbilžu laiks no  $1412 \pm 117$  ms pie neierobežota stimula rādīšanas laika izmainījās uz  $1087 \pm 70$  ms pie ierobežota stimula rādīšanas laika. Kā arī nekrustotās disparitātes vidējais atbilžu laiks izmainījās no  $1688 \pm 135$  ms pie neierobežota skatīšanās laika uz  $1118 \pm 68$  ms. Tādējādi norādot, ka dalībniekiem ar vienas disparitātes stereoanomāliju nepieciešams ilgāks stimula rādīšanas laiks, lai noteiktu pareizu disparitātes virzienu.

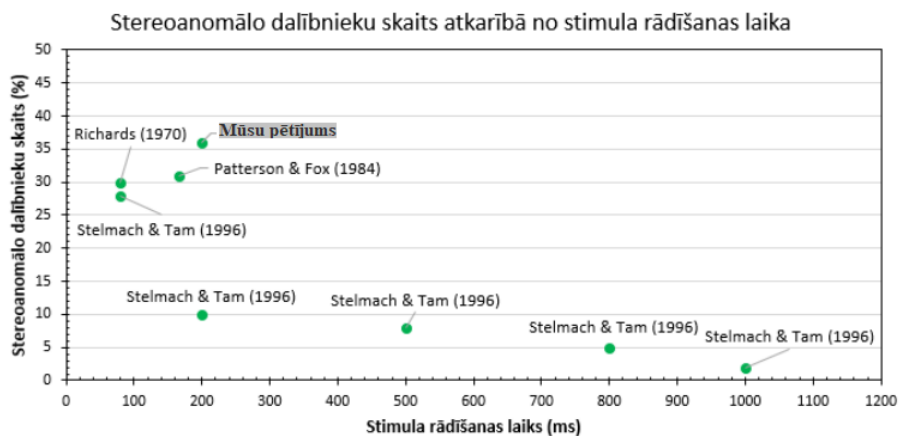
Stereoanomālo dalībnieku vidējais atbilžu laiks ( $n = 17$ ) tika salīdzināts ar normālas stereoredzes dalībnieku vidējo atbilžu laiku ( $n = 25$ ), izmantojot neierobežotu stimula rādīšanas laiku (5000 ms). Rezultātā tika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība starp izvēlētajām grupām, stereoanomālo dalībnieku atbilžu laikam esot statistiski nozīmīgi ilgākam kā normālas stereoredzes dalībnieku gadījumā gan krustotās disparitātes ( $p = 0,05$ ), gan nekrustotās disparitātes ( $p = 0,0003$ ) gadījumā. Rezultātā pierādot, ka stereoanomālajiem dalībniekiem nepieciešams ilgāks laiks nekā dalībniekiem ar normālu stereoredzi, lai apskatītu stimulu un spētu novērtēt disparitātes virzienu.

## Diskusija

Šajā pētījumā no 55 dalībniekiem – 17 jeb 31 % no dalībniekiem bija ar vienas disparitātes stereoanomāliju, taču tikai 3 jeb 5 % no dalībniekiem – divu disparitāšu stereoanomālija. Šī pētījuma rezultāti daļēji sakrīt ar *Richards* (1970) rezultātiem, kur no 75 dalībniekiem 30 % tika novērota stereoanomālija, un kur 20 % bija divu disparitāšu stereoanomālija.

Pētījumu metodikas ir ļoti atšķirīgas, *Richards* (1970) izmantoja lokālo stereotestu (divi nobīdīti stieņi) ar polarizētajiem filtriem, tas tika veikts lielākā attālumā – 2 metri un stimula rādīšanas laiks bija vairāk kā uz pusi īsāks – 80 ms. Viena no galvenajām atšķirībām, kas jāņem vērā – tika izmantotas lielas disparitātes, sākot no  $0,50^\circ$  līdz pat maksimums  $8^\circ$ . Savukārt esošajā pētījumā tika izmantotas pēc iespējas smalkākas disparitātes – sākot no  $0,012^\circ$  ( $43''$ ) līdz  $0,30^\circ$  ( $1075''$ ). *Jones* (1977) kā vienu no galvenajiem secinājumiem minēja, ka stereoanomālijas traucējumi varētu būt tikai pie lielākām disparitātēm, izlaižot smalkās disparitātes. No esošā pētījuma iegūtajiem datiem, šis apgalvojums neapstiprinājās, iegūstot procentuāli visaugstāko skaitu ar stereoanomālajiem dalībniekiem tieši ar smalkām disparitātēm. *Patterson & Fox* (1984) veica pētījumu izmantojot globālo stereotestu līdzīgi, kā esošajā pētījumā. Tika izmantots saīsināts stimula rādīšanas laiks – 167 ms. Kā stimulā *Patterson & Fox* (1984) pētījumā tika izvēlēts Landolta gredzens, kuram jānosaka atvērums 4 iespējamajos virzienos. Līdz ar to dalībniekam nav jānosaka vai objekts ir “tuvāk” vai “tālāk” no ekrāna. Esošā pētījuma stimula rādīšanas laiks tika balstīts uz *Stelmach & Tam* (1996) pētījuma rezultātiem, kurā, izmantojot 200 ms stimula rādīšanas laiku, dalībnieki ar stereoanomāliju tika konstatēti ap 10 % no 100 pētījuma dalībniekiem, autoru darbā tika izmantotas arī smalkākas disparitātes nekā iepriekš minētajos pētījumos:  $0$ ,  $0,13^\circ$ ,  $0,25^\circ$ , kas ir tuvāk esošā pētījuma autora izvēlētajam disparitāšu diapazonam:  $0,012^\circ$  ( $43''$ ) līdz  $0,30^\circ$  ( $1075''$ ).

Salīdzinot *Stelmach & Tam* (1996) iegūtos rezultātus ar esošā pētījuma rezultātiem, tika iegūts gandrīz 4 reizes lielāks procentuālais stereoanomālo dalībnieku skaits, izmantojot vienādu stimula rādīšanas laiku (36 % esošajā pētījumā, 10 % *Stelmach & Tam* (1996) pētījumā). Šādu atšķirību iespējams skaidrot ar attēlu atdalīšanas veida atšķirībām, izmantojot krāsainos filtrus ir lielāks risks izveidoties vienas acs supresijai, kas arī var palielināt procentuālo stereoanomālo dalībnieku skaitu. Kā arī pētījuma attālums, stimula izmērs un disparitātes sadalījums ir atšķirīgs. 2. attēlā apvienoti visu iepriekš minēto autoru darbu rezultāti ieskaitot esošā pētījuma iegūtos rezultātus. Ņemot vērā visu autoru darbus, visaugstākais stereoanomālo dalībnieku skaits saglabājas pie 200 ms stimula rādīšanas laika izmantojot smalkās disparitātes, pēc esošā pētījuma rezultātiem. Vislīdzīgāko rezultātus esošajam pētījumam ieguva autori *Patterson & Fox* (1984), kuru stimula rādīšanas laiks – 167 ms. Tā kā katra autora metodikas ir atšķirīgas, šos pētījumus tieši nav iespējams salīdzināt.



**2. att.** Stereoanomālo dalībnieku procentuālais skaits atkarībā no stimula rādīšanas laika (ms). Autoru rezultāti no *Richards* (1970), *Patterson & Fox* (1984) un *Stelmach & Tam* (1996) pētījumiem ieskaitot mūsu pētījuma rezultātus.

## Secinājumi

Jaunajā stereotestā pētījuma dalībnieki sasniedza statistiski nozīmīgi labākas stereosliekšņa vērtības (zemāku vidējo stereoslieksni), kā TNO stereotestā gan krustotās (JGS:  $48'' \pm 3''$ ; TNO:  $94'' \pm 14''$ ), gan nekrustotās disparitātes (JGS:  $58'' \pm 6''$ ; TNO:  $88'' \pm 13''$ ) gadījumā.

Dalībniekiem ar nekrustotās disparitātes stereoanomāliju krustotās disparitātes vidējā stereosliekšņa vērtība ar neierobežotu stimula rādīšanas laiku ( $104'' \pm 29''$ ) bija statistiski nozīmīgi



zemāka (labāka), nekā ar ierobežotu stimula rādīšanas laiku ( $290'' \pm 68''$ ). Ierobežotais stimula rādīšanas laiks statistiski nozīmīgi samazināja vidējo atbilžu laiku, salīdzinot ar neierobežotu stimula rādīšanas laiku gan krustotās (5000 ms:  $1412 \pm 117$  ms; 200 ms:  $1087 \pm 70$  ms), gan nekrustotās (5000 ms:  $1688 \pm 135$  ms; 200 ms:  $1118 \pm 68$  ms) disparitātes gadījumā. Vidējais atbilžu laiks dalībniekiem ar normālu stereoredzi ir statistiski nozīmīgi īsāks nekā dalībniekiem ar stereoanomāliju gan krustotās disparitātes (NSD:  $1153 \pm 55$  ms; SAD:  $1412 \pm 117$  ms), gan nekrustotās disparitātes (NSD:  $1055 \pm 49$  ms; SAD:  $1688 \pm 135$  ms) gadījumā pie neierobežota stimula rādīšanas laika.

## **Pateicības**

Pētījums izstrādāts LU Bāzes un Snieguma projektu, LU fonda un SIA Mikrotīkls "Redzes ergonomikas un pētījumu vides attīstības" projekta Nr. 2184 ietvaros.

## **Literatūra**

- Bach, M. (1996). The Freiburg visual acuity test-automatic measurement of visual acuity. *Optometry and Vision Science*, 73(1), 49-53.
- Jones, R. (1977). Anomalies of disparity detection in the human visual system. *The Journal of Physiology*, 264(3), 621-640.
- Newhouse, M., & Uttal, W.R. (1982). Distribution of stereoanomalies in the general population. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 20(1), 48-50.
- Patterson, R., & Fox, R. (1984). The effect of testing method on stereoanomaly. *Vision Research*, 24(5), 403-408.
- Richards, W. (1970). Stereopsis and stereoblindness. *Experimental Brain Research*, 10(4), 380-388.
- Stelmach, L.B., & Tam, W.J. (1996). Stereo-anomalous vision in a sample of young adults. *SPIE Human Vision and Electronic Imaging*, 2657, 302-306.

# Tīklenes makulas pigmenta optiskais blīvums: tā novērtēšana un faktoru iedarbība

Kristīne Šmiukše un Gunta Krūmiņa  
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
smiuksekristine@gmail.com

## Tīklenes attīstība un uzbūve

Acs attīstība sākas 3. grūtniecības nedēļā, kad izveidojas acs ābola aizmetnis acu bedrīšu veidā, kuras pēc tam formē acu pūslīšus un izraisa lēcas plakožu veidošanos. Tālākā attīstības gaitā no lēcas plakodēm izveidojas acs cepurīte ar iekšējo un ārējo lapiņu. No iekšējās lapiņas attīstās tīklenes neironi, bet no ārējās lapiņas – tīklenes pigmentepitēlija slānis (Pilmane & Šūmahers, 2006; Moore *et al.*, 2011). 10.-11. prenatalajā attīstības nedēļā neiroģenēze notiek jau visā tīklenē, bet visaktīvāk tās nazālajā daļā (Provis *et al.*, 1985).

Makulas attīstība sākas 12. prenatalajā attīstības nedēļā (Provis *et al.*, 1985). Hendrickson *et al.* (2012) pētot 33 donoru acis vairākos attīstības posmos no 20. prenatalās attīstības nedēļas līdz 13 gadu vecumam, aprakstīja detalizētu makulas un centrālās bedrītes attīstību. Autori noteica, ka 25. prenatalajā attīstības nedēļā makulā esošie iekšējie tīklenes slāņi novirzās vairāk uz perifēriju, lai formētu tās centrālo daļu. Atšķirībā no tīklenes perifērijas centrālajā bedrītē ārējo graudaino slāni veido tikai vāļītes, kuru segmenti ir īsāki, un ganglionāro šūnu slānis ir salīdzinoši biežāks. Tālākā attīstības gaitā centrālā bedrīte kļūst plātāka un dziļāka, ārējais graudainais slānis kļūst biežāks un to veidojošo fotoreceptoru ārējie un iekšējie segmenti kļūst garāki. Centrālās bedrītes vāļīšu ārējie un iekšējie segmenti sasniedz tādu izmēru kā perifērijā apmēram viena gada vecumā (Hendrickson *et al.*, 2012).

Pēc piedzimšanas centrālajā bedrītē ir tikai 20% no pieauguša cilvēka vāļīšu skaita un tikai apmēram 4-5 gadu vecumā tiek sasniegts tāds pats skaits vāļīšu kā pieaugušajiem (Kaufman & Alm, 2003). Morfoloģiskas izmaiņas makulā turpinās līdz 13 gadu vecumam (Hendrickson *et al.*, 2012).

Acs ābolu veido trīs apvalki: ārējais saistaudu apvalks, vidējais asinsvadu apvalks un iekšējais apvalks, ko veido nervaudi. Tīklene pieder pie acs ābola iekšējā apvalka un izklāj apmēram divas trešdaļas no acs iekšējās virsmas, sākot no redzes nerva diska vietas līdz ciliārā ķermeņa epitēlijam. Iekšējā acs ābola apvalkā jeb tīklenē notiek fototransdukcija un izveidotais nerva impulss tiek aizvadīts pa redzes nervu uz smadzenēm.

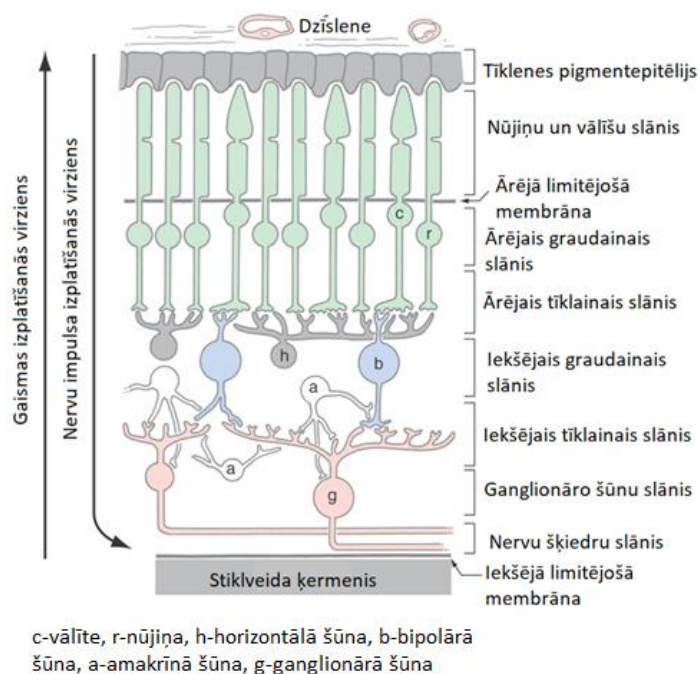
Tīklenes uzbūvē virzienā no acs ābola ārpuses uz iekšpusi tiek izdalīti 10 slāņi (skat. 1. att.):

1. tīklenes pigmentepitēlijs;
2. nūjiņu un vāļīšu slānis;
3. ārējā limitējošā membrāna;
4. ārējais graudainais slānis;
5. ārējais tīklainais slānis;
6. iekšējais graudainais slānis;
7. iekšējais tīklainais slānis;
8. ganglionāro šūnu slānis;
9. tīklenes nervu šķiedru slānis;
10. iekšējā limitējošā membrāna (Bye *et al.*, 2013; Remington, 2012; Haines, 2012).

Šajos slāņos ir izvietoti dažāda veida neirocīti un to savstarpējās sinapses (Bye *et al.*, 2013).

Pigmentepitēlija slāni veido vienā slānī izvietotas, heksagonālas šūnas, kas savā starpā ir saistītas ar ciešiem šūnu kontaktiem, piemēram, desmosomām, slēgjuģlēm un salīpšanas josliņām (Spooner, 1972; Ross & Pawlina, 2011). Visā tīklenē heksagonālo šūnu izmērs ir apmēram 12-18 μm, bet centrālās bedrītes apvidū tās ir garākas un šaurākas. Šūnu apikālajā daļā ir 5-7 μm garas mikrobārkstiņas, kas apņem fotoreceptoru ārējos segmentus, bet šūnu bazālajā daļā izvietojas kodols. Pigmentepitēlija slāņa šūnu citosolā ir pigmenta melanīna ieslēgumi, kas atrodas arī mikrobārkstiņās,

un daudz lizosomu, kas fagocitē fotoreceptoru ārējo segmentu diskus. Šūnas, kas atrodas tīklenes centrālajā daļā satur vairāk pigmenta ieslēgumus. Pigmentepitēlija slāņa biezums dažādās tīklenes daļās atšķiras, visplānākais tas ir optiskā diska apvidū. Galvenās šī slāņa funkcijas ir gaismas absorbcija, piedalīšanās rodopsīna un jodopsīna veidošanā, A vitamīna uzglabāšana, fotoreceptoru ārējo segmentu disku noārdīšana, barības vielu piegādāšana tīkļenei un vielmaiņas gala produktu aizvadīšana, hematooftalmiskās barjeras veidošana un arī sekretorā funkcija (Snell & Lemp, 2006; Kaufman & Alm, 2003; Ross & Pawlina, 2011).



**1. att.** Tīklenes slāņi un tos veidojošās šūnas (Haines, 2012).

Pigmentepitēlija slāni veido vienā slānī izvietotas, heksagonālas šūnas, kas savā starpā ir saistītas ar ciešiem šūnu kontaktiem, piemēram, desmosomām, slēgjuģlēm un salipšanas josliņām (Spooner, 1972; Ross & Pawlina, 2011). Visā tīklenē heksagonālo šūnu izmērs ir apmēram 12-18  $\mu\text{m}$ , bet centrālās bedrītes apvidū tās ir garākas un šaurākas. Šūnu apikālajā daļā ir 5-7  $\mu\text{m}$  garas mikrobārktstiņas, kas apņem fotoreceptoru ārējos segmentus, bet šūnu bazālajā daļā izvietojas kodols. Pigmentepitēlija slāņa šūnu citosolā ir pigmenta melanīna ieslēgumi, kas atrodas arī mikrobārktstiņās, un daudz lizosomu, kas fagocitē fotoreceptoru ārējo segmentu diskus. Šūnas, kas atrodas tīklenes centrālajā daļā satur vairāk pigmenta ieslēgumus. Pigmentepitēlija slāņa biezums dažādās tīklenes daļās atšķiras, visplānākais tas ir optiskā diska apvidū. Galvenās šī slāņa funkcijas ir gaismas absorbcija, piedalīšanās rodopsīna un jodopsīna veidošanā, A vitamīna uzglabāšana, fotoreceptoru ārējo segmentu disku noārdīšana, barības vielu piegādāšana tīkļenei un vielmaiņas gala produktu aizvadīšana, hematooftalmiskās barjeras veidošana un arī sekretorā funkcija (Snell & Lemp, 2006; Kaufman & Alm, 2003; Ross & Pawlina, 2011).

Fotoreceptoru slānis sastāv no nūjiņu un vāļišu ārējiem segmentiem. Tās ir specifiskas šūnas, kas gaismas ķīmisko enerģiju pārvērš elektriskajā impulsā. Tīklenē ir apmēram 7 miljoni vāļišu un 120 miljoni nūjiņu. Fotoreceptori sastāv no šūnas ķermeņa, ārējā un iekšējā segmenta (Ross & Pawlina, 2011). Nūjiņu ārējos segmentos ir apmēram 600-1000 diski, kuru membrānās ir fotopigments rodopsīns. Vāļītēm salīdzinot ar nūjiņām ir īsāki ārējie segmenti un tajos uzglabājas fotopigments jodopsīns, ko sauc arī par fotopsīnu (Kaufman & Alm, 2003). Jodopsīnam ir izdala 3veidus, kurus satur dažādas vāļītes. *Cyanolabe* atrodas īso gaismas viļņu jutīgajās vāļītēs, *chlorolabe* – vidējo gaismas viļņu jutīgajās vāļītēs, bet *erythrolabe* – garo gaismas viļņu jutīgajās vāļītēs (Schwartz 2009).

Ārējā limitējošā membrāna ir šaura zona starp fotoreceptoriem un tīklenes pigmentepitēliju, kas kalpo kā barjera, nelaižot tālākos slāņos lielāka izmēra molekulas (Ross & Pawlina, 2011). Fotoreceptoru šūnu ķermeņi veido ārējo graudaino slāni. Šis slānis ir visbiezākais centrālajā bedrītē, kur vālīšu šūnu ķermeņi ir izvietoti ļoti cieši viens pie otra. Biezums centrālajā bedrītē ir apmēram 50 μm. Vālītēm ir lielāki šūnu kodoli un mazāks heterohromatīna daudzums nekā nūjiņām (Kaufman & Alm, 2003).

Ārējo tīklaino slāni veido fotoreceptoru sinapses ar bipolārajām un horizontālajām šūnām. Visbiezākais šis slānis ir makulas apvidū, kur tā biezums sasniedz 50 μm (Kaufman & Alm, 2003). Iekšējo graudaino slāni veido horizontālo, bipolāro, amakrīno un Millera šūnu ķermeņi. Bipolāro un amakrīno šūnu izaugumu un ganglionāro šūnu veidotās sinapses atrodas iekšējā tīklainajā slānī, kura biezums atšķirīgās tīklenes daļās ir no 18 līdz 36 μm (Kaufman & Alm, 2003; Remington, 2012). Ganglionāro šūnu slānis satur ganglionāro šūnu ķermeņus un ir visbiezākais makulas apvidū, kur tā biezums ir apmēram 60-80 μm (Remington, 2012). Nervu šķiedru slānis veidojas no ganglionāro šūnu aksoniem un visbiezākais ir redzes nerva sākuma vietas apvidū. Iekšējā limitējošā membrāna ir slānis, kas atdala tīklieni no stiklveida ķermeņa (Remington, 2012; Ross & Pawlina, 2011).

Slāņu kopējais biezums tīklenes centrālajā un perifērajā daļā atšķiras. Redzes nerva apvidū tīklenes biezums ir 0,56 mm, bet *ora serrata* apvidū 0,10 mm (Bye et al., 2013). Visplānākā tīklenes daļa ir centrālā bedrīte, kura atrodas makulā 3 mm attālumā, laterāli no aklā plankuma (Bye et al., 2013; Reynolds & Olitsky, 2010). Centrālā bedrīte atrodas uz centrālās redzes ass un nodrošina visasāko redzi. Tā ir avaskulāra zona, kur vālītēm barības vielas nodrošina horiokapilāri un tīklenes pigmentepitēlijs (Snell & Lemp, 2006; Kaufman & Alm, 2003).

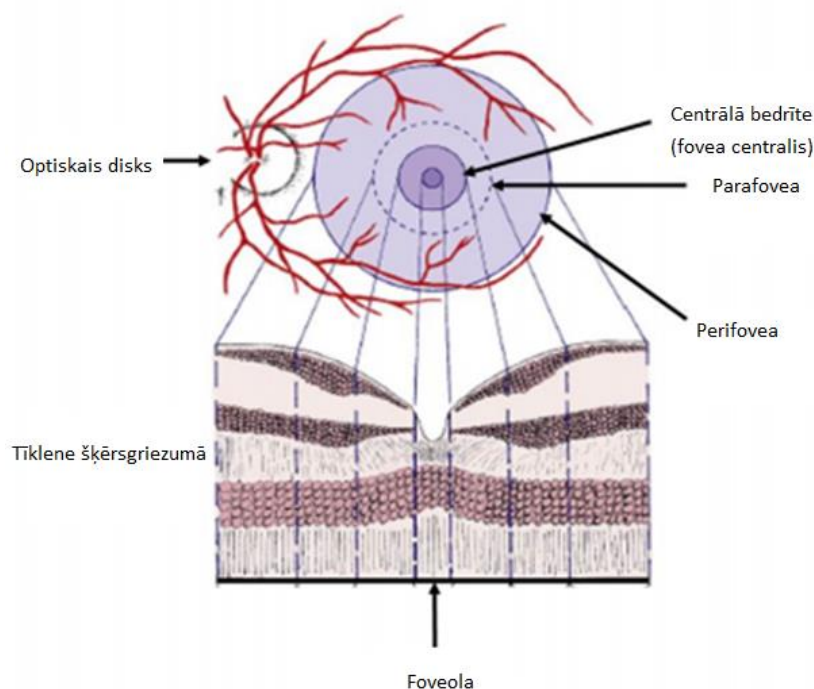
Tīklieni veidojošās šūnas var iedalīt četrās grupās: fotoreceptori, asociatīvie neironi, neiroglijas šūnas un vadītājneironi. Pie asociatīvajiem jeb starpneironiem pieder horizontālās un amakrīnās šūnas, bet pie vadītājneironiem pieder bipolārās šūnas un ganglionārās šūnas. Neiroglijas šūnas, kas veido tīklenes slāņus, ir Millera šūnas, astrocīti un mikroglija (Ross & Pawlina, 2011).

## **Makula un tās centrālā daļa**

Makula jeb dzeltenais plankums ir apmēram 4 mm plata zona tīklenes aizmugurējā polā, kuras centrā atrodas centrālā bedrīte ar diametru 1,5 mm (Kaufman & Alm, 2003). Apkārt centrālajai bedrītei izdala vēl divas zonas- parafovea un perifovea. Parafovea apņem centrālo bedrīti un ir 0,5 mm plata, bet perifovea ir 1,5 mm plata zona ap parafoveas zonu. Dažādos literatūras avotos atšķiras tīklenes centrālās daļas iedalījums un tiek izmantoti gan anatomiski, gan klīniski termini. Šajā darbā tiks izmantots 2. attēlā redzamais iedalījums.

Lai lielāks gaismas daudzums sasniegtu vālītes un mazāk izkliedētos, makulas centrālajā daļā ir mazāk slāņu nekā citviet tīklenē (Haines, 2012; Spooner, 1972). No fotoreceptoriem centrālajā bedrītē atrodas tikai vālītes, kas tuvāk centram kļūst garākas un tievākas. Centrālajā bedrītē ir tikai garo un vidējo gaismas viļņu jutīgās vālītes. Tuvākās nūjiņas ir 150 μm attālumā no centrālās bedrītes malām (Spooner, 1972). Centrālajā bedrītē vālīšu diametrs ir 1,6-2,2 μm un attiecība ar ganglionārajām šūnām ir 1:1 (Remington, 2012).

Makulas centrālās daļas biezums variē dažādu rasu pārstāvjiem. Piemēram, Tariq et al. (2011) plašā pētījumā, nosakot makulas centrālās daļas biezumu 12 gadus veciem bērniem, konstatēja, ka eiropēidās rases pārstāvjiem ir biežāka makula nekā Dienvidāzijas, Austrumāzijas un Vidusāzijas pārstāvjiem. Līdzīgas sakarība tika novērota arī citos pētījumos (Huynh et al., 2006; Asefzadeh et al., 2007). Šīs atšķirības autori skaidro ar anatomiskām tīklenes un melanīna daudzuma atšķirībām. Atsevišķos pētījumos tiek minētas arī makulas centrālās daļas biezuma atšķirības vīriešiem un sievietēm. Mehreen et al. (2012) un Song et al. (2010) noteica, ka vīriešiem makulas centrālās daļas biezums ir lielāks nekā sievietēm.



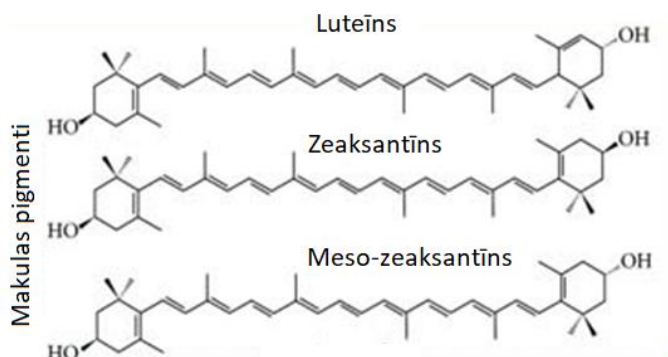
2. att. Makulas iedalījums (Remington, 2012).

### Makulā sastopamie karotenoīdi un to īpašības

Makulas dzelteno krāsu nosaka karotenoīdi: luteīns, zeaksantīns un meso-zeaksantīns, kas ir zeaksantīna stereoizomērs. Šos karotenoīdus kopā dēvē par makulas pigmentu un tīklenē var identificēt jau 20. prenatalajā attīstības nedēļā (Bone *et al.*, 1988). Minētie pigmenti atrodas arī citās acs struktūrās: lēcā, sklērā, varavīksnenē un ciliārajā ķermenī (Panovaa *et al.*, 2017). Makulā esošo karotenoīdu daudzums sastāda 70 % no kopējā acī esošā karotenoīdu daudzuma (Bone *et al.*, 1988), bet šie pigmenti ir sastopami arī citos ķermeņa audos, piemēram, taukaudos, aknās, smadzenēs.

Luteīns zīdaiņa smadzenēs sastāda 59 % no visiem karotenoīdiem, bet pieaugušam cilvēkam 34% (Vishwanathan *et al.*, 2014). Zīdaiņa smadzenēs luteīna un zeaksantīna attiecība ir apmēram tāda kā pieauguša cilvēka tīklenes perifērijā.

Tīklenē esošo karotenoīdu koncentrācija ir no 0,1 līdz 1 mM ar maksimālo koncentrāciju centrālajā bedrītē (Landrum *et al.*, 1999). Trieschmann *et al.* (2008) analizējot 11 donoru acis vecumā no 28 līdz 91 gadam, noteica, ka centrālajā bedrītē makulas pigments galvenokārt lokalizējas Henle šķiedrās, bet apvidū apkārt centrālajai bedrītei – iekšējā graudainajā slānī.



3. att. Makulas pigmentu veidojošo karotenoīdu ķīmiskā uzbūve<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Magias Mandy, *Preserving Eyesight with Lutein & Zeaxanthin*. Pieejams: <https://www.maxbiocare.com/preserving-eyesight-with-lutein-zeaxanthin-353>

Makulā ir atšķirīgs karotenoīdu izvietojums. Luteīns vairāk dominē makulas perifērijā, zeaksantīns vidusdaļā, bet meso-zeaksantīns centrālajā daļā. Visvairāk makulas pigments ir centrālajā bedrītē. Luteīna un zeaksantīna attiecība centrālajā bedrītē ir 1:2,4, bet makulas perifērijā abu pigmentu attiecība ir 2:1 (*Bone et al.*, 1988). 3. attēlā parādīti makulas pigmentu veidojošie karotenoīdi, kas ir polāras molekulas un pieder karotenoīdu ksantofīlu grupai.

Luteīna un zeaksantīna molekulārās formulas ir vienādas -  $C_{40}H_{56}O_2$ , abiem karotenoīdiem atšķiras tikai vienas divkārtšās saites novietojums. Dubultās saites esamība nodrošina, ka abiem karotenoīdiem ir iespējami vairāki stereoizomēri. Luteīnam ir 8 stereoizomēri, bet zeaksantīnam 3. Tīklenes centrālajā daļā esošos karotenoīdus raksturo makulas pigmenta optiskais blīvums (MPOB). To mēra blīvuma vienībās (*density units* jeb *d.u.*) un MPOB vērtības variē no 0 līdz 1 d.u.

## Makulas pigmentu veidojošo karotenoīdu avoti

Makulas pigmentu veidojošie karotenoīdi tiek uzņemti organismā ar uzturu. Zarnu traktā pēc enzimatiskas iedarbības un to pārveidošanas vieglāk absorbējamā formā tie caur enterocītiem nonāk cirkulācijas sistēmā, aknās un tālāk ar zema blīvuma lipoproteīniem un augsta blīvuma lipoproteīniem pārejās organisma struktūrās, arī tīklenē. Galvenais luteīna un zeaksantīna transporta veids ir augsta blīvuma lipoproteīni.

*Sommerburg et al.* (1998), nosakot luteīna un zeaksantīna saturu dažādos augļos un dārzeņos, konstatēja, ka kopējais abu karotenoīdu daudzums ir lielāks olas dzeltenumā un kukurūzā, bet, analizējot atsevišķi luteīna un zeaksantīna daudzumu, tie dažādiem produktiem variē. *Perry et al.* (2009), salīdzinot karotenoīdu daudzumu svaigos, vārītos un ceptos produktos, konstatēja, ka galvenie zeaksantīna avoti ir kukurūza un tās produkti, bet luteīns ir vairāk zaļo dārzeņu un salātu sastāvā. Produkti, kuri satur lielāku luteīna daudzumu ir spināti, lapu kāposti, romiešu salāti un pētersīļi, bet zeaksantīnu – oranžā paprika un kukurūza (skat. 1. pielikumu). Ceptos spinātos tika noteikts lielāks luteīna daudzums nekā svaigos spinātos, jo cepšanas procesā tiek zaudēts ūdens.

*O'Neill et al.* (2001), analizējot ar uzturu uzņemto luteīna un zeaksantīna daudzumu cilvēkiem vecumā no 25-45 gadiem piecās Eiropas valstīs, noteica, ka vislielākais uzņemtais makulas karotenoīdu daudzums ir Spānijā un Francijā, bet Īrijā tas ir gandrīz uz pusi mazāks (skat. 1. tab.).

1. tabula

Luteīna un zeaksantīna uzņemšana mg/dienā Eiropā (*O'Neill et al.*, 2001)

Valsts	Luteīns un Zeaksantīns mg/dienā
Spānija	1,75 ± 4,34
Francija	1,71 ± 3,91
Lielbritānija	1,19 ± 2,37
Īrija	1,14 ± 2,10
Nīderlande	1,42 ± 3,04

Atšķirības dažādu valstu iedzīvotāju uzņemtajā luteīna un zeaksantīna daudzumā var izskaidrot ar katrai kultūrai raksturīgo nacionālo virtuvi, lietotajiem produktiem un sezonālo ietekmi. Abu karotenoīdu uzņemto daudzumu ietekmē ne tikai ģeogrāfiskais faktors, bet arī vecums (skat. 2. tab.). Kļūstot vecākiem, palielinās ar uzturu uzņemtais zeaksantīna un luteīna daudzums un samazinās abu uzņemto karotenoīdu attiecība. Statistiski būtiskas atšķirības uzņemtajā luteīna daudzumā dienā ir starp vecuma grupām 1-13 gadi, 14-30 gadi un 31-71 gads. Atšķirības varētu skaidrot ar to, ka bērniem nav tik veselīgi ēšanas paradumi kā vecāka gada gājuma cilvēkiem. Visās vecuma grupās vairāk tiek uzņemts luteīns nevis zeaksantīns, jo tas ir sastopams plašākā produktu klāstā (*Johnson et al.*, 2010).

Vairākos pētījumos tiek aprakstīta arī iespēja MPOB un seruma luteīna un zeaksantīna līmeni palielināt ar karotenoīdiem bagātu uzturu vai speciāliem uztura bagātinātājiem (*Hammond et al.*, 1997; *Bone et al.*, 2000; *Landrum et al.*, 1997). Šobrīd nav noteiktas normas, kāds luteīna un zeaksantīna daudzums būtu jāuzņem dienā ar uzturu, bet *Seddon et al.* (1994) apgalvo, uzņemot dienā 6mg luteīna, tiek samazināts ar vecumu saistītās makulas deģenerācijas (VMD) saslimšanas risks.

2. tabula

Vidējais luteīna un zeaksantīna uzņemtais daudzums  $\pm$  standartnovirze ASV, balsoties uz *National Health and Examination Survey 2003-2004* datiem (Johnson et al., 2010).

Vecums (gadi)	Dalībnieku skaits	Luteīns, $\mu\text{g}/\text{dienā}$	Zeaksantīns, $\mu\text{g}/\text{dienā}$	Z/L
1-3	729	279 $\pm$ 21	86 $\pm$ 4	0,40 $\pm$ 0,02
4-8	777	311 $\pm$ 17	96 $\pm$ 5	0,42 $\pm$ 0,02
9-13	996	335 $\pm$ 24	91 $\pm$ 4	0,41 $\pm$ 0,02
14-18	1340	432 $\pm$ 29	95 $\pm$ 5	0,40 $\pm$ 0,01
19-30	1297	671 $\pm$ 55	120 $\pm$ 5	0,35 $\pm$ 0,01
31-50	1418	896 $\pm$ 75	119 $\pm$ 5	0,32 $\pm$ 0,01
51-70	1235	981 $\pm$ 90	122 $\pm$ 4	0,32 $\pm$ 0,01
>71	894	1008 $\pm$ 96	107 $\pm$ 5	0,32 $\pm$ 0,01

### Makulas pigmentu ietekmējošie faktori

Makulas pigmentu ietekmē vairāki faktori: vecums, dzimums, uzturs, varavīksnenes krāsa, ķermeņa masas indekss (KMI), smēķēšana, rase, makulas biezums u.c.

Hammond et al. (1996b), Hammond & Avey (2000), Ciulla et al. (2001) noteica, ka cilvēkiem ar zilām un pelēkām varavīksnenēm ir mazāks MPOB, bet ar brūnām vai tumši brūnām-lielāks MPOB, ko varēt izskaidrot ar to, ka cilvēkiem ar gaišām varavīksnenēm acī nonāk lielāks gaismas daudzums un līdz ar to tīklene ir pakļauta lielākam oksidatīvajam stresam. Savukārt, citos pētījumos netika novērota saistība starp tumšām un gaišām varavīksnenēm un MPOB lielumu (Iannaccone et al., 2007; Bernstein et al., 2001; Abell et al., 2014; Pipis et al., 2013).

Karotenoīdi organismā atrodas dažādos audos, bet vairāk uzkrājas taukaudos. Plazmā karotenoīdi tiek transportēti ar zema un augsta blīvuma lipoproteīniem (Parker, 1989). Vairākos pētījumos tiek novērota saistība starp KMI, ķermeņa procentuālo tauku daudzumu un karotenoīdu saturu serumā, ka arī MPOB. Nolan et al. (2004) novēroja, ka vīriešiem ar mazāku ķermeņa procentuālo tauku daudzumu un KMI ir lielāks MPOB. Līdzīgu sakarību novēroja arī sievietēm, bet tā nebija tik izteikta. Zheng et al. (2013), nosakot skolas vecuma bērniem MPOB saistību ar vairākiem faktoriem, nenovēroja būtiski atšķirīgus rezultātus bērniem ar zemu vai augstu KMI. Savukārt, Hammond et al. (2002) apjomīgā pētījumā ar 680 dalībniekiem gan sievietēm, gan vīriešiem novēroja apgrieztu sakarību starp KMI, ķermeņa procentuālo tauku daudzumu un MPOB. Šo sakarību varētu izskaidrot ar to, ka taukaudi konkurē ar tīkleni karotenoīdu uzņemšanā, līdz ar to tīklenē ir mazāks karotenoīdu daudzums un arī MPOB. Tāpat arī lielāka KMI gadījumā, ēšanas paradumi nav tik veselīgi un ar uzturu tiek uzņemts mazāk luteīns un zeaksantīns, kas veicina arī zemāku MPOB un arī to saturu serumā (Hammond et al., 2002).

Vairākos pētījumos ir iegūti atšķirīgi MPOB rezultāti gan sievietēm, gan vīriešiem un pašlaik nav novērojama vienota tendence. Hammond et al. (1996a) ieguva, ka vīriešiem MPOB ir par 38 % lielāks nekā sievietēm, bet Raman et al. (2011) konstatēja atšķirīgus MPOB rezultātus abiem dzimumiem tikai atsevišķās vecuma grupās. Vīriešiem tika iegūts augstāks MPOB nekā sievietēm vecuma grupā no 40 līdz 49 gadiem, bet zemāks vecuma grupā no 50 līdz 59 gadiem. Zheng et al. (2013), Ciulla et al. (2001), Jorge et al. (2018), Pipis et al. (2013) pētījumos netika novērotas atšķirības starp MPOB un dzimumu. Atšķirīgos MPOB rezultātus abiem dzimumiem varētu izskaidrot ar hormonālo regulāciju karotenoīdu transportēšanai un ar ķermeņa tauku procentuālā daudzuma atšķirību sievietēm un vīriešiem (Raman et al., 2011).

Makulas pigmentu veidojošos karotenoīdus izņemot meso-zeaksantīnu var uzņemt tikai ar uzturu (Sommerburg et al., 1998). Galvenie luteīna un zeaksantīna avoti vairāk dominē Austrumu



valstu iedzīvotāju uzturā, tāpēc, piemēram, Ķīnā ir iegūts lielāks MPOB nekā Eiropā vai ASV. Ķīnā vidējais MPOB 6-12 gadu vecuma grupā ir  $0,56 \pm 0,25$  d.u. (Zheng et al., 2013), 18-23 gadu vecuma grupā  $0,48 \pm 0,23$  d.u. (Tang et al., 2004), bet plašā vecuma grupā no 3 līdz 81 gadam  $0,30 \pm 0,10$  d.u. (Ji et al., 2015). Indijā vidējais MPOB vecuma grupā no 20 līdz >60 gadiem ir  $0,64 \pm 0,23$  d.u. (Raman et al., 2011). ASV vidējais MPOB 18-50 gadu vecuma grupā ir  $0,21 \pm 0,13$  d.u. (Ciulla et al., 2001). Indijā augstāku MPOB var izskaidrot ar kultūrai raksturīgo ar luteīnu un zeaksantīnu bagātu uzturu un tumšajām varavīksnenēm (Raman et al., 2011). Austrālijā iegūtais vidējais MPOB vecumā no 50 līdz 95 gadiem ir  $0,41 \pm 0,20$  d.u. (Abell et al., 2014), bet Brazīlijā, nosakot MPOB ar Visucam 500 digitālo fundus kameru (Jorge et al., 2018), ieguva  $0,14 \pm 0,05$  d.u.. Atšķirības starp iegūtajiem MPOB rezultātiem varētu ietekmēt arī atšķirīgās MPOB noteikšanas metodes.

Pie faktoriem, kas ietekmē MPOB pieder arī vecums. Ir salīdzinoši mazāk pētījumu, kur MPOB ir noteikts bērniem. Vecumā no apmēram 6 līdz 14 gadiem MPOB ir robežās ap  $0,50$  d.u. (skat. 3. tab.). Zemākus MPOB rezultātus bērniem jaunākiem par 7 gadiem varētu izskaidrot ar grūtībām noteikt MPOB, it īpaši priekšlaicīgi dzimušiem bērniem, uztura atšķirībām un to, ka Bernstein et al., (2013) pētījumā tika izmantota cita MPOB noteikšanas metode. Saint et al., (2018), Barnett et al., (2017) savos pētījumos noteica ne tikai MPOB, bet arī salīdzināja tā saistību ar skolas vecuma bērnu kognitīvajām spējām un akadēmisko sniegumu. Bērniem ar augstāku MPOB tika iegūts labāks rezultāts matemātikas un pareizrakstības uzdevumos.

### 3. tabula

Pētījumos noteiktais MPOB skolas vecuma bērniem. HFF-heterohromatiskā flikera fotometrija, cHFF-pielāgota HFF (*customized heterochromatic flicker photometry*), DFK-digitalā fundus kamera, \*Pirmajā un otrajā mērīšanas sesijā.

Autors	Žurnāls	Dalībnieku skaits	Vecums, gadi	MPOB noteikšanas metode	MPOB, d.u.
Zheng et al., (2013)	<i>Current Eye Research</i>	94	6-12	HFF	$0,56 \pm 0,25$
Saint et al., (2018)	<i>Nutrients</i>	51	7-13	cHFF	$0,48 \pm 0,17$
McCorkle et al., (2015)	<i>Foods</i>	66	7-10	cHFF	* $0,61 \pm 0,28$ $0,63 \pm 0,27$
Barnett et al., (2017)	<i>Nutritional Neuroscience</i>	56	8-9	cHFF	$0,64 \pm 0,03$
Bernstein et al., (2013)	<i>Investigative Ophthalmology &amp; Visual Science</i>	51	<7	DFK	No <0,05 līdz 0,40

Vairākos pētījumos ir novērota saistība, ka, palielinoties vecumam, samazinās MPOB (Hammond & Avery, 2000). Savukārt Raman et al., (2011) novēroja MPOB pieaugumu no 29 līdz 39 gadiem, bet pēc 39 gadiem tā samazināšanos. To varētu izskaidrot ar to, ka ap 40 gadiem var sāk attīstīties VMD un tāpat arī mainās lēcas struktūra un acī nonākot mazāk zilajai gaismai, MP efektivitāte samazinās. Vēl ar gadiem vairāk pigmentepitēlijā uzkrājas lipofuscīns un tīklenē palielinās ROS daudzums. Ciulla et al., (2001) nenovēroja statistiski būtisku MPOB saistību ar vecumu.

MPOB radītāji atšķiras arī dažādu rasu pārstāvjiem (Jorge et al., 2018). Aziātiem vidējais MPOB  $0,61 \pm 0,17$  d.u., afro-amerikāņiem  $0,56 \pm 0,19$  d.u. un eiropeīdās rases pārstāvjiem  $0,47 \pm 0,17$  d.u.. Šo rezultātu dažādību varētu izskaidrot arī ar anatomiskajām tīklenes atšķirībām (Ctori & Huntjens, 2017).

Ciulla et al. (2001), Jorge et al. (2018) un Papis et al. (2013) nenovēroja atšķirību starp MPOB rezultātiem smēķētājiem un nesmēķētājiem. Hammond & Avery (2000) salīdzinot MPOB datus un



izlietoto cigarešu skaitu dienā, novēroja mazāku MPOB smagākiem smēķētājiem, kas dienā patērē vairāk kā 10 cigaretes, nekā nesmēķētājiem un viegliem smēķētājiem.

Vēl viens faktors, kas varētu ietekmēt MPOB ir refrakcija, bet *Jorge et al.* (2018) un *Tudosescu et al.* (2018) pārbaudot saistību starp MPOB un refrakciju, nenovēroja statistiski ticamu atšķirību starp emetropiem, miopiem un hipermetropiem.

## Makulas pigmenta funkcijas

Izdala vairākas makulas pigmenta funkcijas:

- zilās gaismas absorbēšanu, samazinot žilbšanu, gaismas izkliedi un longitudinālās hromatiskās aberācijas;
- kontrastjutības uzlabošana;
- oksidatīvā stresa samazināšana.

Jo īsāks viļņa garums gaismai, jo lielāka enerģija tai piemīt un ir iespējams nodarīt lielāku bojājumu acs audiem. Acī ir vairākas struktūras, kas darbojas kā aizsargbarjeras pret acī ienākušo īsā viļņa garuma gaismu. Pirmā acs aizsargbarjera ir radzene, kas absorbē gaismu ar viļņa garumu mazāku par 293 nm (*Bachem* 1956). Lēcai atkarībā no vecuma absorbēšanas spējas variē. Pieaugušam cilvēkam lēca absorbē daļu no UV-B un arī UV-A, bet bērniem daļa no īsā viļņa garuma gaismas iziet cauri lēcai.

Gaismas stari, kas iziet cauri acs caurspīdīgajām struktūrām tiek sakopoti uz tīklenes, kur makulas pigments ir pēdējā aizsargbarjera pirms gaisma sasniedz fotoreceptorus. Makulas pigmenta absorbcijas spektrs ir 400-540 nm, bet pīķis ir pie 460 nm (*Bone et al.*, 1992; *Pease et al.*, 1987). *Junghans et al.* (2001) pārbaudot vairāku karotenoīdu spēju absorbēt zilo gaismu, noteica, ka vislielākā absorbcijas spēja ir luteīnam.

Absorbējot zilo gaismu, makulas karotenoīdi samazina gaismas izkliedi un līdz ar to uzlabo redzes asumu un kontrastjutību. *Stringham et al.*, 2016 savā pētījumā noteica, ka luteīna un zeaksantīna papildus uzņemšana uzlabo ne tikai MPOB, bet arī samazina žilbšanu un laiku, kas nepieciešams makulai, lai atgūtos pēc apžilbšanas.

Gan luteīns, gan zeaksantīns pieder pie acs antioksidantiem (*Khachik et al.*, 1997). Tie pasargā šūnas no brīvo radikāļu iedarbības, piemēram, skābekļa un slāpekļa aktīvajiem savienojumiem, kas var rasties šūnu metabolisma rezultātā. Brīvie radikāļi ir molekulas, joni, kas satur vienu vai vairākus nesapārotus elektronus. Skābekļa aktīvie savienojumi veidojas mitohondrijos, enzīmu sistēmās vai arī eksogēnu darbību, piemēram, smēķēšanas rezultātā. Slāpekļa un skābekļa aktīvie savienojumi iedarbojas uz nukleīnskābēm, lipīdiem, proteīniem un šūnu membrānām. Tie var izraisīt nukleīnskābju pārrāvumus, lipīdu oksidēšanos, un membrānu sabrukšanu (*Cheeseman & Slater*, 1993). MP ir arī protektīvs faktors vairāku slimību gadījumā, piemēram, VMD (vecuma makulas deģenerācija) un *retinitis pigmentosa*. (*Tan et al*, 2008; *Zhou et al.*, 2011; *Aleman et al.*, 2001).

## Makulas pigmenta optiskā blīvuma noteikšanas metodes

Makulas pigmenta optiskā blīvuma noteikšanai var izmantot *in vivo* un *in vitro* metodes. Pie invazīvajām metodēm pieder augstspiediena šķidrums hromatogrāfija (HPLC) un mikrodensitometrs. *In vivo* metodes iedala sīkāk objektīvās un subjektīvās metodēs. Pie subjektīvām metodēm pieder heterohromatiskā flikera fotometrija metode (HFF), minimālā kustību fotometrija. Objektīvās metodes ir Ramana spektroskopija, acs aizmugurējās daļas reflektometrija un autofluorescences spektrometrija.

Augstspiediena šķidrums hromatogrāfija un mikrodensitometrs tiek pielietoti, lai noteiktu makulas pigmentu optisko blīvumu tīklenes paraugiem no donoru acīm.

Heterohromatiskā flikera fotometrija ir visbiežāk izmantotā MPOB noteikšanas metode, kas balstās uz makulas pigmenta spēju absorbēt īsā viļņa garuma gaismu ar pīķi pie 460 nm. Šajā metodē tiek izmantoti divi monohromatiski gaismas avoti ar atšķirīgiem viļņa garumiem: 460 un 540 nm. Dalībnieks testa sākumā redz mirgošanu un, regulējot zilās un zaļās gaismas intensitāti, tiek sasniegts tāds stāvoklis, kad mirgošana ir izzudusi vai maksimāli samazinājusies. Mērījumu veikšana notiek

gan centrālajā bedrītē, kur ir vislielākā makulas pigmenta koncentrācija, gan arī ekscentriski no tās (Leung 2008). Šajā gadījumā MPOB aprēķina pēc formulas:

$$MPOB = \log(L_{zils} - L_{zaļš})_{centrālajā\ bedrītē} - \log(L_{zils} - L_{zaļš})_{parafoveā} \quad (1)$$

Jaunākajā HFF versijā tiek konstatēts stāvoklis nevis kad mirgošana ir izzudusi, bet gan tieši pretēji, kad tā ir sākusies, bet pielāgotajā HFF MPOB perifērija testā tiek noteikts vairākās pozīcijās.

MPOB vēl var noteikt ar minimālās kustības fotometriju un tikko pamanāmās kustības fotometriju (*apparent motion photometry*). Šīs metodes darbības princips ir līdzīgs HFF metodei, bet tā netiek tik bieži pielietota. Arī šajā metodē tiek izmantoti divi gaismas avoti ar atšķirīgiem viļņa garumiem. Tiek pielietoti kustīgi kvadrātveida režģi, kuru joslas ir atšķirīgās krāsās. Intensitāte gaismas avotam ar viļņa garumu 580nm tiek samazināta līdz brīdim, kad kustība samazinās. Tikko pamanāmās kustības fotometrijas gadījumā gaismas avota intensitāte tiek samazināta līdz brīdim, kad novēro pretēju kustību (Robson et al., 2005).

Acs aizmugurējās daļas atstarošanās metodes pamatā izmanto gaismas atstarošanās atšķirības no makulas un tīklenes perifērija (Delori et al., 1989). Līdzīgi ka citas metodēs arī šeit tiek izmanota gaisma ar diviem viļņa garumiem- vienu, kuru absorbē makulas pigments un otru, kurš netiek absorbēts. Iekārtas, ar kurām var noteikt MPOB, izmantojot šo metodi, ir skenējošais lāzera oftalmoskopis un fundus kamera (Berendschot 2010). Mūsdienās acs aizmugurējās daļas atstarošanas metodei ir vairākas modifikācijas, piemēram, gaismas spektra iegūšana no tīklenes centralās daļas un perifērija un tā analizēšana. Ramana spektroskopijas darbības pamatā ir Ramana izkliedes princips. Iekārtai tiek izmantots argona lāzers, kura stars tiek novirzīts uz centrālo bedrīti, līdz ar to mērījums tiek veikts tikai makulas centrālajā daļā (Berendschot 2010).

MPOB noteikšanai var tikt izmantota arī autofluorescences spektrometrija. Šajā metodē tiek izmantota lipofuscīna, kas uzrājas tīklenes pigmentepitēlijā pēc fotoreceptoru ārējo segmentu noārdīšanas, autofluorescences spēja. Makulas pigments daļēji absorbē lipofuscīna ierosināšanas gaismu (400-520 nm), bet emitēto fluorescento gaismu (520-800 nm) makulas pigments neabsorbē (Delori, 2004). Lipofuscīna fluorescences būs mazāka, ja būs vairāk makulas pigmenta.

## Zilās gaismas ietekme uz tīkleri

Zilaj gaismai ir nozīme cirkadiānā cikla darbībā un tā var samazināt arī miopijas progresēšanu jauniem cilvēkiem, bet palielināts zilās gaismas daudzums var radīt bojājumus acij. Cirkadiānais jeb nomodas un miega cikls ilgst 24 stundas un to ietekmē gaismas izmaiņas apkārtējā vidē. Tā regulācijā ir iesaistīts hipotalāms un suprahiazmatiskie kodoli, kā arī augstākie smadzeņu centri, kas var kavēt epifīzē melatonīna izdalīšanos (Remington 2012). Gaismas fāzes laikā epifīzē tiek kavēta melatonīna sekrēcija un netiek aktivēta simpātiskā nervu sistēma. Tumsas fāzes laikā epifīze sekretē melatonīnu un simpātiskā nervu sistēma padara organismu miegaināku. Gaisma ar lielāku intensitāti nomāc melatonīna sekrēciju un kavē cirkadiānā cikla nākamās fāzes iestāšanos. Vairākos pētījumos ir minēts, ka gan pieaugušie, gan bērni pirms miega izmanto viedās ierīces, skatās televizoru un līdz ar to vēlāk iet gulēt, samazina savu miega laiku, nākamajā dienā ir neizgulejušies, noguruši un cieš no miega traucējumiem (Fossum et al., 2013; Oka et al., 2008; Exelmans & Van den Bulck, 2016; Van den Bulck, 2007).

Gaisma, kas nonāk acī, var tīklenē izraisīt fotoķīmiskus, fotomehāniskus un fototermālus bojājumus. Tīklenes bojājums ir atkarīgs no gaismas intensitātes, viļņa garuma un iedarbības laika. Šūnas tīklenē, kas ir visvairāk pakļautas iespējamam gaismas radītam bojājumam, ir nūjiņas, vāļītes un tīklenes pigmentepitēlijs. Ham et al., (1976) noteica, ka īsā viļņa garuma gaisma tīklei galvenokārt rada fotoķīmiskus bojājumus. Izdala divu veidu fotoķīmiskus bojājumus. Vienam no tiem ir raksturīgs īss iedarbības laiks un augsta gaismas intensitāte, bet otram ir raksturīgs ilgāks iedarbības laiks un mazāka gaismas intensitāte. Pirmajā gadījumā tiek vairāk skarts tīklenes pigmentepitēlijs, bet otrajā gadījumā- fotoreceptoru ārējie segmenti.

Zilā gaisma cilvēka acī nonāk gan no dabīgiem, gan no mākslīgiem gaismas avotiem. Galvenie zilās gaismas avoti ir Saule, gaismu emitējošu diožu (LED) apgaismojums, iekārtas ar LED ekrāniem-

planšetdators, mobilais telefons, televizors, dators u.c. Iekārtām ar LED ekrāniem ir pīķis zilās gaismas apvidū 400-490 nm.

*Kuse et al.*, (2014) salīdzinot zilās, baltas un zaļās LED ietekmi uz tīklenes šūnām, noteica, ka zilās LED bojā fotoreceptorus smagāk, izraisa vairāk morfoloģiskas izmaiņas šūnās, palielina skābekļa aktīvo savienojumu veidošanos, kas noved arī pie mitohondriju bojājumiem un oksidatīva stresa šūnā. Pastiprināta zilās LED ietekme šo izraisīto pārmaiņu rezultātā noved pie šūnu nāves.

## **Viedo ierīču izmantošanas biežums bērnu vidū**

ASV pēc *American Central Survey* 2016.gada datiem lielākajā daļā mājsaimniecību ir dators, planšetdators vai viedtālrunis. No mājsaimniecībām, kurās ir bērni vecumā <18gadiem, internetu izmanto 97,6 %. ASV tikai 10,7 ± 0,1 % no visām mājsaimniecībām nav datora. Viedo ierīču esamība procentuāli vairāk ir mājsaimniecībās, kur ģimenes galvai ir augstāka izglītība un ienākumi (*Ryan*, 2017). *Kabali et al.*, (2015) pētījumā ASV, aptaujājot bērnu līdz četriem gadiem, vecākus ar zemiem ienākumiem, kuri dzīvo pilsētā, noskaidroja, ka lielākajā daļā mājsaimniecību ir dažāda veida viedās ierīces, kuras bērni plaši izmanto. Trīs ceturtdaļām no bērniem jau četru gadu vecumā ir savs mobilais tālrunis un nedaudz mazāk kā puse no bērniem jaunāki par vienu gadu ikdienā izmanto vecāku mobilos telefonus.

Eiropas Savienības valstīs, kurās jaunieši vecumā no 16-29 gadiem ikdienā visbiežāk izmanto datoru, ir Igaunija, Polija, Čehija un Latvija. Mazāk datoru ikdienā izmanto Portugālē un Rumānijā (*Eurostat*, 2015). Pēc *Centrālās statistikas pārvaldes* (2018) datiem Latvijā lielākajā daļā mājsaimniecību ar bērniem vecumā līdz 15 gadiem tiek izmantots internets.

Bahreinā, Hondurasā, Japānā un Filipīnās vidēji 66,7 % bērnu vecumā no 8 līdz 18 gadiem izmanto mobilos telefonus un vidējais vecums, kurā bērni saņem savu pirmo telefonu ir 10 gadi (*GSMA*, 2016). Japānas jaunākajās klasēs bērniem nav atļauts uz skolu ņemt līdzī telefonus, tāpēc vecuma grupā no 12 līdz 15 gadiem ikdienā tiek mazāk izmantots telefons nekā vecuma grupā no 15 līdz 18 gadiem. No bērniem 12-18 gadu vecumā 8,3 % izmanto savus telefonus arī tad, kad gaisma vakarā jau ir izslēgta (*Munezawa et al.*, 2011). Vidēji 46 % bērniem vecumā no 9 līdz 16 gadiem Lielbritānijā, Itālijā, Rumānijā, Beļģijā, Portugālē, Īrijā un Dānijā ir savs viedtālrunis. No šīm Eiropas valstīm Dānijā ir vislielākais bērnu skaits, kam ir savs telefons un, kas visbiežāk to lieto (*Mascheroni & Ólafsson*, 2016).

## **Ķermeņa masas indeksa noteikšana bērniem**

Atšķirīgos pasaules reģionos ir iegūti dažādi dati par bērnu aptaukošanos un lieko svaru. Plašā pētījumā, kas aptvēra 34 valstis, tika noteikts, ka bērniem vecumā no 10 līdz 16 gadiem zemāka liekā svara izplatība un aptaukošanās ir Lietuvā, Latvijā, Krievijā un Ukrainā, bet augstāka izplatība ir Maltā, ASV, Lielbritānijā un Grenlandē (*Janssen et al.*, 2005). Latvijā ir veikti vairāki pētījumi, kur ir noskaidrots bērnu ĶMI. *Karklina et al.*, (2011) bērniem vecumā no 9 līdz 10 gadiem no dažādiem Latvijas reģioniem noteica, ka vairāk kā pusei zēnu un meiteņu ir normāls svars, bet apmēram vienai piektdaļai zēnu un meiteņu 10 gadu vecumā ir samazināts svars. Savukārt 28,3 % meiteņu 9 gadu vecumā ir palielināts svars. *Velika et al.*, (2016) PVO- Pasaules Veselības organizācija (*World Health Organization*) Eiropas bērnu aptaukošanās pārraudzības iniciatīvas ietvaros noteica antropometriskos parametrus 7 un 9 gadus veciem bērniem. Iepriekš tika veikti pētījumi arī 2008., 2010. un 2013. gadā. Salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem, joprojām saglabājas tendence, ka lielākajai daļai bērnu ir normāls ķermeņa masas indekss, bet aptaukošanos un lieko svaru novēro 21,7 % pirmklasnieku un 25,8 % trešklasnieku. Gan septiņgadīgiem zēniem, gan arī deviņgadīgiem zēniem liekais svars un aptaukošanās ir augstāka neka meitenēm. Pēc pētījuma dalībnieku vecāku anketām tika arī noteikts, ka tikai viena piektdaļa bērnu katru dienu ēd dārzeņus.

Lai analizētu bērnu ĶMI ir jāņem vērā arī bērnu attīstības atšķirības, vecums un dzimums. ĶMI bērniem nosaka pēc tādas pašas formulas kā pieaugušajiem, bet to analizē, izmantojot dažādas ĶMI izvērtēšanas skalas, piemēram,:

- CDC – Amerikas Savienoto Valstu slimības kontroles un novēršanas dienests (*Centers for Disease Control and Prevention*);
- IOTF – Starptautiskā aptaukošanās darba grupa (*International Obesity Taskforce*);
- PVO – Pasaules Veselības Organizācija (*World Health Organization*).

Krūmiņa *et al.*, (2007) izstrādāja Latvijas bērnu fiziskās attīstības normatīvus procentiņu sadalījuma grafiku veidā, izmantojot Latvijas bērnu populācijas datus (skat. 2. pielikumu).

## Pētījums

Pētījums tika veikts, ievērojot Helsinku deklarāciju un LU ētikas komisijas normas. Pētījuma mērķis bija pirms skolas vecuma bērnu pārbaudīšanas noteikt MPOB pieaugušajiem, lai precizētu pētījuma apstākļus un gaitu, noteiktu iespējamās atšķirības starp labās un kreisās acs, vadošās un nevadošās acs mērījumiem.

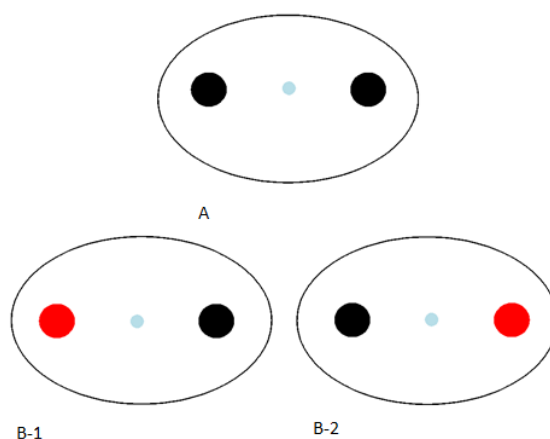
## Dalībnieki

Pētījumā brīvprātīgi piedalījās 10 dalībnieki vecuma grupā no 21 līdz 24 gadiem un bez iepriekšējas pieredzes ar MPOB noteikšanas iekārtu un metodi. Tika atlasīti dalībnieki bez redzes pataloģijām, epilepsijas un citām saslimšanām, kas varētu apgrūtināt MPOB noteikšanu vai ietekmēt rezultātu kvalitāti. Dalībnieki veica MPOB noteikšanu ar savu redzes korekcijas līdzekli – kontaktlēcām vai brillēm, kurām nav zilo gaismu bloķējošs klājums.

## Pētījuma gaita

MPOB mērījumi tika veikti telpā ar samazinātu apgaismoju, bet vadoties pēc iekārtas ražotāja informācijas, telpas apgaismojums neietekmē mērījumu rezultātus. Katram dalībniekam pirms MPOB noteikšanas ar vizuālu materiālu palīdzību tika sniegtas instrukcijas par eksperimenta gaitu un noteikta motorā vadošā acs. Pētījumā tika noteikta motorā vadošā acs, jo lielākajā daļā gadījumu motorā un sensorā vadoša acs sakrīt (*Lopes-Ferreira et al.*, 2013).

Katram dalībniekam pirmajā grupā tika veikti MPOB mērījumi divās daļās ar 10 minūšu pauzi starp tām. Pirmajā daļā tika veikti 10 mērījumi katrai acij, sākot ar vadošo aci, bet otrajā daļā – ar nevadošo aci. Vadošā acs tika noteikta ar Miles testu, skatoties ar izstieptām rokām caur nelielu apertūru, ko izveido ar plaukstām, uz objektu, kas atrodas 3 m attālumā. Otru aci, kurai tajā brīdī netika noteikts MPOB, aizklāja ar oklūderi.



**4. att.** Shematisks attēlojums *MPS II* izmantotajiem stimuliem (A-centram, B-1 un B-2 perifērija testam labajai un kreisajai acij).

Katrai acij tests tika veikts divas daļās, kur katra daļa ilgst apmēram 2-3 minūtes. Sākumā tika pārbaudīta makulas centrālā daļa, tad tās perifērā daļa. Iekārtā izmantotā centrālā stimula izmērs ir

1°, bet perifērija testam tiek izmantots 1,75° liels sarkans stimulu, kas atrodas 8° ekscentriski un horizontālā virzienā no centrālā stimula (skat. 4. att.). Centrālā testa veikšanas laikā dalībnieks, skatoties ar vienu aci uz apaļu stimulu centrā, spieda pogu, kad tas tikko sāka mirgot, bet perifērija testa laikā dalībnieks skatu fiksēja uz malā esošo lielo sarkano apli un, kad centrālais stimuls sāka mirgot, spieda pogu (skat. 4. att.). Katrā mērījumu reizē testa sākumā bija sagatavošanās tests, lai noteiktu dalībnieka mirgošanas jutīgumu (ilgums ~30 s), tad tika veikts tests, no kura datiem ieguva MPOB vērtību. Mērījums konkrētai acij tika atkārtots, ja iekārtai nebija iespējams noteikt minimuma punktu iegūtajai līknei, kas veidojas visa mērījuma laikā, atzīmējot punktus, kad dalībnieks nospieda pogu. Minimuma punkts atbilst ekviluminances punktam zaļajai un zilajai gaismai. Centrālā testa un perifērija iegūtos minimuma punktus iekārta izmanto, lai aprēķinātu MPOB.

## MPOB noteikšana

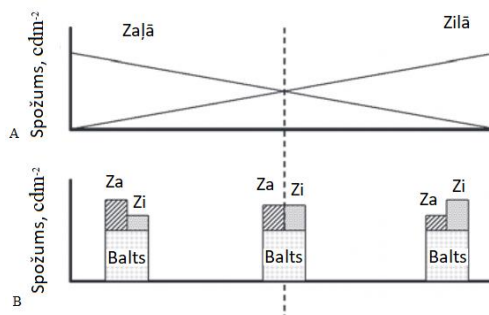
Pētījuma veikšanai tika izmantota *Elektron Technology UK Ltd* ražotā iekārta *Macular Pigment Screener (MPS II)*, kas ir savienota ar datoru, kuram ir *Microsoft Windows 8™* operētājsistēma (skat. 5. att.). Iekārtai ir arī citi nosaukumi *MPS9000*, *VertifEye* un *M/POD*. *MPS II* darbība balstās uz heterohromatiskā flikera fotometriju un tajā tiek izmantota psihofizikālā pielāgošanas metode. Atsaucoties uz *van der Veen et al. (2009)* pētījumu, ražotāja norādītā iekārtas precizitāte ir  $\pm 0,187$  d.u.



5. att. Iekārta MPOB noteikšanai- *Macular Pigment Screener (MPS II)*<sup>2</sup>

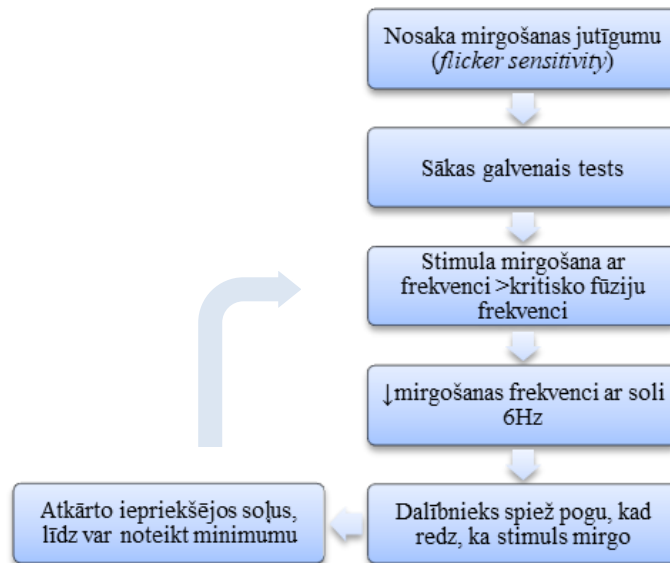
*MPS II* izmanto zilu (460 nm), zaļu (540 nm), sarkanu un baltu LED. Baltā LED nodrošina fona spožumu  $250 \text{ cd/m}^2$  un to, lai MPOB noteikšanas laikā nestimulētu nūjiņas un īso gaismas viļņu jūtīgās vāļītes, bet sarkanā tiek izmantota detalizētajam testam, pārbaudot perifēriju.

Testa veikšanas laikā mainās zaļās un zilās gaismas attiecība (skat. 6. att. un 7. att.) un frekvence samazinās no 60 Hz ar soli 6 Hz. Ievadot datus par dalībnieku, programma ņem vērā dalībnieka vecumu, lai definētu sākotnējo zilās un zaļās gaismas spožuma logaritmisko attiecību. Pēc katras reizes, kad dalībnieks nospieda pogu, zaļās un zilās gaismas attiecība novirzījās vairāk uz zilās gaismas pusi. Katra pogas nospiešanas reize tika atspoguļota ekrānā, kur programmā iezīmējas v-veida līkne (*MPS II Manual*, 2013). Darbības gaita, nosakot MPOB, ir attēlota 7. attēlā.



6. att. Zaļās un zilās gaismas spožuma logaritmiskās attiecības izmaiņas testa veikšanas laikā (*van der Veen et al.*, 2009).

<sup>2</sup> *MPS II*, Pieejams: <https://www.elektron-eye-technology.com/products/mps-ii/>



7. att. MPS II darbības gaita, nosakot MPOB (van der Veen et al., 2009).

Svars kilogramos tika noteikts izmantojot automātiskos svarus, bet auguma mērīšanai tika izmantota mērlente, no kuras rezultāts tika nolasīts bērnam stāvēt taisni pie sienas bez apaviem kājās. ĶMI aprēķināšanas formula:

$$\text{ĶMI} = \frac{\text{svars (kg)}}{\text{augums(cm)}^2} \times 10000 \quad (2)$$

Iegūtie ĶMI dati tika analizēti, izmantojot ĶMI procentiņu sadalījuma grafikus. Procentile ir mērījumu skalas vērtība, pie kuras atrodas noteikts uzkrātais relatīvais pazīmes vērtības biežums procentos, sākot ar 1 % un beidzot ar 99 %.

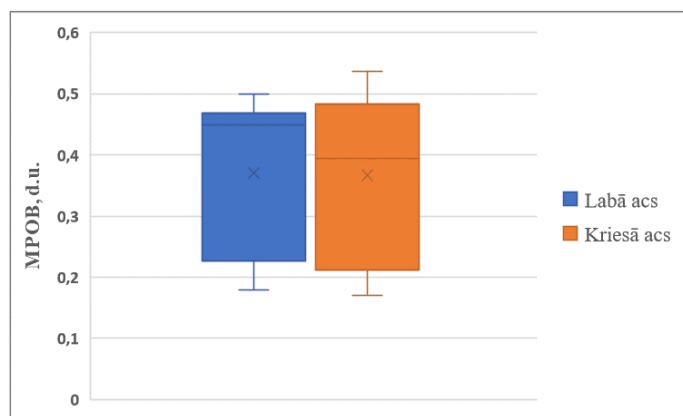
Procentiņu sadalījuma grafika analizēšana:

- no 85 procentiles un vairāk- ĶMI vērtība ir liela un ļoti liela;
- no 85 līdz 65 procentilei- ĶMI vērtība palielināta;
- no 65 līdz 35 procentilei- ĶMI vērtība normāla;
- no 35 līdz 15 procentilei- ĶMI vērtība samazināta;
- no 15 procentiles un mazāk- ĶMI vērtība maza un ļoti maza (Krūmiņa et al., 2007).

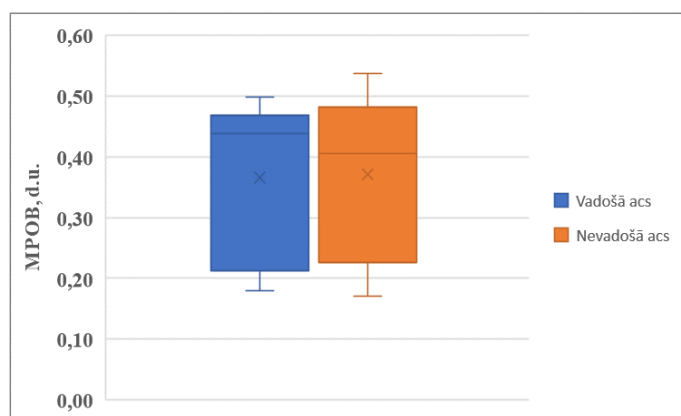
## Rezultāti un diskusija

Pētījuma dalībnieku (21-24 gadi) vidējais MPOB labajai acij bija  $0,371 \pm 0,128$  d.u., bet kreisajai acij bija  $0,367 \pm 0,134$  d.u. (skat. 8. att.). Līdzīgas vidējās MPOB vērtības tika iegūtas arī dalībnieku vadošajai un nevadošajai acij-  $0,366 \pm 0,130$  d.u. un  $0,371 \pm 0,130$  d.u. (skat. 9.att.). Izmantojot t-Testu savstarpēji atkarīgiem datiem (*t-Test: Paired Two Sample for Means*), tika iegūts, ka  $\alpha = 0,05$  līmenī nav statistiski būtiskas atšķirības starp labās un kreisās acs, un vadošās un nevadošās acs MPOB mērījumiem, līdz ar to MPOB mērījumus var uzsākt gan ar labo, gan ar kreiso aci.

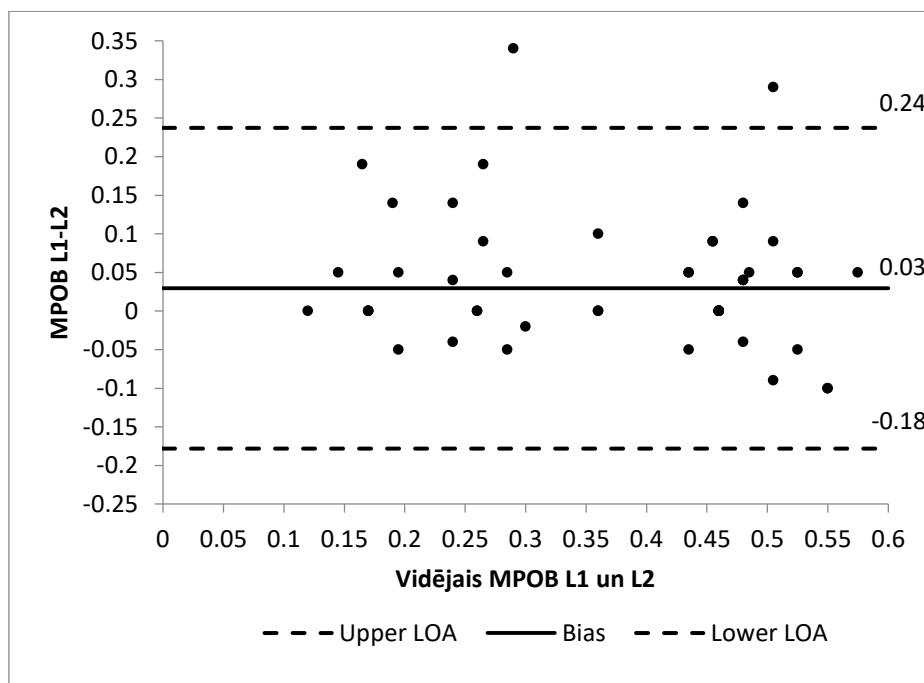
Lai noskaidrotu, cik reizes tālākajā pētījuma gaitā MPOB būs jāmēra skolas vecuma bērniem un vai ir iespējams novērot mācīšanās efektu, tika salīdzināti dalībnieku atkārtotie mērījumi. Izmantojot divu faktoru dispersijas analīzi ar atkātojumiem (*Anova: Two-Factor With Replication*) un pārbaudot, vai ir atšķirības starp MPOB mērījumu secību un abu acu mērījumiem, tika iegūts, ka  $\alpha = 0,05$  līmenī nav statistiski nozīmīgas atšķirības starp abiem faktoriem, līdz ar to var apgalvot, ka atkārotu mērījumu veikšanas gadījumā netiek novērots mācīšanās efekts. Tālākā pētījuma gaitā tika salīdzinātas atsevišķu mērījumu MPOB rezultāti. Atšķirības starp pirmo un otro mērījumu labajai un kreisajai acij parādītas Bland Altman grafikos (skat. 10. un 11. att.). Abos divos gadījumos lielākā daļa datu izvietojas starp augšējo un apakšējo robežlīmeni, bet ir novērojami daži izlecēji.



8. att. Makulas pigmenta optiskais blīvums (MPOB) labajai un kreisajai acij.



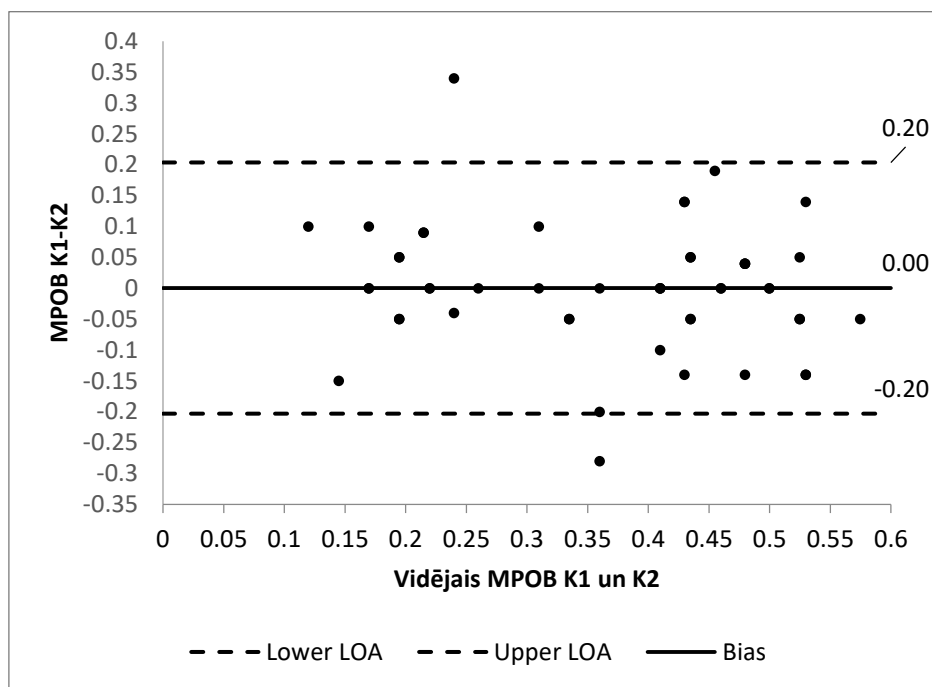
9. att. Makulas pigmenta optiskais blīvums (MPOB) vadošajai un nevadošajai acij.



10. att. Pirmā (L1) un otrā (L2) labās acs MPOB mērījuma attiecība pret vidējām vērtībām MPOB-makulas pigmenta optiskais blīvums.

Salīdzinot pirmo ( $0,385 \pm 0,108$  d.u.) un otro ( $0,350 \pm 0,173$  d.u.) mērījumu kārtu rezultātus, izmantojot t-Testu divu neatkarīgu izlašu, kuru dispersijas nav vienādas, vidējo salīdzināšanai (*t-Test*:

*two-sample assuming unequal variances*), tika iegūts, ka nav statistiski nozīmīgas atšķirības starp abu mērījumu grupām.



**11. att.** Pirmā (K1) un otrā (K2) kreisās acs MPOB mērījuma attiecība pret vidējām vērtībām MPOB-makulas pigmenta optiskais blīvums.

Pētījumā iegūtā vidējā MPOB vērtība ir nedaudz zemāka nekā *Tang et al.* (2004) pētījumā, kur tika apskatīta līdzīga vecuma grupa. Atšķirības starp rezultātiem varētu izskaidrot ar to, ka Austrumu valstu virtuvē vairāk dominē produkti ar lielāku luteīna un zeaksantīna saturu un pētījumos, kur salīdzināti MPOB rezultāti vairāku rasu pārstāvjiem aziātiem tika iegūta lielāka MPOB vērtība nekā eiropēidās rases pārstāvjiem (*Jorge et al.*, 2018).

Pētījumā netika novērota nozīmīga atšķirība starp abu acu MPOB mērījumiem un arī acs dominance statistiski būtiski neietekmēja MPOB rezultātus. Pētījumos, kur ir noteikts MPOB, ļoti reti ir aplūkota iepriekš minēto faktoru saistība ar MPOB. *Neelam et al.* (2006), kas salīdzināja vairāku acs parametru saistību ar MPOB, un arī *Tudosescu et al.* (2018) savos pētījumā ieguva līdzīgus rezultātus. Savukārt, *Davey et al.* (2016) noteica, ja ir iegūti dati par vienu aci, tad ir iespējams ar 89 % precizitāti paredzēt otras acs rezultātus.

Tā kā, veicot mērījumus vairākkārt, netika novērotas atšķirības starp iegūtajām MPOB vērtībām tad turpmākajā pētījuma gaitā skolas vecuma bērniem tiks veikts viens mērījums katrai acij. Tāpat netika izvēlēts lielāks mērījumu skaits, jo uzdevuma izpildei, it īpaši perifērā testa veikšanai, nepieciešamas koncentrēšanās spēja, kas bērniem nav tik labas kā pieaugušajiem. Lai arī tika novērota atšķirība starp labās un kreisās acs MPOB mērījumu rezultātiem, tālākā pētījumā bērniem tiks veikti mērījumi abām acīm, jo gadījumā, ja netiks iegūts veiksmīgs mērījums vienai acij, datu apstrādei būs iespējams izmantot otras acs MPOB rezultātu. Vēl viens iemesls, lai pārbaudītu abas bērnu acis, bija vienkāršāka informācijas nodošana bērnu vecākiem.

## Secinājumi

*MPS II* ļauj salīdzinoši ātri un neinvazīvi novērtēt MPOB pieaugušajiem, bet uzdevums nebūs tik vienkārši veicams bērniem skolas vecumā, tāpēc iegūtie rezultāti ļauj labāk izplānot tālākā pētījuma gaitu. Acs dominance neietekmē makulas pigmenta optisko blīvumu un nav novērojamas atšķirības starp labās un kreisās acs makulas pigmenta optiskā blīvuma vērtībām. Vairākkārt nosakot makulas pigmenta optisko blīvumu veseliem pieaugušajiem vecumā no 21 līdz 24 gadiem ar *MPS II* iekārt, nav novērojamas būtiskas atšķirības starp mērījumu reizēm.



## Pateicības

Pētījums tapis ar LU Bāzes un Snieguma finansējuma, LU Fonda un SIA “Mikrotīkls” projekta Nr. 2184 atbalstu.

## Literatūra

- Abell, R. G., Hewitt, A. W., Andric, M., Allen, P. L., & Verma, N. (2014). The use of heterochromatic flicker photometry to determine macular pigment optical density in a healthy Australian population. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 252(3), 417-421.
- Aleman, T. S., Duncan, J. L., Bieber, M. L., de Castro, E., Marks, D. A., Gardner, L. M., Steinberg, J. D., Cideciyan, A. V., Maguire, M. G., Jacobson, S. G. (2001). Macular pigment and lutein supplementation in retinitis pigmentosa and Usher syndrome. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 42(8), 1873-1881.
- Asefzadeh, B., Cavallerano, A. A., & Fisch, B. M. (2007). Racial differences in macular thickness in healthy eyes. *Optometry and Vision Science*, 84(10), 941-945.
- Bachem, A. (1956). Ophthalmic Ultraviolet Action Spectra. *American Journal of Ophthalmology*, 41(6), 969-975.
- Barnett, S. M., Khan, N. A., Walk, A. M., Raine, L. B., Moluton, C., Cohen, N. J., Kramer, A. F., Hammond, B. R., Renzi-Hammond, L., Hillman, C. H. (2017). Macular pigment optical density is positively associated with academic performance among preadolescent children. *Nutritional Neuroscience*, 21(9), 1-9.
- Berendschot, T. T. (2010). Imaging the macular pigment. In F. G. Holz, & R. F. Spaide, *Medical Retina: Focus on Retinal Imaging* (pp. 51-60). London: Springer Science & Business Media.
- Bernstein, P. S., Khachik, F., Carvalho, L. S., Muir, G. J., Zhao, D. Y., & Katz, N. B. (2001). Identification and quantitation of carotenoids and their metabolites. *Experimental eye research*, 72(3), 215-223.
- Bone, R. A., Landrum, J. T., & Cains, A. (1992). Optical density spectra of the macular pigment in vivo and in vitro. *Vision Research*, 32(1), 105-110.
- Bone, R. A., Landrum, J. T., Dixon, Z., Chen, Y., & Llerena, C. M. (2000). Lutein and zeaxanthin in the eyes, serum and diet of human subjects. *Experimental Eye Research*, 71(3), 230-245.
- Bone, R. A., Landrum, J. T., Fernandez, L., & Tarsis, S. L. (1988). Analysis of the macular pigment by HPLC: retinal distribution and age study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 29(6), 843-849.
- Bye, L., Modi, N., & Stanford, M. (2013). *Basic sciences for ophthalmology*. Oxford: Oxford University Press.
- Centrālā statistikas pārvalde. (2018). 98 % mājsaimniecību ar bērniem pieejams internets. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/zinatne-ikt/datori-internets/meklet-tema/2410-iedzivotaju-interneta-lietosanas-paradumi> (Skatīts 10.11.2018.)
- Cheeseman, K. H., & Slater, T. F. (1993). An introduction to free radical biochemistry. *British Medical Bulletin*, 49(3), 481-493.
- Ciulla, T. A., Curran-Celantano, J., Cooper, D. A., Hammond, B. R., Danis, R. P., Pratt, L. M., Riccardi, K. A., Filloon, T. G. (2001). Macular pigment optical density in a midwestern sample. *Ophthalmology*, 108(4), 730-737.
- Ctori, I., & Huntjens, B. (2017). The association between foveal morphology and macular pigment spatial distribution: an ethnicity study. *Plos One*, 12(1), 1-13.
- Davey, P. G., Alvarez, S. D., & Lee, J. Y. (2016). Macular pigment optical density: repeatability, intereye correlation, and effect of ocular dominance. *Clinical Ophthalmology*(10), 1671-1677.
- Delori, F. C., & Pflibsen, K. P. (1989). Spectral reflectance of the human ocular fundus. *Applied Optics*, 28(6), 1061-1077.
- Delori, F. C. (2004). Autofluorescence method to measure macular pigment optical densities fluorometry and autofluorescence imaging. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 430(2), 156-162.
- Elektron Technology UK Ltd. (2013). *MPS II Manual*.
- Eurostat. (2017). *Being young in Europe today- digital world*. Pieejams: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Being\\_young\\_in\\_Europe\\_today\\_-\\_digital\\_world](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Being_young_in_Europe_today_-_digital_world) (Skatīts 10.11.2018)
- Exelmans, L., & Van den Bulck, J. (2016). Bedtime mobile phone use and sleep in adults. *Social Science & Medicine*, 148, 93-101.
- Fossum, I. N., Nordnes, L. T., Storemark, S. S., & Pallesen, S. (2013). The Association Between Use of Electronic Media in Bed Before Going to Sleep and Insomnia Symptoms, Daytime Sleepiness, Morningness, and Chronotype. *Behavioral Sleep Medicine*, 12(5), 343-357.

- GSMA. (2016). *Children's use of mobile phones- an international comparison 2015*. GSMA and the Mobile Society Research Institute within NTT DOCOMO, Inc. Japan.
- Haines, D. E. (2012). *Fundamental Neuroscience for Basic and Clinical Applications* (4 ed.). Philadelphia: Elsevier Health Sciences.
- Ham, W. T., Mueller, H. A., & Sliney, D. H. (1976). Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. *Nature*, 260(5547), 153-155.
- Hammond, B. R., & Avere, C. M. (2000). Macular pigment optical density in a southwestern sample. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41(6), 1492-1497.
- Hammond, B. R., Ciulla, T. A., & Snodderly, M. D. (2002). Macular pigment density is reduced in obese subjects. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43(1), 47-50.
- Hammond, B. R., Curran-Celentano, J., Judd, S., Fuld, K., Krinsky, N. I., Wooten, B. R., & Snodderly, M. D. (1996a). Sex differences in macular pigment optical density: relation to plasma carotenoid concentrations and dietary patterns. *Vision research*, 36(13), 2001-2012.
- Hammond, B. R., Fuld, K., & Snodderly, M. D. (1996b). Iris color and macular pigment optical density. *Experimental eye research*, 62(3), 293-297.
- Hammond, B. R., Johnson, E. J., Russell, M. R., & Krinsky, N. I. (1997). Dietary modification of human macular pigment density. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 38(9), 1795-1801.
- Hendrickson, A., Possin, D., Vajozovic, L., & Toth, C. A. (2012). Histologic development of the human fovea from midgestation to maturity. *American Journal of Ophthalmology*, 154(5), 767-778.
- Huynh, S. C., Wang, X. Y., Rochtchina, E., & Mitchell, P. (2006). Distribution of macular thickness by optical coherence tomography: findings from a population-based study of 6-year-old children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 47(6), 2351-2357.
- Iannaccone, A., Mura, M., Gallaher, K. T., Johnson, E. J., Todd, W. A., Kenyon, E., Harris, T. L., Harris, T., Satterfield, S., Johnson, K. C., Kritchevsky, S. B. (2007). Macular pigment optical density in the elderly: findings in a large biracial Midsouth population sample. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 48(4), 1458-1465.
- Janssen, I., Katzmarzyk, P. T., Boyce, W. F., Vereecken, C., Mulvihill, C., Roberts, C., Currie, C., Pickett, W., Group, H. B.-A. (2005). Comparison of overweight and obesity prevalence in school-aged youth from 34 countries and their relationships with physical activity and dietary patterns. *Obesity Reviews*, 6(2), 123-132.
- Ji, Y., Zhang, X., Wu, K., Su, Y., Zuo, C., Chen, H., Li, M., Wen, F. (2015). Macular pigment optical density in a healthy Chinese population. *Acta Ophthalmologica*, 93(7), 550-555.
- Johnson, E. J., Maras, J. E., Rasmussen, H. M., & Tucker, K. L. (2010). Intake of lutein and zeaxanthin differ with age, sex, and ethnicity. *Journal of the American dietetic association*, 110(9), 1357-1362.
- Jorge, C. L. P., Gonçalves Pereira, C. E., Jorge, E., & Pereira de Ávila, M. (2018). Macular pigment optical density in a Brazilian sample. *International journal of retina vitreous*, 4(4), 1-6.
- Junghans, A., Sies, H., & Stahl, W. (2001). Macular pigments lutein and zeaxanthin as blue light filters studied in liposomes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 391(2), 160-164.
- Kabali, H. K., Irigoyen, M. M., Nunez-Davis, R., Budacki, J. G., Mohanty, S. H., Leister, K. P., & Bonner, R. L. (2015). Exposure and use of mobile media devices by young children. *Pediatrics*, 136(6), 1044-1050.
- Karklina, H., Apinis, P., Klanina, L., Sauka, M., Mozgis, D., Krumina, D., & Knipse, G. (2011). Analysis of body composition of 9- and 10-year-old children in Latvia. *Medicina(Kaunas)*, 47(10), 573-578.
- Kaufman, P. L., & Alm, A. (2003). *Adler's physiology of the eye, clinical application*. Mosby.
- Khachik, F., Bernstein, P. S., & Garland, D. L. (1997). Identification of lutein and zeaxanthin oxidation products in human and monkey retinas. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 38(9), 1802-1811.
- Krūmiņa, D., Kokare, I., & Biķis, E. (2007). *Latvijas bērnu fiziskās attīstības novērtēšana*. Rīga: Medicīnas apgāds.
- Kuse, Y., Ogawa, K., Tsuruma, K., Shimazawa, M., & Hara, H. (2014). Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. *Scientific Reports*, 4(5223), 1-12.
- Landrum, J. T., Bone, R. A., Joa, H., Kilburn, M. D., Moore, L. L., & Sprague, K. E. (1997). A one year study of the macular pigment: the effect of 140 days of a lutein supplement. *Experimental Eye Research*, 65(1), 57-62.
- Landrum, J. T., Bone, R. A., Moore, L. L., & Gomez, C. M. (1999). Analysis of zeaxanthin distribution within individual human retinas. *Methods in Enzymology*, 299, 457-467.
- Leung, I. Y. (2008). Macular pigment: new clinical methods of detection and the role of carotenoids in age-related macular degeneration. *Optometry*, 79(5), 266-272.

- Mascheroni, G., & Ólafsson, K. (2016). The mobile internet: access, use, opportunities and divides among European children. *New Media & Society, 18*(8), 1657-1679.
- McCorkle, S., Raine, L., Hammond, B., Renzi-Hammond, L., Hillman, C., & Khan, N. (2015). Reliability of Heterochromatic Flicker Photometry in Measuring Macular Pigment Optical Density among Preadolescent Children. *Foods, 4*(4), 594–604.
- Mehreen, A., Sumbul, A., Kashif, M., & Mohammad, I. A. (2012). Macular thickness by age and gender in healthy eyes using spectral domain optical coherence tomography. *Plos One, 7*(5), 1-6.
- Moore, K. L., T, P. V., & Torchia, M. G. (2011). *The developing human* (9 ed.). Philadelphia: Elsevier Health Sciences.
- Munezawa, T., Kaneita, Y., Osaki, Y., Kanda, H., Minowa, M., Suzuki, K., Susumu, H., Junichiro, M., Ryuichiro, Y., Ohida, T. (2011). The association between use of mobile phones after lights out and sleep disturbances among Japanese adolescents: a nationwide cross-sectional survey. *Sleep, 34*(8), 1014-1020.
- Nolan, J. M., Kenny, R., O'Regan, C., Cronin, H., Loughman, J., Connolly, E. E., Kearney, P., Loane, E., Beatty, S. (2010). Macular Pigment Optical Density in an Ageing Irish Population: The Irish Longitudinal Study on Ageing. *Ophthalmic Research, 44*(2), 131-139.
- Nolan, J., O'Donovan, O., Kavanagh, K., Stack, J., & Harrison, M. (2004). Macular pigment and percentage of body fat. *Investigative Ophthalmology & Visual Science, 45*(11), 3940-3950.
- Neelam, K., Nolan, J., Loane, E., Stack, J., O'Donovan, O., Au Eong, K. G., & Beatty, S. (2006). Macular pigment and ocular biometry. *Vision Research, 46*(13), 2149-2156.
- Oka, Y., Suzuki, S., & Inoue, Y. (2008). Bedtime Activities, Sleep Environment, and Sleep/Wake Patterns of Japanese Elementary School Childre. *Behavioral Sleep Medicine, 6*(4), 220-233.
- O'Neill, M. E., Carroll, Y., Corridan, B., Olmedilla, B., Granado, F., Blanco, I., Van den Berg, H., Hininger, I., Rousell, A. M., Chopra, M., Southon, S., Thurnham, D. I. (2001). A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five-country comparative study. *British Journal of Nutrition, 85*(4), 499-507.
- Panovaa, G., Yakovlevab, M. A., Tatikolovb, A. S., Kononikhinb, A. S., Feldmanb, T. B., Poltavtsevad, R. A., Nikolaev, E. N., Sukhikh, G. T., Ostrovsky, M. A. (2017). Lutein and its oxidized forms in eye structures throughout prenatal human development. *Experimental Eye Research, 160*, 31-37.
- Parker, R. S. (1989). Carotenoids in Human Blood and Tissues. *The Journal of Nutrition, 119*(1), 101-104.
- Pease, P. L., Adams, A. J., & Nuccio, E. (1987). Optical density of human macular pigment. *Vision Research, 27*(5), 705-710.
- Perry, A., Rasmussen, H., & Johnson, E. J. (2009). Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products. *Journal of Food Composition and Analysis, 22*(1), 9-15.
- Pilmane, M., & Šūmahers, G. H. (2006). *Medicīniskā embrioloģija*. Rīga: Rīgas Stradiņa universitāte.
- Pipis, A., Toulidou, E., & Augustin, A. J. (2013). Macular pigment optical density in a central European population. *Ophthalmic Surgery, Lasers & Imaging Retina, 44*(3), 260-267.
- Provis, J. M., Van Driel, D., Billson, F. A., & Russell, P. (1985). Development of the human retina: Patterns of cell distribution and redistribution in the ganglion cell layer. *The Journal of Comparative Neurology, 233*(4), 429-451.
- Raman, R., Rajan, R., Biswas, S., Vaitheeswaran, K., & Sharma, T. (2011). Macular pigment optical density in a South Indian population. *Investigative Ophthalmology & Visual Science, 52*(11), 7910-7916.
- Remington, L. A. (2012). *Clinical anatomy and physiology of the visual system 3rd edition*. Oxford: Butterworth – Heinemann.
- Reynolds, J. D., & Olitsky, S. E. (2010). *Pediatric Retina*. Berlin: Springer Science & Business Media, 462-463.
- Robson, A. G., Harding, G., van Kuijk, F. J., Pauleikhoff, D., Holder, G. E., Bird, A. C., Fitzke, F. W., Moreland, J. D. (2005). Comparison of fundus autofluorescence and minimum-motion measurements of macular pigment distribution profiles derived from identical retinal areas. *Perception, 34*(8), 1029-1034.
- Ross, M. H., & Pawlina, W. (2011). *Histology a text and atlas* (6 ed.). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ryan, C. (2017). *Computer and internet use in the United States: 2016, American community survey reports*. Washington: U.S. Census Bureau.
- Saint, S. E., Renzi-Hammond, L. M., Khan, N. A., Hillman, C. H., Frick, J. E., & Hammond, B. R. (2018). The macular carotenoids are associated with cognitive function in preadolescent children. *Nutrients, 10*(193), 1-10.

- Schwartz, S. H. (2009). *Visual Perception a clinical orientation*. (4, Ed.) New York: McGraw Hill Professional.
- Seddon, J. M., Ajani, U. A., Sperduto, R. D., Hiller, R., Blair, N., Burton, T. C., Farber, M. D., Gragoudas, E. S., Haller, J., Will, W. (1994). Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. Eye disease case-control study group. *The Journal of the American Medical Association*, 272(18), 1413-1420.
- Snell, R. S., & Lemp, M. A. (2006). *Clinical anatomy of the eye* (2 ed.). Malden: BlackwellScience Ltd, a Blackwell publishing company.
- Sommerburg, O., Keunen, J., Bird, A., & van Kuijk, F. G. (1998). Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: the macular pigment in human eyes. *British Journal of Ophthalmology*, 82(8), 907-910.
- Song, W. K., Lee, S. C., Lee, E. S., Kim, C. Y., & Kim, S. S. (2010). Macular thickness variations with sex, age, and axial length in healthy subjects: a spectral domain-optical coherence tomography study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51(8), 3913-3918.
- Spooner, J. D. (1972). *Ocular anatomy*. London: Butterworth&CO.LTD.
- Stringham, J. M., O'Brien, K. J., & Stringham, N. T. (2016). Macular carotenoid supplementation improves disability glare performance and dynamics of photostress recovery. *Eye and Vision*, 3(30), 1-8.
- Tan, J. S., Wang, J. J., Flood, V., Rochtchina, E., Smith, W., & Mitchell, P. (2008). Dietary antioxidants and the long-term incidence of age-related macular degeneration: the Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology*, 115(2), 334-341.
- Tang, C. Y., Yip, H., Poon, M. Y., Yau, W. L., & Yap, M. K. (2004). Macular pigment optical density in young Chinese adults. *Ophthalmic and Physiologic Optics*, 24(6), 586-593.
- Tariq, Y. M., Li, H., Burlutsky, G., & Mitchell, P. (2011). Ethnic differences in macular thickness. *Clinical and Experimental Ophthalmology*, 39(9), 893-898.
- Trieschmann, M., van Kuijk, F. J., Alexander, R., Hermans, P., Luthert, P., Bird, A. C., & Pauleikhoff, D. (2008). Macular pigment in the human retina: histological evaluation of localization and distribution. *Eye*, 22(1), 132-137.
- Tudosescu, R., Alexandrescu, C. M., Istrate, S. L., Vrapciu, A. D., Ciuluvică, R. C., & Voinea, L. (2018). Correlations between internal and external ocular factors and macular pigment optical density. *Romanian Journal of Ophthalmology*, 62(1), 42-47.
- Van den Bulck, J. (2007). Adolescent Use of Mobile Phones for Calling and for Sending Text Messages After Lights Out: Results from a Prospective Cohort Study with a One-Year Follow-Up. *Sleep*, 30(9), 1220-1223.
- Velika, B., Grīnberga, D., Pudule, I., & Gavare, I. (2016). *Bērnu antropometrisko parametru un skolu vides pētījums Latvijā 2015./2016.māc.g.* Rīga: Slimību profilakses un kontroles centrs.
- Vishwanathan, R., Kuchan, M. J., Sarbattama, S., & Johnson, E. J. (2014). Lutein and preterm infants with decreased concentrations of brain carotenoids. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 59(5), 659-665.
- Zheng, W., Zhang, Z., Jiang, K., Zhu, J., He, G., & Ke, B. (2013). Macular pigment optical density and its relationship with refractive status and foveal thickness in chinese school-aged children. *Current Eye Research*, 38(1), 168-173.
- Zhou, H., Zhao, X., Johnson, E. J., Lim, A., & Sun, E. (2011). Serum carotenoids and risk of age-related macular degeneration in a Chinese population sample. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(7), 4338-4344.

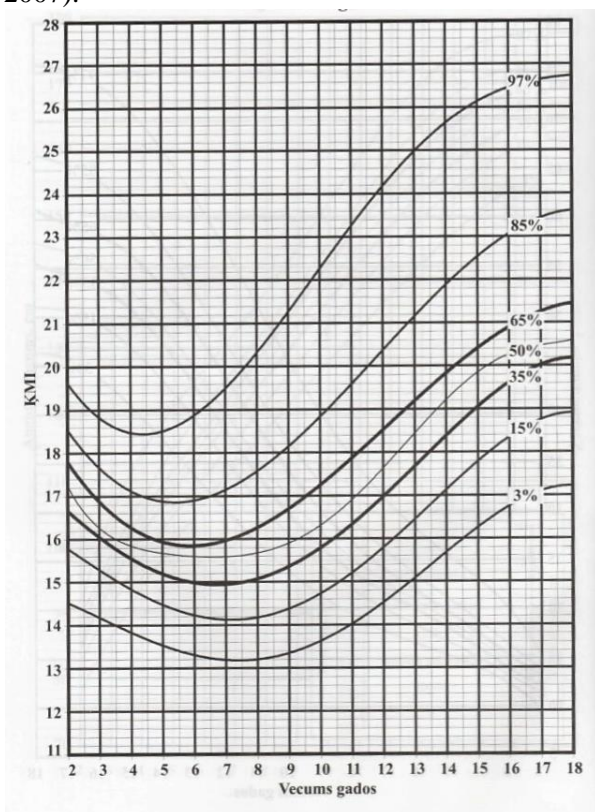
## 1. pielikums

Luteīna un zeaksantīna saturs produktos ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) (*Perry et.al.*, 2009).

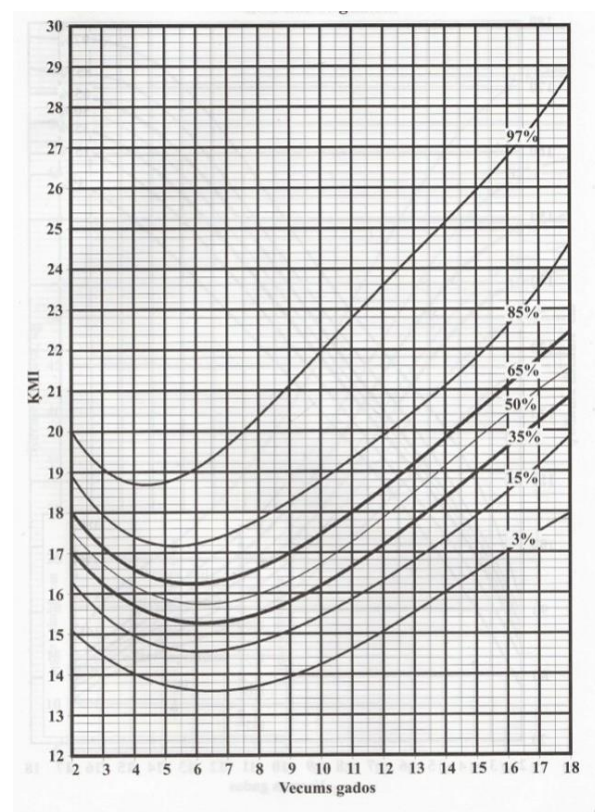
Produkti	Luteīns trans	Zeaksantīns trans	L/Z
Olas dzeltenums (cepts)	645	587	1,1
Olas dzeltenums (jēls)	787	762	1
Olas dzeltenums+baltums(cepts)	237	216	1,1
Olas dzeltenums+baltums(jēls)	288	279	1
Kukurūza(cepta)	202	202	1
Kivi	171	0	-
Cukīni(cepti bez mizas)	1355	0	-
Spināti(svaigi)	6603	0	-
Spināti(cepti)	12640	0	-
Oranžā paprika	208	1665	0,1
Vasaras ķirbis(cepts)	150	0	-
Gurķis	361	0	-
Zaļā paprika	173	0	-
Sarkanās vīnogas	24	4	6
Sviesta ķirbis(cepts)	57	0	-
Apelsīnu sula	33	26	1,3
Medus melone	25	0	-
Zaļās vīnogas	53	6	8,8
Briseles kāposti(cepti)	155	0	-
Sīpolloki(cepti)	0	2488	0
Sīpolloki(svaigi)	782	0	-
Zaļās pupiņas(ceptas)	306	0	-
Brokoļi(cepti)	772	0	-
Āboli (sarkani, ar mizu)	15	0	-
Mango	6	0	-
Persiki(konservēti)	0	8	-
Persiki(svaigi)	11	3	3,7
Dzeltenā paprika	139	18	7,7
Nektarīni	8	4	2
Sarkanā paprika	0	22	0
Tomāti	32	0	-
Kaltētas aprikozes	0	0	-
Lapu kāposti(cepti)	8884	0	-
Ledus salāti	171	12	14,3
Romiešu salāti	3824	0	-
Olīvas(zaļās)	79	0	-
Pētersīļi	4326	0	-

## 2. pielikums

Meiteņu (A) un zēnu (B) procentiņu ķermeņa masas indeksa (KMI) karte no 2 līdz 18 gadiem (Krūmiņa *et al.*, 2007).



**A**



**B**

## Figūru un krāsu uztvere bērniem

Megija Bambāne<sup>1</sup>, Jurgis Šķilters<sup>2</sup>, Baingio Pinna<sup>3</sup> un Gunta Krūmiņa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

<sup>2</sup>Latvijas Universitāte, Datorikas fakultāte,  
Uztveres un kognitīvo sistēmu laboratorija, Rīga, Latvija

<sup>3</sup>University of Sassari, Sassari, Itālija

megija.bambane1@gmail.com

### Anotācija

*Ievads.* Pētījums (Pinna & Deiana, 2015) par figūras un krāsas atveidi bērniem 6-13 gadu vecumā parādīja, ka 90% bērnu paņēma melnu krītiņu, uzzīmēja melnu kvadrāta kontūru un tikai pēc tam to aizkrāsoja ar nosaukto krāsu. Pinna & Deiana (2015) apgalvo, ka apmēram 13 gadi ir tas vecums, kad forma un krāsa, kā atšķirīgas objekta īpašības, netiek uztvertas secīgā kārtībā, bet tiek uztvertas kā veselums. Pētījums tika veikts itāļu valodā, kur īpašības vārds ir otrajā vietā un lietvārds ir pirmajā vietā (*quadrato giallo*). Sadarbībā ar prof. B.Pinna šis pētījums tika veikts Latvijā, mēģinot saprast, vai kultūra, vai valoda, vai bērnu zīmēšanas mācīšanas metode ietekmē formas un krāsas atveidi. Pinna & Deiana (2015) secina, ka lai uztvertu objekta krāsu, nav nepieciešams pilns (*full-filled*) un perfekts krāsojums iekšpus objekta, bērni uztver amodālu krāsojumu. Pētījuma mērķis bija izpētīt valodas un vecuma ietekmi krāsas un formas uztverē latviešu un krievu valodā runājošiem bērniem.

*Metode.* Pētījumā piedalījās 251 bērns – 136 meitenes un 115 zēni, vecumā no 4 līdz 10 gadiem. Uzdevuma instrukcija bērniem tika dota viņa dzimtajā valodā. Ja bērnam bija briļļu korekcija, pētījumu veica ar redzes korekciju. Pētījums tika sadalīts divās daļās. Pētījumā Nr. 1 piedalījās 157 dalībnieki. Pētījumu Nr. 2 veica visi dalībnieki. Pētījumā Nr.1 bērnam tika iedota balta A5 formāta papīra lapa un seši vaska krītiņi (zils, zaļš, melns, dzeltens, sarkans un brūns), un uzdevums bija “Uzzīmē zilu trijstūri”, “Uzzīmē sarkanu kvadrātu”, “Uzzīmē dzeltenu apli”. Katram dalībniekam secība tika mainīta. Pētījumā Nr.2 tika iedota A5 formāta papīra lapa ar uzdrukātām un dažādi aizkrāsotām trijstūra figūrām. Bērniem tika iedots pelēks zīmulis un uzdevums: “Tu redzi dažādus trijstūrus, apvelc visus zilos trijstūrus”. Katram dalībniekam tika dots dažāds aizkrāsoto trijstūru izvietojumus.

*Rezultāti.* Bērni galvenokārt uzzīmēja figūras kontūru attiecīgi nosauktajā krāsā (84 %), retāk uzzīmējot figūras kontūru to iekrāsoja attiecīgi nosauktajā krāsā (14 %), un tikai divi dalībnieki no visiem (1 %) no trim figūrām uzzīmēja iekrāsotu apli, bet pārējām figūrām tikai kontūru. Savukārt divi dalībnieki (1 %) izmantoja pelēku zīmuli, lai uzzīmētu figūras kontūru un tad iekrāsoja. Abi dalībnieki mācās mākslas skolā. Pētījumā noskaidrojām, ka valodai nav ietekme uz uzdevuma izpildi. Pētījumā Nr. 1 ( $p > 0,05$ ) – latviešu un krievu valodā runājošie bērni atveidoja līdzīgi doto uzdevumu. Pētījumā Nr. 1 22 bērniem (14 %) trijstūra uzzīmēšana sagādāja problēmas – 69 % bērnu četru gadu vecumā un 8 % bērnu piecu gadu vecumā neizšķīra ģeometrisko figūru – trijstūri. Pētījumā Nr. 2 visvairāk (97 %) apvilka trijstūri, kuram bija zila kontūra un kurš bija pilnīgi iekrāsots. Otrs biežāk apvilktais (89 %) bija trijstūris, kuram bija melna kontūra un kurš bija pilnīgi iekrāsots. Trijstūris, kurš bija daļēji iekrāsots zils, arī tika uztverts un atzīmēts kā zils trijstūris (amodāls krāsojums).

*Secinājumi.* Atveidojot uzdevumā minēto krāsu un formu, lielākā daļa bērnu zīmēja tikai attiecīgās krāsas figūras kontūru. Priekšstats un ģeometrisku figūru identificēšanas spējas būtiski uzlabojas 6 gadu vecumā. Jo jaunāks ir bērns, jo lielāka ir amodāla krāsojuma uztvere. Redzot šos datus varam secināt, ka Latvijā dzīvojošiem bērniem krāsaino elementu atveidē liela ietekme ir no pedagoga puses.

### Atslēgas vārdi:

Elementu krāsas uztvere, modāls, amodāls, kontūra, figūra



## Ievads

Tikai pēc 9 gadiem bērni spēj apvienot 2 īpašības, tas ir, formu un krāsu vienā veselumā (Pinna, 2011a). To apstiprina arī Pinna & Deiana (2015) pētījums, kur tiek minēts, ka 13 gadi ir tas vecums, kad forma un krāsa, kā atšķirīgas objekta īpašības, netiek uztvertas secīgā kārtībā, bet tiek uztvertas kā veselums. Tas var nozīmēt, ka krāsas un formas uztveres organizācija attīstās ar gadiem.

Bērni iepazīstas ar ģeometriskām figūrām un sāk veidot priekšstatu par formu jau agrā bērnībā pirms sāk iet skolā. Tas notiek saskarē ar rotaļlietām, bērnu spēlēm, viedām ierīcēm, grāmatām, puzzle. Hannibal (1999) pētījumā neviens sešgadnieks nebija pareizi kategorizējis visas formas attiecīgi prasītai formai, tas nozīmē, ka viņu jēdzieni par formu stabilizējas, bet nav pilnīgi precīzi. Clements & Sarama (2000) secina, ka bērni viskorektāk identificē aplus, tālāk seko kvadrāti. Gaods jauni bērni kļūdījās identificējot trijstūrus. Bērnu priekšstats par formu stabilizējas sešu gadu vecumā, bet šis priekšstats nav 100 % pareizs (Clements & Sarama, 2000). Satlow & Newcombe (1998) secināja, ka būtiska uzlabošanās bērnu ģeometriskajā priekšstatā parādās pēc 5 gadiem.

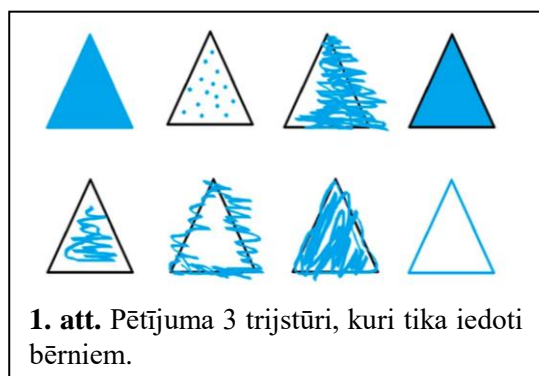
Attēla krāsojumu un formu var uztvert modāli un amodāli. Forma ir pabeigta amodāli, kad daļa no objekta ir noslēpta, par spīti kāda cita objekta noslēgšanai priekšā. Pinna (2008) saka, ka amodāla pabeigšana (*completion*) ir visbiežākā vizuālās pabeigšanas forma, vārds amodāls nozīmē to, ka neskatoties uz to, ka novērotāji neredz pilnīgi aizpildītu objekta krāsu (*full-filled*), viņiem ir spilgta un dzīva uztvere par krāsas vienotību un pabeigšanu. Pinna (2011a) pēta, ka citi amodāla krāsojuma piemēri var būt novēroti bērnu zīmējumos, kur krāsa līdz galam neaizpilda pilnīgi un perfekti visu formu, amodāls krāsojums parādās spontāni. Pinna & Deiana (2015) secina, ka lai uztvertu objekta krāsu, nav nepieciešams pilns (*full-filled*) un perfekts krāsojums iekšpus objekta, bērni spēj uztvert amodālu krāsojumu.

Mūsu pētījuma mērķis bija izpētīt valodas un vecuma ietekmi krāsas un formas uztverē latviešu un krievu valodā runājošiem bērniem.

## Metode

Pētījumā piedalījās 251 bērns: 136 meitenes un 115 zēni, vecumā no 4 līdz 10 gadiem. Katram bērnam bija zināma dzimšanas diena un vecums tika aprēķināts uz uzdevuma izpildes dienu. Uzdevuma instrukcija bērniem tika dota viņa dzimtajā valodā. Ja bērnam bija briļļu korekcija, pētījumu veica ar korekciju. Pētījums tika sadalīts divās daļās. Pētījumā Nr. 1 piedalījās 157 dalībnieki. Pētījumu Nr. 2 veica visi dalībnieki.

Bērniem tika novērtēta tuvuma redze. Jaunākiem bērniem (4-5 gadi) ar redzes asuma tabulu tika novērtēts, lai redzes asums binokulāri būtu vismaz 0,25 decimālās vienības, vecākiem bērniem (5-12 gadi) būtu vismaz 0,50 decimālās vienības, lai izslēgtu vājredzīgus bērnus un pārliecinātos, ka bērns redz uzdevumā iedotos stimulus.



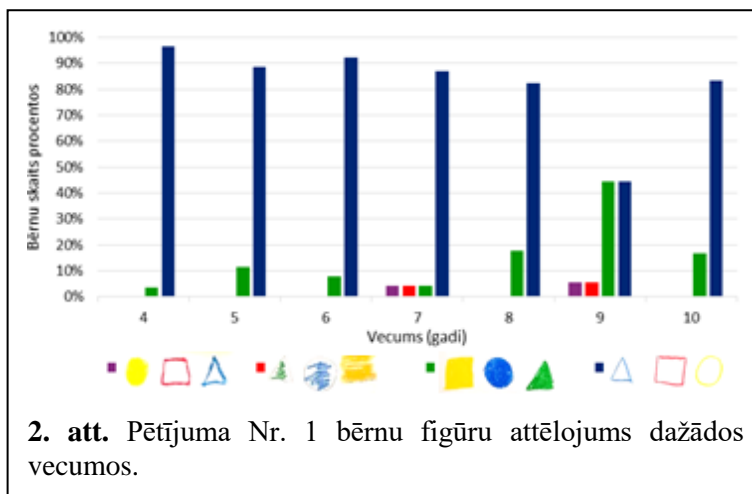
Pētījumā Nr. 1 bērnam tika iedota balta A5 formāta papīra lapa un seši vaska krītiņi (zils, zaļš, melns, dzeltens, sarkans un brūns) un uzdevums bija “Uzzīmē zilu trijstūri”, “Uzzīmē sarkanu kvadrātu”, “Uzzīmē dzeltenu apli”. Katram dalībniekam secība tika mainīta. Pētījumā Nr. 2 tika iedota A5 formāta papīra lapa ar sagatavotām izdrukātām un dažādi aizkrāsotām trijstūra figūrām (skat. 1. att.). Bērniem tika iedots pelēks zīmulis un uzdevums: “Tu redzi dažādus trijstūrus, apvelc visus zilos trijstūrus”. Katram dalībniekam tika dots dažāds aizkrāsoto trijstūru izvietojums.

## Rezultāti un to analīze

Pētījumā Nr.1 bērni galvenokārt uzzīmēja figūras kontūru attiecīgi nosauktajā krāsā (84 %), retāk uzzīmējot figūras kontūru to iekrāsoja attiecīgi nosauktajā krāsā (14 %), un tikai divi dalībnieki no visiem (1 %) no trim figūrām uzzīmēja iekrāsotu apli, bet pārējām figūrām tikai kontūru. Savukārt

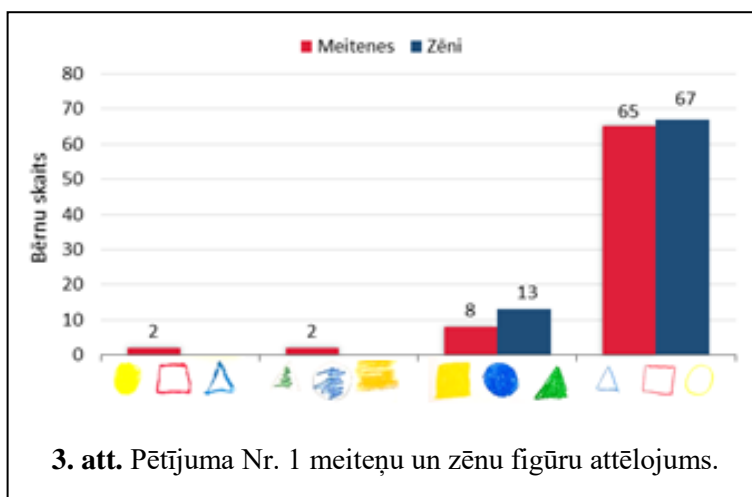


divi dalībnieki (1 %) izmantoja pelēku zīmuli, lai uzzīmētu figūras kontūru un tad iekrāsoja. Abi dalībnieki mācās mākslas skolā. Pētījumā noskaidrojām, ka valodai nav ietekme uz uzdevuma izpildi. Pētījumā Nr. 1 ( $p > 0,05$ ) – latviešu un krievu valodā runājošie bērni atveidoja līdzīgi doto uzdevumu. Bērnu uzzīmēto figūru sadalījums dažādos vecumos ir attēlots 2. attēlā, kur var redzēt, ka deviņgadīgie bērni biežāk zīmē gan figūras kontūru, gan iekrāso to.



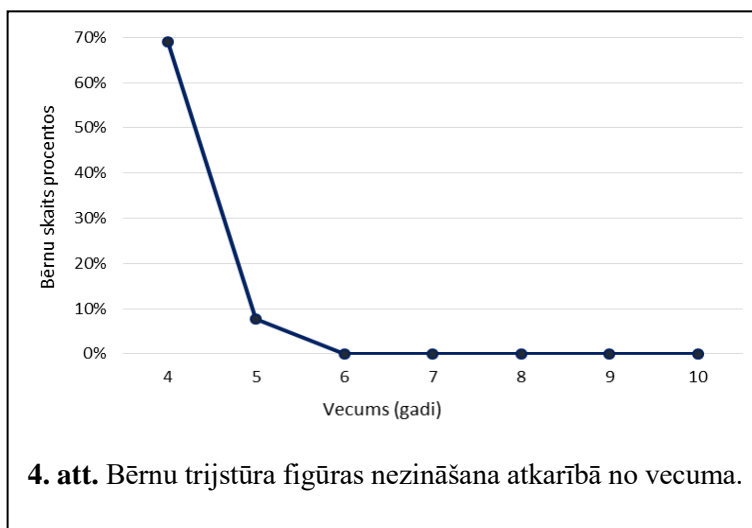
2. att. Pētījuma Nr. 1 bērnu figūru attēlojums dažādos vecumos.

13 zēni (16 %) un 8 meitenes (10 %) uzzīmēja gan kontūru, gan figūru iekrāsoja. 84 % zēnu un meiteņu uzzīmēja tikai figūras kontūru (skat. 3. att.). Pielietojot *Mann-Whitney* testu, starp zēnu un meiteņu uzzīmētiem figūru variantiem nav pierādāma statistiski nozīmīga atšķirība ( $p > 0,05$ ).



3. att. Pētījuma Nr. 1 meiteņu un zēnu figūru attēlojums.

Pētījumā Nr. 1 22 bērniem (14 %) trijstūra uzzīmēšana sagādāja problēmas. Vecumā no 4 līdz 5 gadiem no 18 meitenēm 11 (61 %) un no 11 zēniem 9 (82 %) nezināja ģeometrisko figūru – trijstūri. Vecumā no 5 līdz 6 gadiem no 10 meitenēm 1 (10 %) un no 16 zēniem 1 (6 %) nezināja ģeometrisko figūru – trijstūri. Bērni ļoti maz izšķir trijstūra figūru vecumā no 4 līdz 5 gadiem. Tendence prast uzzīmēt trijstūri sāk parādīties ap 5-6 gadiem (skat. 4. att.).



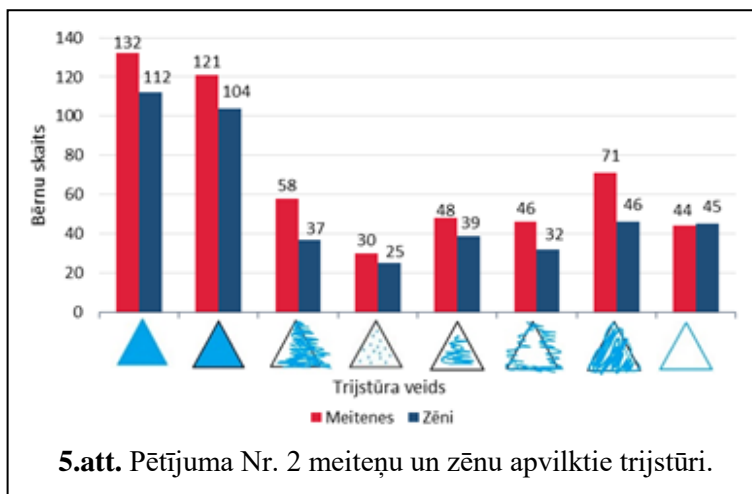
4. att. Bērnu trijstūra figūras nezināšana atkarībā no vecuma.

Pētījumā Nr. 2 visvairāk (97 %) apvilka trijstūri, kuram bija zila kontūra un kurš bija pilnīgi iekrāsots. Otrs biežāk apvilktais (89 %) bija trijstūris, kuram bija melna kontūra un kurš bija pilnīgi iekrāsots. Pētījuma Nr. 2 rezultāti pierāda, ka bērni uztver amodālu formas pabeigšanu un amodālu krāsojumu. Trijstūris, kurš nav iekrāsots pilnīgi zils (*full-filled*) arī tiek uztverts kā zils trijstūris (amodāls krāsojums). Pat ja krāsojums ir pāri trijstūra robežām, bērni saprot, ka ir dots trijstūris, neskatoties uz to, ka robežas vai daļa no tām ir aizkrāsotas. Te parādās amodāla formas pabeigšana.

Starp zēnu un meiteņu Pētījuma Nr. 2 apvilkti trijstūriem, izmantojot *Mann-Whitney* testu, nav statistiski nozīmīgas atšķirības ( $p > 0,05$ ). Gan zēniem, gan meitenēm biežāk apvilktais trijstūris ir pilnīgi iekrāsots un ar zilu kontūru un retāk apvilktais trijstūris ar melnu kontūru un ziliem punktiņiem (skat. 5. att.).

Veicot Anova testu, ieguvām sakarību, kas parāda vecuma un atzīmēto trijstūru skaitam saistību ( $p < 0,0001$ ). Tā kā vidējās vērtības pakāpeniski samazinās, tad var apgalvot, jo bērnam vairāk gadu, jo mazāk trijstūru viņš atzīmēs un viņam ir izteiktāka modāla krāsojuma uztvere. Vecāki bērni sāk domāt par figūras krāsas aizpildījuma nozīmi (skat. 6. att.).

Pētījumā Nr. 1, kur bērna uzdevums bija atveidot “krāsas figūru”, 134 bērni (87 %) uzzīmēja tikai trijstūra kontūru attiecīgi prasītā krāsā. Pētījumā Nr. 2, kur bērna uzdevums bija apvilkt visus zilos trijstūrus, 90 bērni no 134 (67 %) neatzīmēja trijstūri ar zilu kontūru. Tas nozīmē, ka bērns uzzīmē zilu trijstūri tikai ar zilu kontūru un pats to noraida kā zilu trijstūri. Ir redzama saistība starp bērna vecumu no 6 līdz 10 gadiem un uzzīmēto trijstūri ar zilu kontūru, bet neatzīmētu šo trijstūri kā zilu. Jo jaunāks bērns, jo lielākas pretrunas ir starp uzzīmēto un uztveramo/atpazīstamo trijstūri. Ar gadiem šī tendence samazinās, bērns spēj saistīt uzzīmēto trijstūri ar iedoto (skat. 7. att.).



5.att. Pētījuma Nr. 2 meiteņu un zēnu apvilktie trijstūri.

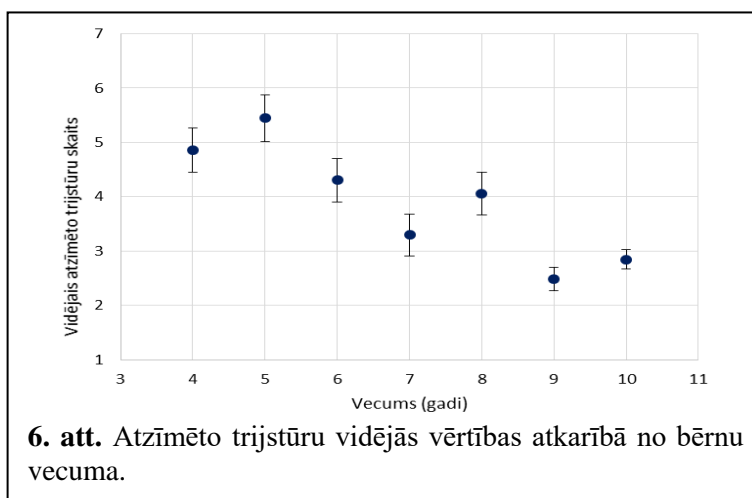
## Diskusija

Pinna & Deiana (2015) pētījumā 20 bērniem 6-13 gadu vecumā uzdevumā “uzzīmē dzeltenu kvadrātu” rezultāti parādīja, ka bērni (90 %) vispirms iedomājas formu un uzzīmē melnu kvadrāta kontūru un tikai tad viņi vizualizē dzeltenu krāsu, paņem dzeltenu krītiņu un iekrāso kvadrātu dzeltenā krāsā. 3% izmantoja tumši zilu vai tumši zaļu krītiņu, lai uzzīmētu kvadrāta kontūru pirms iekrāsojot to dzeltenā krāsā. Tikai dzeltens perimetrs un kvadrāts pilnīgi dzeltens Pinna & Deiana (2015) biežāk parādījās palielinoties bērna vecumam un dominēja 13 gadu veciem bērniem.

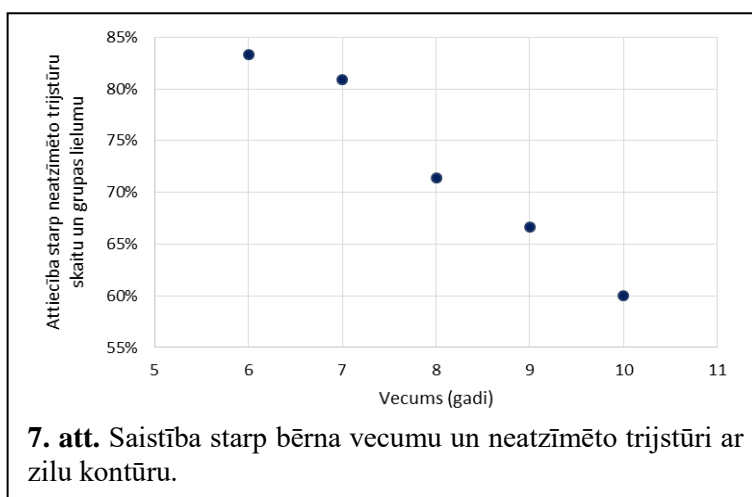
Lai pārlicinātos par rezultātiem Pinna & Deiana (2015) tika paņemta jauna 20 bērnu grupa 6-13 gadiem un dots uzdevums: “uzzīmē kvadrātu pilnīgi dzeltenu”. Vārds “pilnīgi” tika ieviests ar domu, lai mudināt/radīt/izraisīt dzeltenu kvadrāta robežas krāsu. Rezultāti nozīmīgi neatšķīrās no iepriekšējiem, bērni izvēlējās melnu krītiņu, uzzīmēja kvadrātu un tad ar dzeltenu iekrāsoja to kārtīgāk. Citai bērnu grupai deva uzdevumu “uzzīmē trijstūri pildītu ar zilu” (filled). Rezultāti bija tādi paši.

Mūsu pētījumā tā neizdarīja neviens no dalībniekiem. Viens no

bērniem 6-13 gadu vecumā uzdevumā “uzzīmē dzeltenu



6. att. Atzīmēto trijstūru vidējās vērtības atkarībā no bērnu vecuma.



7. att. Saistība starp bērna vecumu un neatzīmēto trijstūri ar zilu kontūru.

skaidrojumiem varētu būt, ka itāļu valodā vārdu salikums ir otrādi, lietvārds ir pirmajā vietā un īpašības vārds otrajā (itāļu valodā – *quadrato giallo*, latviešu valodā – dzeltens kvadrāts). Kā otrs skaidrojums varētu būt mācīšanas efekts, tā kā māca bērnudārzā vai skolā, vai vecāki. Sarunā ar dažiem Latvijas skolotājiem secinājām, ka Latvijā bērniem sākumā formu un tad liek aizkrāsot pildījumu un to visu veic ar vienu krāsu.

Clements & Sarama (2000), Hannibal (1999) un Satlow & Newcombe (1998) pierāda, ka būtiska uzlabošanās bērnu spējās identificēt ģeometriskās figūras parādās pēc piecu gadu vecuma. Līdz šim vecumam bērniem ir problēmas ar trijstūru izšķiršanu. Literatūrā minētais apstiprina mūsu pētījumā iegūtos rezultātus par spēju identificēt figūras. Bērni vecumā no 4 līdz 5 gadiem (69 %) neizšķīra trijstūri no citām ģeometriskām figūrām, vecumā no 5 līdz 6 gadiem tendence samazinājās (8 %), un vecumā no 6 līdz 7 gadiem visi bērni zināja visas trīs pētījumā pielietotās ģeometriskās figūras – apli, trijstūri un kvadrātu.

15 bērniem vecumā no 6 līdz 7 gadiem tika iedoti četri dažādi bērnu zīmēti sarkani kvadrāti (melna kontūra un iešvīkāts sarkans krāsojums) un uzdots jautājums: “kas tas ir?”. 90 % atbildēja: “sarkans kvadrāts”. Viņi uztvēra kvadrātus, neskatoties uz to, ka tie nav regulāri kvadrāti. Viņi arī uztvēra, ka kvadrāti ir sarkani, neskatoties uz to, ka daži balti reģioni kvadrāta iekšpusē bija lielāki nekā sarkanais krāsojums. Balti laukumi iekšpus un ārpus figūras netiek uztverti ne kā krāsa, ne kā fons, tie tiek pilnīgi ignorēti (Pinna & Deiana, 2015). Pētījuma Nr. 2 iegūtie rezultāti apstiprina ierpiekš minēto, bērni uztver amodālu krāsojumu. Jo jaunāks ir bērns, jo vairāk trijstūrus tas atzīmē. Jaunāki bērni nepievērš uzmanību perfektam/pilnīgam trijstūra aizpildījumam un perfektai trijstūra formai. Tas pierāda vecuma saistību ar krāsas un formas amodālo uztveri.

## Secinājumi

Atveidojot uzdevumā minēto krāsu un formu, lielākā daļa bērnu (84 %) zīmēja tikai attiecīgās krāsas figūras kontūru; 14 % bērnu figūru iekrāsoja ar to pašu krāsu ar kādu atveidoja kontūru. 40 % bērnu vecumā no 4 līdz 5 gadiem nespēj atveidot trijstūri kā ģeometrisku figūru. Priekšstats un ģeometrisku figūru identificēšanas spējas būtiski uzlabojas 6 gadu vecumā. Pastāv saistība starp bērnu vecumu un vidēji atzīmēto trijstūru skaitu ( $p < 0,0001$ ). Jo jaunāks ir bērns, jo lielāka ir amodāla krāsojuma uztvere. Redzot šos datus varam secināt, ka Latvijā dzīvojošiem bērniem krāsaino elementu atveidē liela ietekme ir no pedagoga puses.

Lai attīstītu šo pētījumu, var izveidot jaunu pētījuma dizainu, tas ir, piemēram, Pētījuma Nr. 1 uzdevuma vietā prasīt: “uzzīmē trijstūri pilnīgi zilu” vai “uzzīmē trijstūri, kurš ir pilnīgi zils”. Var iedod apgriezto uzdevumu: “uzzīmē trijstūri sarkanu”. Pētījumā Nr. 2 var paņemt dalībnieku grupu, kuri pirms tam neveica nekādu uzdevumu. Pētījumā Nr. 2 varētu izveidot vairākus dažādu trijstūru stimulus. Var dod trijstūru stimulus pa vienam.

## Pateicības

Pētījums tapis ar LU Bāzes un Snieguma finansējuma, LU Fonda un SIA “Mikrotīkls” projekta Nr. 2184 atbalstu (Megija Bambāne un Gunta Krūmņa).

## Literatūra

- Clements, D. H., & Sarama, J. (2000). Young children's ideas about geometric shapes. *Teaching Children Mathematics*, 6(8), 482-488.
- Clements, D. H., & Sarama, J. (2000). The earliest geometry. *Teaching Children Mathematics*, 7(2), 82-86.
- Hannibal, M. A. (1999). Young children's developing understanding of geometric shapes. *Teaching Children Mathematics*, 5(6), 353-357.
- Pinna, B., & Deiana, K. (2015). The syntax organization of shape and color and the laws of coloration in vision, art and biology. *Art & Perception*, 3(3), 319-345.
- Pinna, B. (2008). A new perceptual problem: The amodal completion of color. *Visual Neuroscience*, 25(3), 415-422.
- Pinna, B. (2011a). The organization of shape and color in vision and art. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5(104), 1-12.

Satlow, E. & Newcombe, N. (1998). When is a triangle not a triangle? Young children's developing concepts of geometric shape. *Cognitive Development*, 13(4), 547-559.

# Skata virziena parametri neviennozīmīgu ģeometrisku figūru analīzē

Linda Krauze<sup>1</sup>, Ilze Ceple<sup>1</sup>, Jurgis Šķilters<sup>2</sup> un Gunta Krūmiņa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

<sup>2</sup>Latvijas Universitāte, Datorikas fakultāte, Uztveres un kognitīvo sistēmu laboratorija,  
Rīga, Latvija

lindakrauze@inbox.lv

## Anotācija

*Ievads.* Mūsu redzes sistēmā atsevišķi elementi tiek apvienoti lielākās grupās vai objektos, ko nodrošina vizuālās informācijas grupēšanas un – ar to saistītie formas piešķiršanas, figūras un fona segmentācijas – procesi. Pinna (2010a, 2015) ir demonstrējis, ka vizuālās informācijas grupēšana spēj ietekmēt arī objekta formas uztveri un to ir viegli mainīt izmantot papildus elementu novietojumu. Lai gan grupēšanas ietekme uz objekta formas uztveri ir apskatīta dažādos pētījumos (Wagemans, et al., 2012; Peterson & Salvagio, 2010), to saistība ar skata virziena parametriem līdz šim nav izpētīta. Šajā pētījumā papildus Pinnas (2010a, 2015) izveidotajiem stimuliem tika iekļauts un izvērtēts vai attālums ietekmē formas uztveri vizuālās informācijas grupēšanas uzdevumos, mainot papildus elementa attālumu no objekta, kā arī ar acu kustību pieraksta palīdzību izvērtēti skata virziena parametri vizuālās informācijas grupēšanas uzdevumos.

*Metode.* Pētījumā piedalījās 21 dalībnieks vecumā no 21 līdz 42 gadiem. Skata virziena parametru ieguvei tika izmantots videookulogrāfs IViewX RED500 (SMI-SensoMotoric Instruments, Vācija). Dalībniekiem tika demonstrēti 8 stimuli – kvadrāts, rombs un rombs ar papildus elementu pie tā virsotnes vai malas 3 dažādās pozīcijās. 1. daļā dalībnieki apskatīja tikai 1 stimulu, 2. daļā – visus stimulus, bet 3. daļā dalībnieki sniedza atbildes par demonstrētā objekta formu – vai stimulus tiek uztverts kā kvadrāts vai kā rombs, savukārt 4. daļā dalībnieki sniedza atbildi, demonstrējot stimulus uz papīra.

*Rezultāti.* Papildus elementa novietojums un attālums no romba virsotnes vai malas neparāda būtisku ietekmi uz dalībnieku formas uztveri. Papildus elementam atrodoties tālāk no romba, skata virziens tika sadalīts starp abiem demonstrētajiem objektiem. Izvērtējot reakcijas laiku objekta formas piešķiršanai, netika novērota būtiska reakcijas laika izmaiņa atkarībā no stimula veida. Apskatot skata virziena parametru izmaiņas laikā, būtiskas izmaiņas netika novērotas, tomēr demonstrācijas otrajā sekundē dalībniekiem bija lielāka tendence aplūkot papildus elementu, bet pārējā laikā skata virziena sadalījums starp objektu un papildus elementu bija sadalīts līdzvērtīgi.

*Secinājumi.* Reakcijas laiks objekta formas noteikšanai nav atkarīgs no stimulu veida. Nav pierādāmas būtiskas objekta formas uztveres atšķirības atkarībā no papildus elementa novietojuma un attāluma līdz objektam. Palielinoties attālumam starp diviem elementiem, skata virziens un tiešā uzmanība tiek sadalīta starp abiem elementiem. Tas norāda, ka dalībnieki, papildus elementam atrodoties tālāk no objekta, uztver elementus atsevišķi un negrupē tos kopā. Skata virziena parametri netiek būtiski izmainīti stimulu apskates laikā.

## Atslēgas vārdi:

Vizuālā grupēšana, skata virziena analīze, formas uztvere, acu kustības.

## Literatūras pārskats

Mūsu redzes sistēmā notiek nepārtraukta apkārtējās vides uztvere. Jautājumus, kāpēc mēs redzam apkārtējo vidi tieši tā kā redzam, kas nosaka vizuālās informācijas apstrādi un kā notiek objektu un to formu uztvere un analīze, apskatījuši daudzi pētnieki, piemēram, Bandžio Pinna (Pinna, 2010a,

2015) un Johans Vagemans (*Wagemans, et al., 2012*). Šie un citi pētījumi ir demonstrējuši, ka, balstoties uz vizuālās informācijas grupēšanas principiem, redzes uztverē atsevišķi elementi tiek sagrupēti lielākās grupās jeb objektos. Vizuālās informācijas grupēšanas pamatprincipus jau pagājušā gadsimta sākumā izstrādāja tādi pētnieki kā Vērtheimers (*M. Wertheimer*), Kofka (*K. Koffka*) un Kēlers (*W. Köhler*) (*Brooks, 2015*). Viņu izstrādātā redzes uztveres teorija (Geštalteorijas Berlīnes skola) balstīts uz fiziskā lauka teorijas analogiju, kas norāda uz to, ka uztvere ir vairāk nekā atsevišķu elementu summa un šī dinamiskā fiziskā sistēma tiecas uz minimālas enerģijas līdzsvara stāvokli.

Geštalta vizuālās informācijas grupēšanas principi sniedz būtiskas norādes par to, pēc kādām elementu īpašībām notiek to apvienošana objektos:

- Grupēšana pēc objektu novietojuma parāda, ka elementiem, atrodoties tuvāk viens otram, tos ir tendence apvienot elementu grupās, bet, palielinoties attālumam starp elementiem, šī tendence samazinās un tie tiek uztverti kā atsevišķi elementi (*Todorovic, 2008*).
- Grupēšana pēc objektu līdzības. Elementi, kuriem ir kopīgas īpašības, piemēram, krāsa, forma, izmērs vai virziens, tiek grupēti kopā. Atsevišķu elementu līdzības iezīmes var būt ļoti daudz, bet daudzas no šīm līdzības iezīmēm nav sistēmiski izpētītas (*Brooks, 2015*).
- Grupēšana pēc objekta turpinātības. Šis princips paredz, ka līdzīgi elementi tiek sagrupēti, pat ja tie šķērso vairākus apgabalus, taču veido loģisku turpinājumu (*Graham, 2008*). Piemēram, ja viena līnija krusto otru, tad uztverē tiek meklēts ticamākais konkrētās līnijas turpinājums.
- Grupēšana pēc objekta apvienojuma ir tendence elementus, kas atrodas tuvu, bet nav savienoti, satuvināt redzes uztverē un izveidot noteiktas, jau zināmākas formas (*Graham, 2008*).
- Grupēšana pēc vienota kustības virziena norāda, ka elementus, kuriem kustības vektori ir paralēli, vienādi lieli un vērsti vienā virzienā, ir tendence grupēt kopā.
- Grupēšana pēc objektu simetrijas.
- Paralēlisma princips nosaka, ka kontūras ir iespējams grupēt arī, ja tās ir savstarpēji paralēlas, bet tomēr šāds efekts nav tik "spēcīgs" kā simetrijas princips (*Brooks, 2015*).

Šie ir galvenie un biežāk apskatītie vizuālās informācijas grupēšanas principi. Arvien tiek izstrādāti jauni grupēšanas principi, piemēram, grupēšana pēc kopīga reģiona, vispārēja kopīgā virziena, sinhronitātes, regularitātes un elementu saistības principa.

Visi grupēšanas principi ir būtiski arī objekta formas noteikšanā un to nozīmes piešķiršanā. Tomēr, lai notiktu objektu formas piešķiršana, viens no svarīgākajiem procesiem ir figūras-fona nošķiršana. Šis process nosaka, ka elementi, kuri sagrupēti kopā uztveres un vizuālās informācijas grupēšanas ietvaros, tiek uztverti kā figūra ar noteiktu formu, kamēr apkārtējie elementi, kuriem netiek pievērsta uzmanība, tiek uztverti kā fons (*Todorovic, 2008*).

Pinna (2010a, 2015) pētīja, kā vizuālās informācijas grupēšana ietekmē figūru uztveri. Viņš dalībniekiem demonstrēja 45 grādos rotētu četrstūri ar papildus elementu (apli) pie tā stūra vai malas. Pētījums demonstrēja, ka četrstūra forma tiek uztverta nedaudz izstiepta tajā virzienā, kur novietots papildus elements. Tas nozīmē, ka papildus elementam atrodoties pie objekta stūra, tas tiek uztverts kā rombs, bet, gadījumā, kad aplis ir novietots pie rotētā četrstūra malas, figūra tiek uztverta kā kvadrāts. Pinna izvirzīja hipotēzi, ka grupēšana var ietekmēt formas uztveri un otrādi, caur virziena organizāciju, ko var uzskatīt par formas veidošanas pamatprincipu. Pētījumā izvirzītā hipotēze tika apstiprināta, un iegūtie rezultāti demonstrēja, ka vizuālās informācijas grupēšana ietekmē formas uztveri. Kā arī formas uztveri ir viegli izmainīt, izmainot papildus elementa atrašanās pozīciju (Pinna, 2010a, 2015).

Lai izvērtētu un analizētu, kā tiek uztverti objekti un to forma, būtiska nozīme ir ne tikai figūras-fona atdalīšanai un vizuālās informācijas grupēšanai, bet arī skata virzienam un acu kustībām, jo tās parāda, kur tiek vērsta tiešā uzmanība, apskatot objektu un nosakot tā formu. Grupēšana, fona un objekta atdalīšana, kā arī skata virziens un uzmanības procesi ir cieši saistīti un būtiski faktori apkārtējās vides uztverē un objektu atpazīšanā, tāpēc šī pētījuma mērķis izvērtēt skata virziena parametrus vizuālās informācijas grupēšanas uzdevumos, lai izvērtētu cik lielā mērā notiek minēto faktoru mijiedarbība.

## Metodika

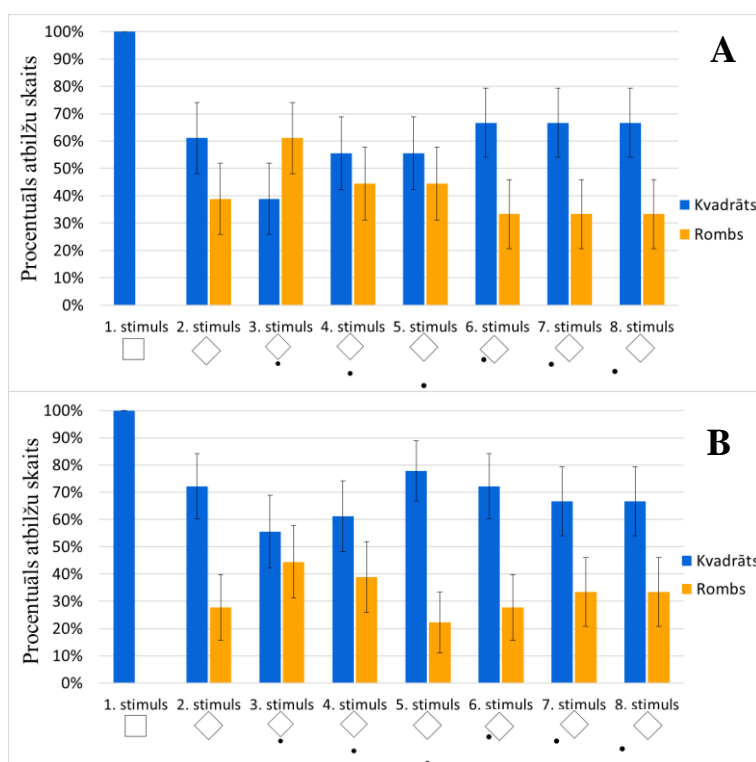
Acu kustību parametri tika iegūti izmantojot videokulogrāfu IViewX RED500 (*SMI-SensoMotoric Instruments, Vācija*), kas ir neinvazīva acu kustību pieraksta iekārta un sniedz datus par skata virzienu uz datora ekrāna. Pētījumā piedalījās 21 dalībnieks vecumā no 21 līdz 42 gadiem ar redzes asumu vismaz 0,8 tuvumā bez korekcijas. Visi dalībnieki pētījumā piedalījās bez redzes korekcijas un bez iepriekšējām zināšanām par pētījuma mērķi un demonstrētajiem stimuliem.

Pētījumā izmantoti līdzīgi stimuli, kādus savos pētījumos izmantoja Pinna (2010a, 2015). Kopā tika izveidoti un demonstrēti 8 stimuli: kvadrāts, 45 grādos rotēts četrstūris bez papildus elementa un ar papildus elementu – bumbiņu pie virsotnes vai malas 3 dažādās pozīcijās. Kvadrāta un 45 grādos rotēta četrstūra izmērs ir 5 grādi, līnijas biezums 0,1 grāds. Bumbiņas izmērs ir 0,9 grādi. Bumbiņa 1. pozīcijā atrodas 0,4 grādu attālumā no kvadrāta, 2. pozīcijā – 2,1 grādu attālumā un 3. pozīcijā – 3,9 grādu attālumā no kvadrāta. Stimuli tika demonstrēti uz  $47,1 \times 29,5$  cm izmēra Dell monitora 65 cm attālumā.

Pētījums notika 4 daļās. Pirmajā daļā uz datora ekrāna tika demonstrēts tikai viens stimul: rotēts četrstūris bez papildus elementa vai ar papildus elementu pie tā virsotnes vai malas 1. pozīcijā. Otrajā daļā uz datora ekrāna tika demonstrēti visi 8 stimuli jauktā secībā. Savukārt 3. un 4. daļā dalībnieki sniedza atbildes par demonstrētā objekta formu – vai stimul tiek uztverts kā kvadrāts vai kā rombs, attiecīgi demonstrējot stimulus uz datora ekrāna un papīra formātā.

## Rezultāti un to analīze

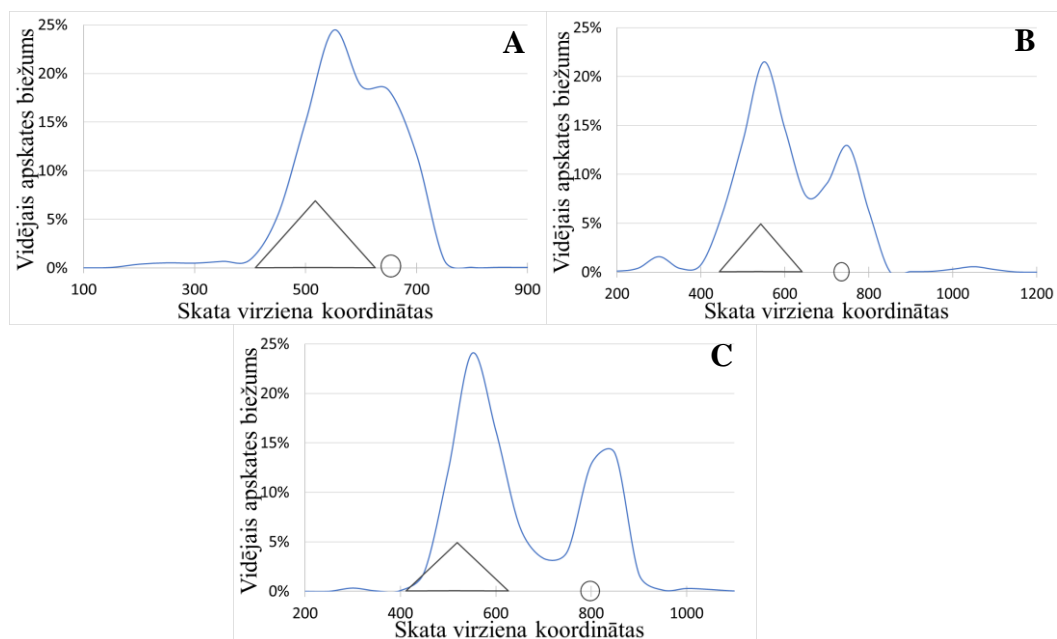
1. attēlā apkopotas dalībnieku sniegtās atbildes par stimula formas uztveri, demonstrējot stimulus gan uz datora ekrāna (A), gan papīra formātā (B).



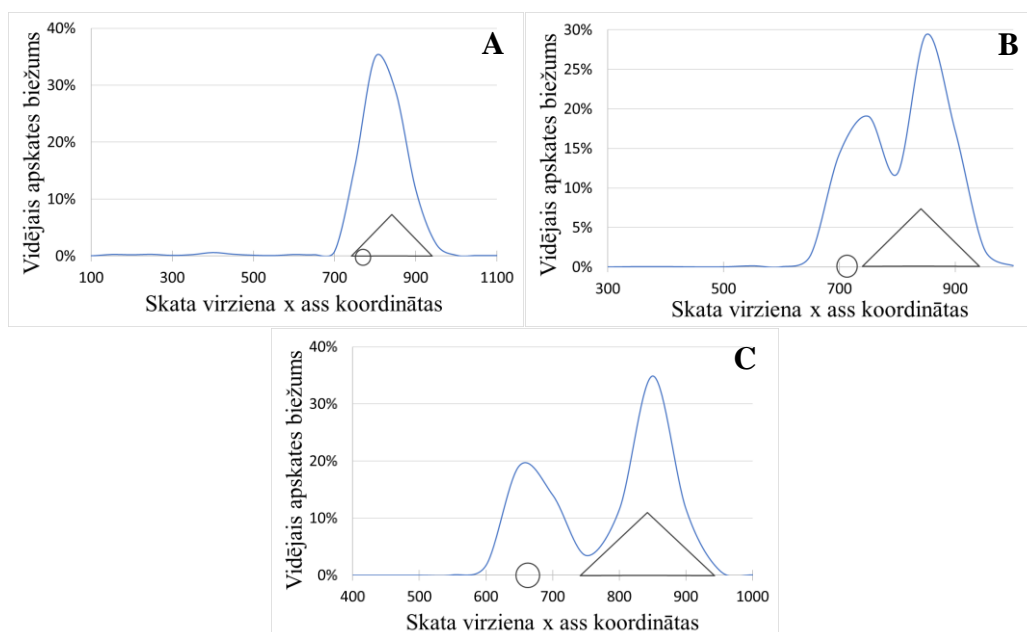
1. att. Procentuāls dalībnieku sniegto atbilžu skaits, demonstrējot stimulus uz datora monitora (A) un demonstrējot stimulus uz papīra (B).

Iegūtie rezultāti parāda, ka 100 % viennozīmīga formas uztvere ir tikai kvadrātam. Rotētais četrstūris bez papildus elementa biežāk tiek uztverts kā kvadrāts un, demonstrējot to papīra formātā, stimula kvadrāta formas uztvere pieaug. Rezultāti objektam ar papildus elementu pie virsotnes 3 dažādās pozīcijās parāda, ka papildus elementam atrodoties tuvāk virsotnei, tas biežāk tiek uztverts kā rombs nekā gadījumā, kad papildus elements atrodas tālāk no virsotnes. Šie rezultāti apstiprina

sagaidāmo grupēšanas ietekmi uz formas uztveri, ka tuvumā novietots objekts visspēcīgāk veicina grupēšanas procesu un formas uztveres atkarību no grupēšanas. Savukārt papildus elementam atrodoties pie rotēta četrstūra malas tas tiek vairākumā gadījumu uztverts kā kvadrāts un papildus elementa attālums šajā gadījumā neietekmē stimula formas uztveri.



**2. att.** Stimulu vidējais apskates biežums, ņemot vērā y ass koordinātas rotētam četrstūrim ar papildus elementu pie virsotnes 3 dažādās pozīcijās (A, B, C).



**3. att.** Stimulu vidējais apskates biežums, ņemot vērā y ass koordinātas rotētam četrstūrim ar papildus elementu pie malas 3 dažādās pozīcijās (A, B, C).

Salīdzinot iegūtos formas uztveres rezultātus ar literatūras avotos minētajiem, var ievērot, ka iegūtie rezultāti nav tik viennozīmīgi, kādus tos bija ieguvis Pinna (2015), jo rezultāti viennozīmīgi neparāda, ka objekts ar papildus elementu pie tā virsotnes tiek uztverts kā rombs, bet objekts ar papildus elementu pie tā malas – kā kvadrāts, kā to bija ieguvis Pinna savos pētījumos. Statistiski analizējot formas uztveres atbildes, netika iegūtas statistiski būtiskas atšķirības starp atbildēm



atkarībā no papildus elementa novietojuma un attāluma līdz objektam, kā arī nebija būtiskas atšķirības starp sniegtajām formas uztveres atbildēm stimulus demonstrējot uz datora ekrāna vai papīra formātā.

Pētījuma pirmajā un otrajā daļā tika iegūts un izvērtēts skata virziena sadalījums attiecībā pret objektu un papildus elementu. Tā kā būtiski bija izvērtēt, kā skata virziena parametri sadalās starp objektu un papildus elementu, tad tika ņemtas vērā tikai y ass skata virziena koordinātas. Skata virziena parametru sadalījuma biežums uz y ass tika analizēts 50 px intervālos (skat. 2. un 3. att.).

Iegūtie skata virziena sadalījuma grafiki demonstrē, ka novērojama tendence skata virzienam sadalīties starp objektu un papildus elementu, kas izteiktāk novērojams bumbiņai attālinoties no rotēta četrstūra. Tas norāda, ka uzmanība tiek sadalīta starp šiem elementiem un tie netiek grupēti kopā, bet uztverti kā atsevišķi elementi.

Pētījumā arī tika analizēts vai mainās reakcijas laiks formas uztveres noteikšanai atkarībā no papildus elementa novietojuma un attāluma, tomēr rezultātu analīze parādīja, ka stimulu veids būtiski neietekmē dalībnieku sniegto atbilžu reakcijas laiku ( $F(7,13) = 1,69$ ,  $p = 0,117$ ). Papildus izvērtējot skata virziena izmaiņas 1000 ms laika intervālos, netika atrastas būtiskas skata virziena izmaiņas. Katrā stimula demonstrācijas laika intervālā skata virziens tika sadalīts starp objektu un papildus elementu, tomēr bija novērojama tendence demonstrācijas 1000-2000 ms intervālā uzmanībai vairāk pievērsties papildus elementa atrašanās vietai.

## Pateicības

Pētījums izstrādāts ar LU Bāzes un Snieguma projektu, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 atbalstu (Linda Krauze, Ilze Ceple, Gunta Krūmiņa).

## Literatūra

- Brooks, J.L. (2015). *Traditional and new principles of perceptual grouping*. Oxford Handbook of Perceptual Organization. Oxford University Press.
- Graham, L. (2008). Gestalt Theory in Interactive Media Design. *Journal of Humanities & Social Sciences*, 2(1), 1–11.
- Pinna, B. (2010). New Gestalt principles of perceptual organization: An extension from grouping to shape and meaning. *Gestalt Theory*, 32(1), 11–78.
- Pinna, B. (2015). Directional organization and shape formation: new illusions and Helmholtz's Square. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(92), 1-12.
- Todorovic, D. (2008). Gestalt principles. *Scholarpedia*, 3(12), 5345. <http://dx.doi.org/10.4249/scholarpedia.5345>
- Wagemans, J., Elder, J.H., Kubovy, M., Palmer, S. E., Peterson, M. A., Singh, M., & von der Heydt, R. (2012). A century of Gestalt psychology in visual perception I. Perceptual grouping and figure-ground organization. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 138(6), 1172-1217.

# Fizioloģisko, vides faktoru un ārstēšanas ietekme uz acs struktūru un asaru kvalitātes izmaiņām

Evita Kassaliete, Inese Bērziņa, Kristīme Dumberga, Linda Eglīte, Egija Kliemetē, Anete Petrova  
un Gunta Krūmiņa

*Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija*

evita.kassaliete@lu.lv

## Ievads

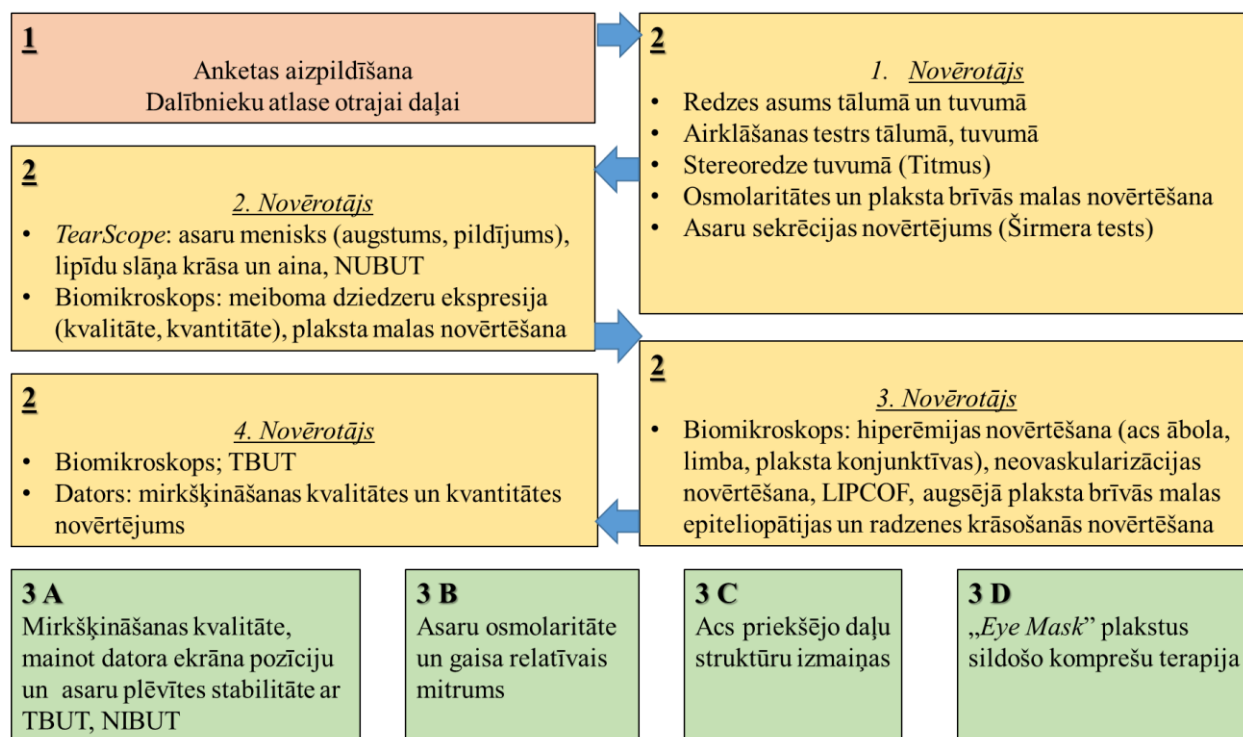
Pareizi iekārtota darba vide, kā arī pareizs darba režīms, ir ļoti būtiski faktori, kas spēj ietekmēt cilvēka acs priekšējās virsmas struktūras, it īpaši asaru plēvīti. Asaru plēvīte ir trīs slāņu struktūra, kas sastāv no lipīdu, ūdens un mucīna slāņa. Asaru plēvīte (biezums 3-12 μm) mitrina un aizsargā radzeni no izžūšanas (to nodrošina bāzes sekrēcija), aizsargā (to nodrošina reflektorā sekrēcija), pārklāj radzenes virsmu un padara to optiski kvalitatīvāku, realizē aizsardzību pret infekcijas slimībām, apgādā radzeni ar skābekli un barības vielām, piedalās radzenes epitēlija reģenerācijā un aizvada radzenes atmirušās šūnas, kā arī samazina berzi starp plakstu un konjunktīvu.

Vairāki faktori ietekmē asaru homeostāzi. Var minēt bioloģiskos faktorus kā vecums un dzimums un pacienta hormonālās izmaiņas. Medikamentu lietošanas atstāj ietekmi uz asaru homeostāzi. Būtiskākie medikamenti ir antihistamīna preparāti, diurētiskie līdzekļi, beta blokatori, hormonu aizstājterapija, pretapaugļošanās hormonālie līdzekļi, tricikliskie antidepresanti un konservanti, kas atrodas lokālajos ārstēšanas līdzekļos un kontaktlēcu kopšanas līdzekļos. Kā ietekmējošus faktorus var minēt arī ķīmijterapiju, LASIK ķirurģiju un plakstu plastisko ķirurģiju. Izmaiņas uz asaru sistēmu var atstāt arī cilvēka paradumi un dzīvesveids, tādi kā specifisku diētu ievērošana, patērētā ūdens daudzums, miega trūkums, kontaktlēcu lietošana. Ilgstoša datora un viedierīču lietošana, virs 4-6 stundām dienā, 29 % uzrāda simptomātiku uz SAS (*Portello et al, 2012*). Jāatceras, ka būtiski ir tādi ārējie jeb vides faktori, kā ilglaicīga uzturēšanās telpās ar pazeminātu gaisa mitrumu, kas zemāks par 30 % RH (*Wolkoff, 2008*), kā arī paaugstināta temperatūra (*Purslow & Wolffsohn, 2007*), piesmēķēta un putekļaina vide (*Wolkoff, 2017*), pakļaujoties gaisa spiediena izmaiņām (piem., lidmašīnā), kā arī uzturēšanās telpās ar kondicionētu gaisu būtiski ietekmē asaru slāņa homeostāzi.

Visi šie minētie faktori var radīt sūdzības – smilšu sajūtu un graušanu acīs, dedzināšanu, acu asarošanu, acu sāpju sajūtu, ātru acu nogurumu, fotofobiju, kas var rezultēties redzes kvalitātes traucējumos, acu diskomfortā un acu apsārtumā. Visi šie simptomi ir raksturīgi sausās acs sindromam. Sausās acs konsorcijs (*DEWS, 2007*) definēja šo saslimšanu sekojoši: “Sausās acs sindroms ir multifaktoriāla saslimšana, kas rada redzes diskomfortu un ir novērojami simptomi – redzes traucējumi un asaru plēvītes nestabilitāte ar iespējamu acs priekšējās virsmas bojājumu. Tai pievienojas paaugstināta asaras plēvītes osmolaritāte un acs virsmas iekaisums”.

Redzes ergonomikas projekta pētījuma galvenais mērķis bija noskaidrot, kā dažādi ārējie faktori ietekmē acs priekšējās virsmas struktūras. Pētījums norisinājās Latvijas Universitātes Dabas mājas darbinieku vidū, kuri ilgstoši pavada laiku pie datora ekrāna un atrodas līdzīgos vides apstākļos. Pētījums sastāvēja no diviem posmiem – (1) aptaujas un (2) acs priekšējās virsmas struktūru izmeklēšanas. Pētījuma shēma ir attēlota 1. attēlā.

Pirmajā posmā notika pētījuma dalībnieku atlase ar anketēšanas palīdzību. No tālākās dalības pētījumā tika izslēgti dalībnieki, kuri lietoja kontaktlēcas biežāk nekā brilles, smēķēja un kuriem bija kāda vispārēja saslimšana (diabēts, vairogdziedzera funkcijas traucējumi, artrīts, Šegrēna sindroms), ja tika lietoti medikamenti, kuriem ir ietekme uz acs priekšējās virsmas struktūrām. Visi iepriekš uzskaitītie faktori ir SAS (sausās acs sindroma) riska faktori. Ja kāds no dalībniekiem anketā bija pozitīvi atbildējis uz kādu no jautājumiem, kas bija saistīti ar riska faktoriem, šie dalībnieki tika izslēgti, lai iespējami samazinātu citu faktoru ietekmi uz asaru plēvītes stabilitāti. Tas ir būtiski, jo SAS pazīmes un acs simptomātika ilglaicīgas datora lietošanas rezultātā ir līdzīgas.



1. att. Redzes ergonomikas pētījuma shēma.

Otrajā posmā notika atlasīto pētījuma dalībnieku acs priekšējās virsmas novērtēšana, kuru veica četri novērtētāji. Katram novērtētājam bija jānovērtē konkrētas acs priekšējās virsmas struktūras. Pēc anatomisko struktūru klīniskām gradācijas skalām tika novērtēta acs ābola un limba hiperēmija, LIPCOF (*lid-parallel conjunctival folds* – plaksta malai paralēlās krokas), radzenes krāsošanās, meibomu dziedzeru disfunkcija, asaru meniska augstums, kā arī plaksta malas apsārtums. Asaru plēvītes stabilitātes mērījumi tika veikti ar invazīvo (TBUT) un neinvazīvo (NIBUT) asaru plīšanas laiku. Asaru apjoms tika noteikts ar Širmera testu, ka arī tika pielietota objektīvākā SAS noteikšanas metode – asaru osmolaritātes novērtēšana. Veiktie mērījumi tika reģistrēti vienotā protokolā. Pētījuma sākumā dalībnieki aizpildīja arī OSDI (*Ocular Surface Disease Index*©) anketu.

Redzes ergonomikas pētījuma pirmajā posmā piedalījās 125 dalībnieki (49 vīrieši un 76 sievietes). Dalībniekiem bija jāaizpilda divas anketas. Pirmā anketa sastāvēja no deviņiem jautājumiem un tās uzdevums bija ievākt pamatdatus par dalībnieku un noskaidrot, vai dalībnieku apmierina darba vide un vai dalībnieks ir kontaktlēcu lietotājs, kā arī citi jautājumi, kas saistīti ar vispārējo veselību un ikdienu. Šo anketu izstrādāja redzes ergonomikas projekta pētījuma autori, vadoties pēc *Portello et al.* (2012) izstrādātā pētījuma. Otrā anketa bija *McMonnies* SAS izvērtēšanas anketa (*McMonnies*, 2010).

No aptaujātajiem respondentiem uz pētījuma otro posmu tika uzaicināti piedalīties 97 respondenti, kas atbilda augstāk aprakstītajiem kritērijiem, un, no kuriem savu daļu pētījumā apstiprināja 54 respondenti – 35 sievietes un 19 vīrieši. OSDI (*Ocular Surface Disease Index*©) novērtēšanas anketu no 55 dalībniekiem aizpildīja tikai 42 otrā posma dalībnieki, jo pētījuma sākšanās brīdī OSDI (*Ocular Surface Disease Index*©) anketa vēl nebija sagatavota.

Trešajā posmā tika izvirzīti sekojoši uzdevumi:

1. noteikt mirkšķināšanas kvalitāti un kvantitāti, mainot datora ekrāna pozīciju un noteikt asaru plēvītes stabilitātes ar TBUT un NIBUT (n = 44 un n = 11);
2. nomērīt asaru osmolaritāti pie atšķirīgiem gaisa mitruma stāvokļiem (pie 14 % RH un virs 24 % RH) (n = 21);
3. novērtēt acs priekšējo daļu struktūru izmaiņas pie atšķirīgiem gaisa mitruma stāvokļiem (pie 14 % RH un virs 24 % RH) (n = 39);

4. pielietot „Eye Mask” plakstus sildošo komprešu terapiju un novērtēt tās efektivitāti uz meiboma dziedzeru sekrēta kvalitāti, kvantitāti un lipīdu slāņa biezumu (n = 16).

Turpinājumā, secīgi veiktu četru pētījumu problemātika, metodika un rezultātu apkopojums.

## **Literatūra**

- DEWS (2007). 2007 Report of the international dry eye workShop (DEWS). *Ocular Surface*, 5(2), 64-204.
- McMonnies, C.W. (2010). Blinking mechanisms. *In Encyclopedia of the Eye*, 202-208.
- Portello, J.K., Rosenfield, M., Bababekova, Y., Estrada, J.M., & Leon, A. (2012). Computer-related visual symptoms in office workers. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 32(5), 375-382.
- Purslow, C., & Wolffsohn, J. (2007). The relation between physical properties of the anterior eye and ocular surface temperature. *Optometry and Vision Science*, 84(3), 197-201.
- Wolkoff, P. (2017). External eye symptoms in indoor environments. *Indoor Air*, 27(2), 246-260.
- Wolkoff, P. (2008). “Healthy” eye in office-like environments. *Environment International*, 34(8), 1204-1214.

# Mirkšķināšanas ietekme uz asaru plēvītes stabilitāti

Inese Bērziņa, Anete Petrova, Evita Kassaliete un Gunta Krūmiņa  
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
inese.loc@fizmati.lv

## Anotācija

Darba mērķis: izvērtēt asaru plēvītes stabilitāti un mirkšķināšanas kvalitāti un kvantitāti datora lietotājiem.

Metode: Tika aptaujāti Latvijas Universitātes Dabaszinātņu Akadēmiskā centra darbinieki, no kuriem tika atlasīta grupa mirkšķināšanas un asaru plēvītes stabilitātes novērtēšanai.

Rezultāti: Vidējais dalībnieku TBUT testa rezultāts pirms lasīšanas uzdevuma bija 7,5 s, bet pēc 5,7 s. NIBUT testa rezultāts pirms lasīšanas uzdevuma bija 10,2 s, bet pēc 7,4 s. Mirkšķināšanu skaits lasīšanas laikā bija vidēji 7 reizes/min. Pirms lasīšanas mirkšķināšanu skaits ir 20 reizes/min. Lasīšanas laikā šis skaits samazinās.

Secinājumi: Lasīšanas laikā samazinās mirkšķināšanu skaits, kā arī asaru plēvītes stabilitāte.

## Atslēgas vārdi:

TBUT, NIBUT, mirkšķināšana, asaru plēvīte

## Literatūras pārskats

Asaru plēvīte ir neatņemama acs priekšējās virsmas sastāvdaļa, kas pārklāj radzeni un acs ābola konjunktīvu, un atjaunojas uz acs priekšējās virsmas pēc katras mirkšķināšanas reizes (Braun et al., 2017; Tiffany, 2008). Asaru plēvīte pamatā nodrošina optisko funkciju un acs priekšējās virsmas mitrināšanu un barošanu. Papildus asaras nodrošina acs priekšējo virsmu ar imūno un mehānisko aizsardzību (Holland et al., 2013). Mirkšķināšana ir īslaicīga acs spraugas aizvēršana, ko nodrošina gredzenveida muskulis pie plakstu aizvēršanās un augšējā plaksta cēlējmuskulis pie plakstu atvēršanās. Vidējais pabeigtas/pilnīgas mirkšķināšanas laiks ir aptuveni 0,25 s, vidējais biežums – 10 līdz 22 mirkšķināšanas reizes minūtē (McMonnies, 2010).

Pēc kvalitātes mirkšķināšanas var iedalīt (McMonnies, 2010; Abelson & Holly, 1977):

- 1) pabeigta mirkšķināšana (*complete blinking*) – abu acu augšējie un apakšējie plakstiņi mirkšķināšanas rezultātā saskaras, un asaru plēvīte uz acs priekšējās virsmas tiek pilnvērtīgi atjaunota;
- 2) nepabeigta mirkšķināšana (*incomplete blinking*) – abu acu augšējie un apakšējie plakstiņi mirkšķināšanas rezultātā nesaskaras, pārklājot mazāk nekā divas trešdaļas radzenes, kā rezultātā asaru plēvīte netiek pilnvērtīgi atjaunota, un var rasties sausās acs sindroma simptomātika.

Telpās strādājošie cilvēki, kuru pamatdarbs ir saistīts ar ilgstošu datora izmantošanu, bieži saskaras ar tādiem simptomiem kā acu nogurums, diskomforta un sausuma sajūta acīs (Wolkoff et al., 2005; Reijula & Sundman-Digert, 2004; Portello et al., 2012). Ilgstošs darbs pie datora samazina kopējo mirkšķināšanu skaitu (Schlote et al., 2004; Patel et al., 1991; Telford & Thompson, 1933) un palielina nepilnīgi veikto mirkšķināšanu skaitu (Portello et al., 2013; Hirota et al., 2013; Himebaugh et al., 2009; Cardona et al. 2011; Chu et al., 2014; Argilés et al., 2015), bet pilnvērtīgi veikta mirkšķināšana ir vienīgais dabīgais process, kas atjauno asaru plēvīti (McMonnies, 2010).

Svarīgs ir arī datora novietojums uz galda, jo, ja tā augšējā mala atrodas cilvēka acu augstumā vai augstāk, tad ir atsegt lielāks acs priekšējās virsmas laukums, kas paātrina asaru plēvītes iztvaikošanu, bet, ja dators atrodas nedaudz zemāk nekā cilvēka acis, tad lielākā daļa acs priekšējās virsmas laukuma ir nosegt ar plakstiņu, kas asaru plēvītes iztvaikošanu aizkavē (Nielsen et al., 2008).

Šī pētījuma mērķis bija asaru plēvītes stabilitātes novērtēšana pirms un pēc darba ar datoru, kā arī tiks noteikts, vai pastāv sakarības starp asaru plēvītes stabilitātes rādītājiem un mirkšķināšanas kvalitātes un kvantitātes rādītājiem.

## Metodika

Pētījums tika izstrādāts Latvijas Universitātes Dabaszinātņu Akadēmiskā centra (LU DAC) Dabas mājas 427. laboratorijā Jelgavas ielā 1 laikā periodā no 2018. gada janvāra līdz maijam un tajā piedalījās LU DAC Dabas mājas darbinieki, kuri pamatā savu darba laiku pavada pie datora ekrāna, un studenti. Kopumā pētījuma piedalījās 44 dalībnieki.

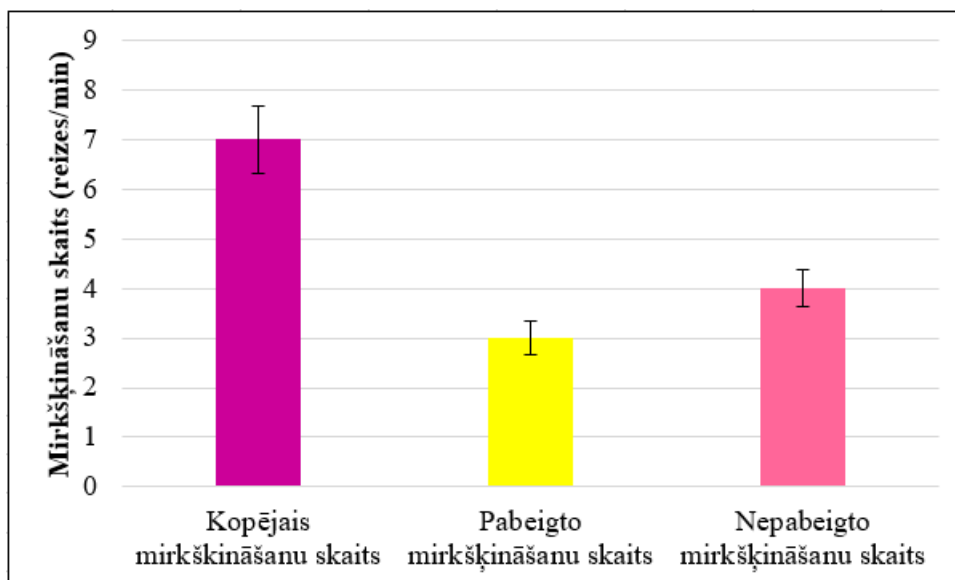
Mirkšķināšanas novērtēšana aparatūra sastāvēja no portatīvā datora un videokameras, kas tika novietota datora monitora augšējās malas centrā. Datora ekrāna izmērs bija 35 x 20 cm, un tas tika novietots uz 50 x 50 cm liela galda. Datora atvērums leņķis teksta lasīšanas brīdī bija 108 grādi, bet attālums no pētījuma dalībnieka acu augstuma līdz datora ekrāna centram bija 50 cm, kas visu laiku tika saglabāts konstants. Mirkšķināšana tikai ierakstīta ar videokameru, kas tika novietota uz portatīvā datora ekrāna augšējās malas. Lai izvairītos no voluntārās mirkšķināšanas, dalībniekiem tika teikts, ka tiks ierakstītas lasīšanas acu kustības. Mērījums tika veikts vienu reizi. Pēc mērījuma veikšanas, video faili tika izanalizēti, tos palēninot *VLC media player* programmā un saskaitot līdz galam pabeigtās un nepabeigtās mirkšķināšanas.

11 dalībniekiem tika novērtēts pabeigtu un nepabeigtu mirkšķināšanu daudzums, ja dators atradās augstā, vidējā un zemā pozīcijā, ka arī asaru plēvītes stabilitāte pirms un pēc lasīšanas uzdevuma. Tika arī novērtēts, vai pabeigtu un nepabeigtu mirkšķināšanu daudzums mainās, ja tiek lasīts teksts, kura burtu leņķiskais izmērs bija 0,22 grādi un 0,11 grādi.

Asaru plēvītes stabilitāte tika novērtēta ar TBUT asaru plēvītes plīšanas laika noteikšanas metodi un NIBUT neinvazīvo asaru plēvītes plīšanas laika novērtēšanas metodi divas reizes – pirms mirkšķināšanas novērtēšanas, gan pēc mirkšķināšanas novērtēšanas. Pētījuma dalībniekiem ar nātrija fluoresceīna strīpu tika nokrāsota asaru plēvīte, samitrinot nātrija fluoresceīna strīpu ar fizioloģisko šķīdumu un ievadot to apakšējā plaksta konjunktīvas maisā. Dalībniekam trīs reizes bija acis jāsamirkšķina, bet pēc trešās reizes dalībniekam tika lūgts nemirkšķināt, lai novērtētu asaru plēvītes plīšanas laiku. Acs priekšējā virsma tika novērtēta ar biomikroskopu, izmantojot platu spraugu, kobalta zilo gaismu un attēla palielinājumu 10 reizes. Lai iegūtu labāku kontrastu, papildus tika izmantots dzeltenais filtrs. Laika posms starp pēdējo mirkšķināšanas reizi un plīsumu rašanos asaru plēvītes lipīdu slānī tika fiksēts ar hronometra palīdzību ar precizitāti  $\pm 0,01$  s. Asaru plēvītes plīšanas laiks tika nomērīts trīs reizes. Pēc mērījuma veikšanas dalībnieka acs priekšējās daļas tika rūpīgi noskalotas ar fizioloģisko šķīdumu. Lai novērtētu NIBUT tika izmantots *Tearscope* – ierīce, ar kuru iespējams neinvazīvi izvērtēt asaru plēvītes stāvokli, izmantojot speciālu filtra (koncentrisku režģa) attēla atspoguļošanu no asaru plēvītes virsmas. Par asaru plīšanas laiku tika uzskatīts brīdis starp pēdējo samirkšķināšanas reizi un neregularitātes/kropļojumu parādīšanos režģa attēlā uz asaru plēvītes virsmas.

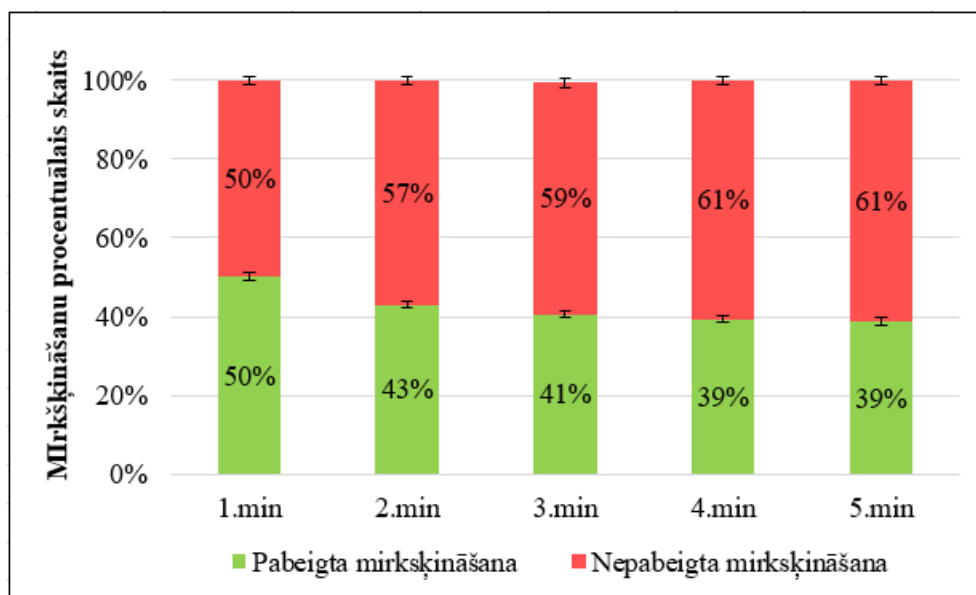
## Rezultāti un to analīze

1. attēlā ir parādīts vidējais kopējais, kā arī pilnīgi un nepilnīgi veikto mirkšķināšanu reižu skaits minūtē uzdevuma veikšana laikā. Vidējais pētījuma dalībnieku mirkšķināšanu skaits ir septiņas reizes minūtē, kas ir mazāks nekā literatūrā aprakstītais, kas norāda uz to, ka cilvēks lasīšanas laikā mirkšķina nepietiekami. Pēc *McMonnies* (2010) datiem normālais mirkšķināšanas biežums cilvēkam ir 10-22 reizes minūtē. Pilnīgi veikto mirkšķināšanu skaits lasīšanas laikā ir vidēji 3 reizes/min, bet nepilnīgi veikto mirkšķināšanu reižu skaits ir lielāks – vidēji 4 reizes/min. Starp līdz galam pabeigto un nepabeigto mirkšķināšanu skaitu pastāv statistiski nozīmīgas atšķirības (*Mann-Whitney U* tests,  $p < 0,05$ ).



1. att. Vidējais kopējais, pabeigto un nepabeigto mirkšķināšanu skaits lasīšanas laikā.

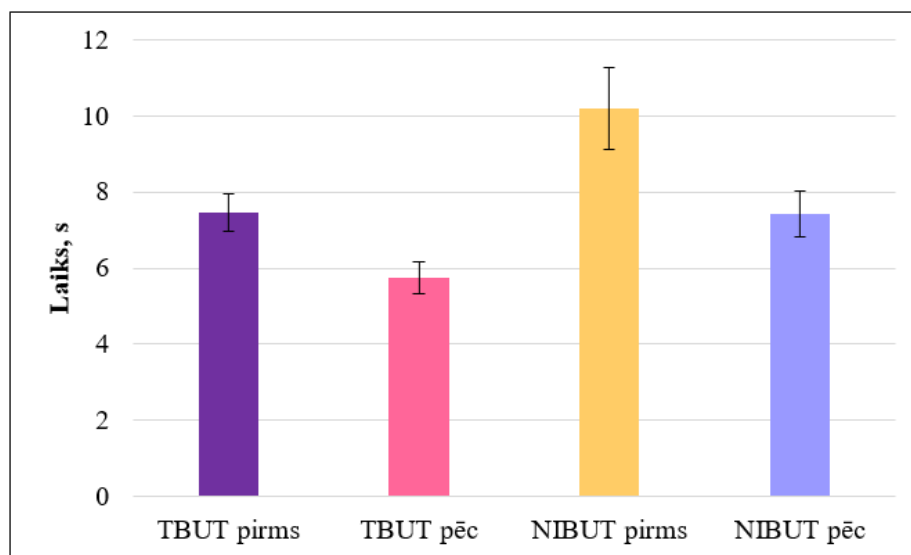
Pabeigto un nepabeigto mirkšķināšanu sadalījums pa minūtēm eksperimenta laikā ir redzams 2. attēlā. Pirmajā minūtē pabeigto mirkšķināšanu ir vairāk, bet ar katru nākamo minūti pabeigto mirkšķināšanu skaits samazinās, un pieaug nepabeigto mirkšķināšanu skaits. Salīdzinot pirmās minūtes vidējo pabeigto mirkšķināšanas reižu skaitu ar pēdējās minūtes mirkšķināšanas reižu skaitu, ir novērojama statistiski būtiska atšķirība starp abu izlašu vērtībām (*Mann-Whitney U tests*;  $p < 0,05$ ), kā arī, salīdzinot pirmās minūtes vidējo pabeigto nepabeigto mirkšķināšanas reižu skaitu ar pēdējās minūtes mirkšķināšanas reižu skaitu, statistiski nozīmīgu atšķirību starp šīm izlasēm nenovēro (*Mann-Whitney U tests*;  $p < 0,05$ ).



2. att. Pabeigto un nepabeigto mirkšķināšanu sadalījums pa minūtēm.

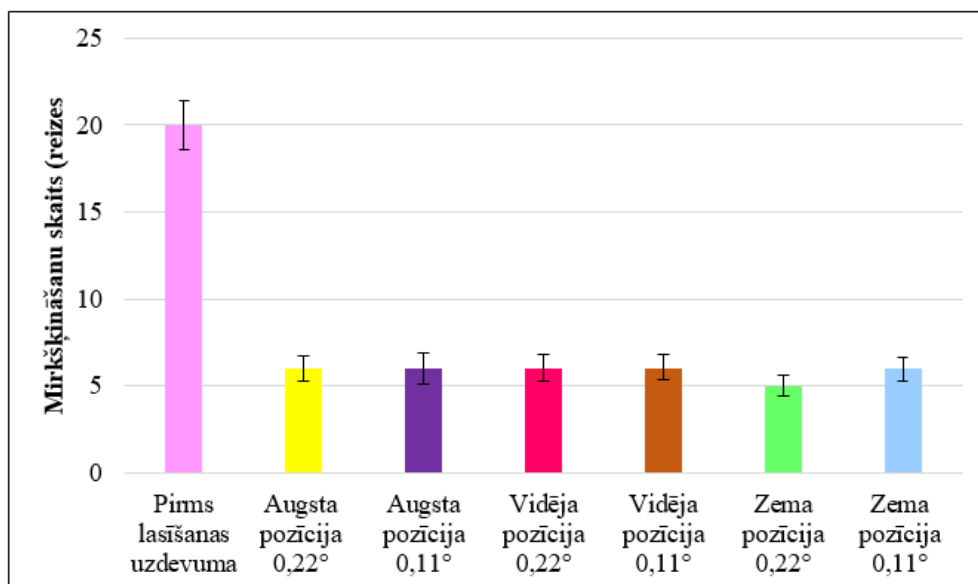
Asaru plēvītes stabilitāte pēc lasīšanas jeb koncentrēšanās uzdevuma samazinās, kas norāda uz to, ka arī neliels lasīšanas ilgums spēj ietekmēt asaru plēvītes stabilitāti. Asaru plēvītes stabilitātes izmaiņas otrās daļas pētījuma dalībniekiem pirms un pēc lasīšanas uzdevuma, kas noteikta gan ar TBUT, gan NIBUT ir redzamas 3. attēlā. Pirms lasīšanas vidējais TBUT ir  $7,5 \pm 0,5$  s, bet NIBUT  $10,2 \pm 1,1$  s, kas ir mazāk nekā literatūrā aprakstītās normas. Pēc lasīšanas uzdevuma asaru plēvītes plīšanas laiks ir ātrāks nekā tas bija pirms lasīšanas – TBUT ir  $5,7 \pm 0,4$  s, bet NIBUT  $7,4 \pm 0,6$  s.

Gan TBUT vērtības, gan NIBUT vērtības pirms un pēc lasīšanas uzdevuma ir būtiski atšķirīgas, ko var apgalvot ar 95 % statistisko ticamību (*Mann-Whitney U tests*;  $p < 0,05$ ). Arī abas izmantotās metodes ir nozīmīgi atšķirīgas (*Mann-Whitney U tests*;  $p < 0,05$ ).



**3. att.** Asarų plēvītes stabilitātes izmaiņas pētījuma dalībniekiem pirms un pēc lasīšanas uzdevuma.

Vidējais kopējais mirkšķināšanas reižu skaits pirms lasīšanas uzdevumiem un lasīšanas laikā, lasot dažādā augstumā novietotu un dažāda izmēra tekstu, ir redzams 4. attēlā. Ir novērojams tas, ka mirkšķināšanas reižu skaits minūtē pirms lasīšanas uzdevuma ir lielāks nekā lasīšanas laikā. Augstuma ietekme uz vidējo kopējo mirkšķināšanas reižu skaitu tika noteikta ar ANOVAS testu bez atkārtojumiem (*Anova: Two-Factor Without Replication*). Kopumā datora novietojums maz ietekmē kopējo mirkšķināšanas reižu skaitu ( $F(2;9) = 0,60$ ,  $p > 0,05$ ), kā arī teksta leņķiskais burtu izmērs vidējo kopējo mirkšķināšanas reižu skaitu būtiski neietekmē ( $0,22^\circ$ :  $F(2;9) = 1,48$ ,  $p > 0,05$ ;  $0,11^\circ$ :  $F(2;9) = 0,03$ ,  $p > 0,05$ ).

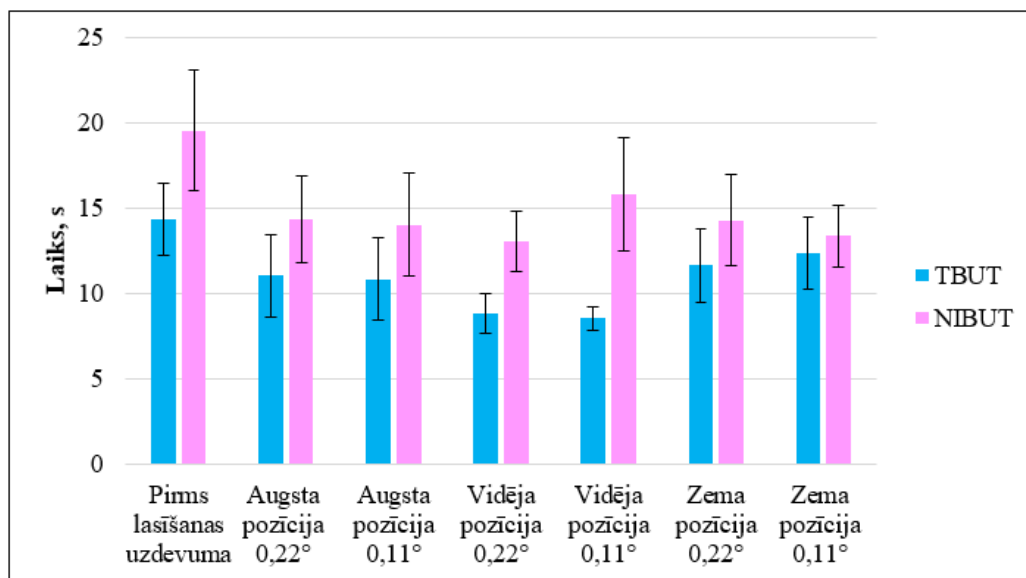


**4. att.** Vidējais kopējais mirkšķināšanas reižu skaits pirms lasīšanas uzdevumiem un lasīšanas laikā.

Asarų plēvītes stabilitāte gan TBUT, gan NIBUT metodei pirms lasīšanas uzdevuma un pēc lasīšanas uzdevumiem ir attēlota 5. attēlā. Pirms lasīšanas uzdevumiem asarų plēvītes stabilitāte gan ar TBUT, gan ar NIBUT metodi ir ilgāka nekā pēc lasīšanas uzdevumiem. Datora augstuma ietekme uz asarų plēvītes stabilitāti tika noteikta ar ANOVA testu bez atkārtojumiem (*Anova: Two-Factor*



*Without Replication*). Kopumā datora novietojums maz ietekmē asaru plēvītes stabilitāti ( $F(5;5) = 1,98$ ,  $p > 0,05$ ), kā arī teksta leņķiskais burtu izmērs asaru plēvītes stabilitāti ar TBUT metodi būtiski neietekmē ( $0,22^\circ$ :  $F(2;9) = 2,14$ ,  $p > 0,05$ ;  $0,11^\circ$ :  $F(2;9) = 2,10$ ,  $p > 0,05$ ). Līdzīga situācija ir arī asaru plēvītes stabilitātei ar NIBUT metodi – leņķiskais burtu izmērs asaru plēvītes stabilitāti būtiski neietekmē ( $0,22^\circ$ :  $F(2;9) = 0,46$ ,  $p > 0,05$ ;  $0,11^\circ$ :  $F(2;9) = 0,20$ ,  $p > 0,05$ ).



5. att. Asaru plēvītes stabilitāte pirms lasīšanas un pēc teksta lasīšanas dažādās pozīcijās.

Kopsavilkumā asaru plēvītes stabilitāte pēc uzdevuma veikšanas samazinās. Lēnāks asaru plēvītes plīšanas laiks tiek uzrādīts ar neinvazīvo asaru plēvītes stabilitātes noteikšanas metodi. Lasīšanas laikā līdz galam nepabeigto mirkšķināšanu skaits ir lielāks (50-61 %) nekā līdz galam pabeigto mirkšķināšanu skaits (39-50 %). Lasīšanas uzdevumi samazina kopējo mirkšķināšanu skaitu 4 reizes, kā arī asaru plēvītes stabilitāti. Lasīšanas augstums un teksta izmērs mirkšķināšanas rezultātus un asaru plēvītes stabilitātes mērījumus būtiski neietekmē.

## Pateicības

Metode un pētījums izstrādāti LU Bāzes un Snieguma projektu, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 ietvaros.

## Literatūra

- Abelson, M.B., & Holly, F.J. (1977). A tentative mechanism for inferior punctate keratopathy. *American Journal of Ophthalmology*, 83(6), 866-869.
- Argilés, M., Cardona, G., Pérez-Cabré, E., & Rodríguez, M. (2015). Blink rate and incomplete blinks in six different controlled hard-copy and electronic reading conditions. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 56(11), 6679-6685.
- Braun, R.J., Driscoll, T.A., Begley, C.G., King-Smith, P.E., & Siddique, J.I. (2017). On tear film breakup (TBU): dynamics and imaging. *Mathematical Medicine and Biology: A Journal of the IMA*, 36(1), 1-36.
- Cardona, G., García, C., Serés, C., Vilaseca, M., & Gispets, J. (2011). Blink rate, blink amplitude, and tear film integrity during dynamic visual display terminal tasks. *Current Eye Research*, 36(3), 190-197.
- Chu, C.A., Rosenfield, M., & Portello, J.K. (2014). Blink patterns: reading from a computer screen versus hard copy. *Optometry and Vision Science*, 91(3), 297-302.
- Himebaugh, N.L., Begley, C.G., Bradley, A., & Wilkinson, J.A. (2009). Blinking and tear break-up during four visual tasks. *Optometry and Vision Science*, 86(2), E106-E114.
- Hirota, M., Uozato, H., Kawamorita, T., Shibata, Y., & Yamamoto, S. (2013). Effect of incomplete blinking on tear film stability. *Optometry and Vision Science*, 90(7), 650-657.

- Holland, E.J., Mannis, M.J., & Lee, W.B. (2013). Ocular surface disease: cornea, conjunctiva and tear film. In Foster, J.B., & Lee, W.B. *The tear film: anatomy, structure and function*, Elsevier Inc., pp.17-21.
- McMonnies, C.W. (2010). Blinking mechanisms. In *Encyclopedia of the Eye*, pp. 202-208.
- Nielsen, P.K., Sogaard, K., Skotte, J., & Wolkoff, P. (2008). Ocular surface area and human eye blink frequency during VDU work: the effect of monitor position and task. *European Journal of Applied Physiology*, 103(1), 1-7.
- Patel, S., Henderson, R., Bradley, L., Galloway, B., & Hunter, L. (1991). Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. *Optometry and Vision Science*, 68(11), 888-892.
- Portello, J.K., Rosenfield, M., & Chu, C.A. (2013). Blink rate, incomplete blinks and computer vision syndrome. *Optometry and Vision Science*, 90(5), 482-487.
- Portello, J.K., Rosenfield, M., Bababekova, Y., Estrada, J.M., & Leon, A. (2012). Computer-related visual symptoms in office workers. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 32(5), 375-382.
- Reijula, K., & Sundman-Digert, C. (2004). Assessment of indoor air problems at work with a questionnaire. *Occupational & Environmental Medicine*, 61(1), 33-38.
- Schlote, T., Kadner, G., & Freudenthaler, N. (2004). Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 242(4), 306-312.
- Telford, C.W., & Thompson, N. (1933). Some factors influencing voluntary and reflex eyelid responses. *Journal of Experimental Psychology*, 16(4), 524-539.
- Tiffany, J. (2008). The normal tear film. *Developments in Ophthalmology*, 41, 1-20.
- Wolkoff, P., Nojgaard, J.K., Troiano, P., & Piccoli, B. (2005). Eye complaints in the office environment: precorneal tear film integrity influenced by eye blinking efficiency. *Occupational and Environmental Medicine*, 62(1), 4-1.

# Asaru osmolaritātes izmaiņas vides faktoru ietekmē

Kristīne Dumberga, Evita Kassaliete, Anete Petrova un Gunta Krūmiņa  
*Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
kristinedumberga@inbox.lv*

## Anotācija

Sausās acs slimība ir viena no visbiežāk sastopamajām acu saslimšanām ar izplatību no 2 % līdz 14,4 % (Messmer, 2015). Šī slimība ir multifaktoriāla, kas apgrūtina noskaidrot konkrētu etioloģisko faktoru un līdz ar to diagnostikas un ārstēšanas metožu kopuma izstrādi (DEWS, 2007). Sausās acs sindroma diagnostikai pašlaik nav izstrādāts neviens tests vai testu kopums, kuru varētu uzskatīt par "zelta standartu". Sausās acs sindroms ne vienmēr norit ar sūdzībām no pacienta puses, bieži slimība rit asimptomātiski. Pētījumos ir pierādīts, ka veicot testus 43 % (Sullivan et al., 2012) pacientiem no asimptomātiskās grupas, tika diagnosticēts sausās acs sindroms.

Asaru osmolaritāte ir centrāls faktors sausās acs slimības patoģenēzē. Tik izdalītas divas sausās acs formas, ūdens deficīta sausā acs un iztvaikošanas izraisītā sausā acs. Ūdens deficīta sausā acs gadījumā asaru hiperosmolaritāte rodas dēļ samazinātas asaru sekrēcijas, bet iztvaikošanas izraisītā sausā acs gadījumā hiperosmolaritātes iemesls ir pārmērīga asaru iztvaikošana no asaru plēvītes pie normālas asaru sekrēcijas (Bron et al., 2017). Kā faktoros, kas paaugstina iztvaikošanas zudumus un atstāj ietekmi uz asaru osmolaritāti var minēt telpu mikroklimatu darba un dzīves vietā, kā arī redzes higiēnas ievērošanu. Šo faktoru iedarbība uz katru indivīdu var būt dažāda, un tā ir atkarīga no katra indivīda adaptācijas spējām (Potvin et al., 2015).

Vairums cilvēku nozīmīgu dzīves daļu pavada savā darba vietā, un līdz ar to nav noliedzama darba vides faktoru būtiska ietekme uz cilvēku veselību. Pazemināts relatīvais gaisa mitrums palielina asaru zudumu iztvaikošanas palielināšanās dēļ. Pētījuma mērķis bija novērtēt vides faktoru ietekmi uz asaru osmolaritāti un acs priekšējo struktūru izmeklējumu rezultātiem, kā arī noskaidrot šo parametru savstarpējo mijiedarbību.

## Atslēgas vārdi:

Asaru osmolaritāte, asaru sistēma, vides faktori, asaras, sausā acs

## Literatūras pārskats

Asaru osmolaritāti var ietekmēt vairāki faktori, kas var būt gan iekšēji, gan ārēji. Ar asaru osmolaritātes izmaiņām tiek saistītas vairākas vispārējas saslimšanas un arī vairāku medikamentu lietošana. Kā ārējus asaru osmolaritāti ietekmējošus faktoros var minēt telpu mikroklimatu (temperatūra, relatīvais mitrums, putekļu un citu daļiņu koncentrācija gaisā un gaisa plūsmas ātrumu (Bron et al., 2017) darba un dzīves vietā. Šo faktoru iedarbība uz katru indivīdu var būt dažāda, un tā ir atkarīga no katra indivīda adaptācijas spējām (Potvin et al., 2015). Asaru osmolaritāti ietekmē sekojoši faktori: lipīdu slānis, plakstiņa atvērums, mirkšķināšanas intervāls, asaru plēvītes plīšanas laiks un organisma hidratācija.

## Asaru plēves lipīdu slānis

Asaru iztvaikošanas ātrumu no acs virsmas ietekmē asaru plēvītes tauku jeb lipīdu slānis. Tam ir nozīmīga loma asaru plēves stabilizēšanā, un tiek uzskatīts, ka tas rada barjeru asaru iztvaikošanai (Bron & Tiffany, 2004). Lipīdu slāņa biežums un kvalitāte nosaka asaru iztvaikošanas ātrumu. Tomēr vairāki pētījumu rezultāti liecina par to, ka lipīdu slāņa loma ūdens slāņa iztvaikošanā nav lielāka par 10 % (Georgiev et al., 2014). Šis faktors ir svarīgs, lai noteiktu sausās acs slimības formu, un to turpina apspriest un diskutēt (Willcox et al., 2017). Ja lipīdu slāņa kvalitāte ir nepietiekoša,

iztvaikošanas zudumi var pieaugt un osmolaritāte palielināties. Līdzīgu iznākumu var paredzēt, ja lipīdu slāņa uzklāšanu kavē asaru ūdens slāņa deficīts (*Yokoi et al.*, 2008).

### **Plakstiņu atvērums**

Kā jau var secināt no iepriekš minētā, iztvaikošanas zudumu ietekmē asaru plēves laukums. *Tsubota* un *Nakamori* pētīja, kā skata pozīcija iespaido iztvaikošanas ātrumu (pie 40 % mitruma un mirkšķināšanas 30 x min), un pierādīja, ka iztvaikojot, zudumi ir 3,4 reizes lielāki, skatoties uz augšu, un 2,5 reizes lielāki, skatoties taisni uz priekšu, nekā raugoties lejup, ja aprēķinus veic ne tikai visai acs virsmai kopumā, bet arī atsevišķām laukuma vienībām. Asaru iztvaikošana uz kvadrātmetru palielinājās proporcionāli acs virsmas laukumam. Iespējams, palielinoties kopējai platībai, lipīdu slānis kļūst plānāks (*Bron et al.*, 2017).

### **Mirkšķināšanas intervāls**

Mirkšķināšanas biežums ietekmē asaru osmolaritāti, un ir paredzams, ka, intervālam pagarinoties un mirkšķināšanas biežumam attiecīgi samazinoties, asaru osmolaritātes rādītāji virzās uz hiperosmolaritātes pusi. Mirkšķināšanas biežuma samazināšanās tiek fiksēta pie tādiem ikdienišķiem uzdevumiem kā darbs pie datora, lasīšana ar uz leju vērstu skatu, videospēļu spēlēšana, viedierīču lietošana un veicot manipulācijas kurām nepieciešama augsta koncentrēšanās pakāpe. Šajās situācijās gan skata virziens, gan uzdevuma grūtības pakāpe nosaka mirkšķināšanas biežumu. Grūti paredzēt, kā skats uz leju ietekmēs asaru iztvaikošanu, jo gan mirkšķināšanas biežums, gan acu atvērums ir samazināti, un viens no tiem palielina iztvaikošanu, bet otrs - samazina (*Bron et al.*, 2017).

### **Asaru plēves plīšanas laiks (NIBUT un TBUT)**

Asaru plēves pārrāvuma laiks ir visbiežāk lietotais mērījums, lai pētītu asaru plēves stabilitāti, kas kļūst būtiski svarīgs īsa mirkšķināšanas intervāla gadījumā. Lielākajai daļai cilvēku bez sausās acs slimības BUT asaru plēvītes plīšanas laika novērtēšanas testa un TBUT neinvazīvā asaru plēvītes plīšanas laika novērtēšanas testa vērtības pārsniedz mirkšķināšanas intervālu, tomēr arī dažiem veselīgiem cilvēkiem ir vērojams asaru plēves pārvums periodā starp mirkšķināšanas reizēm (*Bron et al.*, 2017).

Hiperosmolaritāte lokāli paaugstinās radzenes epitēlijā vietā, kura atrodas zem asaru plēvītes pārrāvuma vietas. Difūzijas un asaru sajaukšanās rezultātā pieaug arī asaru osmolaritāte acs virsmas reģionos ārpus pārrāvuma, bet tomēr šajos reģionos hiperosmolaritāte ir daudz mazāk izteikta. No iepriekš minētā var secināt, ka asaru osmolaritātes mērījumi asaru meniska paraugos nepilnīgi atspoguļo hiperosmolāro stresu, kādām ir pakļauta acs virsma. Būtu nepieciešams attīstīt tehnoloģiju, kas ir spējīga veikt osmolaritātes mērījumus jebkurā acs virsmas reģionā audu līmenī (*Willcox et al.*, 2017; *Bron et al.*, 2017).

### **Organisma hidratācija**

Organismam ir svarīgi saglabāt normālu asins osmolaritāti (280 mOsm/kg H<sub>2</sub>O), kas arī nosaka pielāgošanās mehānismus ūdens saglabāšanai nepietiekama šķidruma uzņemšanas gadījumā. Ir pozitīva sakarība starp vispārējo organisma hidratācijas līmeni, kura noteikšanai tiek izmantots plazmas osmolaritātes mērījums, kas vidēji ir līdzīgs asaru osmolaritātei (*Bron et al.*, 2017). Abi šie rādītāji ir paaugstināti pacientiem ar sausās acs slimību. Asaru osmolaritāte ir tieši atkarīga no asins plazmas osmolaritātes personām ar piespiedu sistēmisku dehidratāciju (*Willshire et al.*, 2017). Asaru osmolaritātes mērījumi tiek piedāvāti kā plazmas osmolaritātes mērījumu aizvietošana, ko būtu iespējams lietot, lai noteiktu dehidratāciju vecākiem cilvēkiem un sporta medicīnā (*Willshire et al.*, 2017). Visi augstāk minētie apsvērumi liek secināt, ka personām ar sausās acs slimību ir būtiski uzturēt pietiekošu vispārējo organisma hidratācijas pakāpi.

### **Asaru osmolaritāti ietekmējoši ārējie jeb vides efekti**

Noteikti vides apstākļi palielina asaru zudumu iztvaikojot, un ir sausās acs slimības riska faktori. Iztvaikošana pieaug zema gaisa mitruma apstākļos un pie paaugstinātas gaisa plūsmas uz acs virsmas.

Tika veikts pētījums, kura gaitā tika pazemināts gaisa relatīvais mitrums līdz 20-25 % un 40-45 % un dalībnieki sadalīti divās grupās - ar sausās acs slimību un bez tās. Šīm relatīvajām mitruma izmaiņām bija statistiski nozīmīga ietekme uz iztvaikošanas ātrumu katrā no pētījuma grupām (vidējais asaru iztvaikošanas pieaugums 99,7 %) (*Uchiyama et al.*, 2007). Uzturēšanās vidē ar zemu mitrumu pat tik īsā laika periodā kā 90 minūtes izraisa biežu mirkšķināšanu, diskomforta sajūtu acīs kā arī citokaīnu un proteīnāžu klātbūtni asarās (*Alex et al.*, 2013).

Arī saistībā ar asaru osmolaritāti pastāv vairāki vides faktori, kas var atstāt iespaidu uz asaru plēvītes kvalitāti un izraisīt sausās acs sindromu ar sekojošu asaru osmolaritātes paaugstināšanos. Pašlaik nav pilnīgi izpētīta mitruma ietekme uz asaru osmolaritāti. Par šī faktora ietekmi ir veikti vairāki pētījumi ar pretrunīgiem rezultātiem. Kādā pētījumā subjekti tika pakļauti zemam relatīvajam mitrumam (20 %) telpā uz 10 minūtēm, un šī pētījuma rezultāti norādīja uz augstu asaru osmolaritātes mainību. Vēl ir veikts pētījums, kura laikā pētījuma dalībnieki 2 stundas tika pakļauti 5 % relatīvajam mitrumam, bet rezultātā dalībnieku asaru osmolaritātes mērījumos netika konstatētas būtiskas izmaiņas. Iemesls tam varētu būt, ka pētījuma kontroles grupas dalībnieku vidū tika iekļauti subjekti ar vieglas pakāpes sausās acs sindromu. Atšķirīgo rezultātu iemesls varētu būt arī dažādo vides apstākļu lietojums testa laikā, jo vienā pētījumā netika minēts gaisa plūsmas ātrums, kas varētu būt būtisks rezultātus ietekmējošs faktors. Viss iepriekš minētais norāda uz nepieciešamību veikt vides faktoru ietekmes izpēti uz asaru osmolaritāti (*Potvin et al.*, 2015).

## Metodika

Pētījums tika veikts trīs posmos. Pirmais posms, kurā piedalījās 125 dalībnieki (75 sievietes un 50 vīrieši), ietvēra sevī anketēšanu un dalībnieku atlasīti. No pētījuma tika izslēgti dalībnieki, kuri lieto medikamentus ( $n = 30$ ), kuri atstāj ietekmi uz asaru homeostāzi, kontaktlēcu lietotāji ( $n = 5$ ), dalībnieki ar diabētu ( $n = 3$ ), artrītu ( $n = 6$ ) un vairogdziedzera disfunkciju ( $n = 6$ ).

Pētījuma otrajā posmā, kurā tika veiktas padziļināta dalībnieku izmeklēšana, piedalījās 54 dalībnieki. Tika veikts redzes asuma mērījums tūlumā ar korekciju vai bez korekcijas, ja tāda netiek lietota, kas vidēji bija 1,53 (decimālajās vienībās), bet redzes asums tuvumā 0,89 (decimālajās vienībās). Tika veikts stereo redzes mērījums, izmantojot Titmus testu, kas vidēji bija 55,9", osmolaritātes mērījums, Širmera tests, tika veikta hiperēmijas un neovaskularizācijas novērtēšana acs priekšējām struktūrām, LIPCOF, NIBUT un TBUT mērījumi. Tika novērtēts asaru meniska augstums, Meiboma dziedzeru ekspresijas kvalitāte un kvantitāte, lipīdu slāņa kvalitāte, radzenes krāsošanās, augšējā plaksta brīvās malas epitēlija krāsošanās. Dalībnieki bija Latvijas Universitātes Dabaszinātņu akadēmiskais centra (LU DAC) Dabas mājas darbinieki un studenti.

Pētījuma trešajā posmā piedalījās 21 dalībnieks (15 sievietes un 6 vīrieši). Šajā posmā tika atlasīti pētījuma dalībnieki, kuriem asaru osmolaritātes mērījums tika veikts laika periodā, kad relatīvais gaisa mitrums LU DAC Dabas mājas telpās bija līdz 14 % RH (gaisa relatīvais mitrums, kas ir procentos izteikta ūdens tvaika parciālspiediena attiecība pret piesātināta tvaika parciālspiedienu dotajā temperatūrā) un zemāks. Šiem dalībniekiem tika veikts atkārtots asaru osmolaritātes mērījums, kad LU DAC Dabas mājas telpās relatīvais gaisa mitrums bija augstāks par 24 % RH, tādējādi iegūstot asaru osmolaritātes mērījumu situācijā, kad relatīvais gaisa mitrums telpā ir pacēlies par vismaz 10% RH. Asaru osmolaritātes mērījumu iegūšanai tiks izmantota *TearLab* asaru osmolaritātes novērtēšanas sistēma (ražotājs – *TearLab™ Corp.*, *San Diego*, ASV). Asaru osmolaritātes mērīšanai *TearLab* iekārtā tiek izmantota elektriskās pretestības metode. Iekārtas mērījumu diapazons ir no 275 līdz 400 mOsm/L.

Vides parametri visa pētījuma laikā: vidējā gaisa temperatūra pētījuma laikā  $+23,5 \pm 0,7^\circ \text{C}$ , vidējais gaisa relatīvais mitrums pētījuma laikā 17,7 % RH (zemākais gaisa mitrums 7,5 % RH, augstākais 36,2 % RH), gaisa kvalitāte PM 2,5 (cietvielu putekļu sensors, kas uztver zem 2,5 mikronu lielas daļiņas) – vidēji  $0,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM 10 – vidēji  $5,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

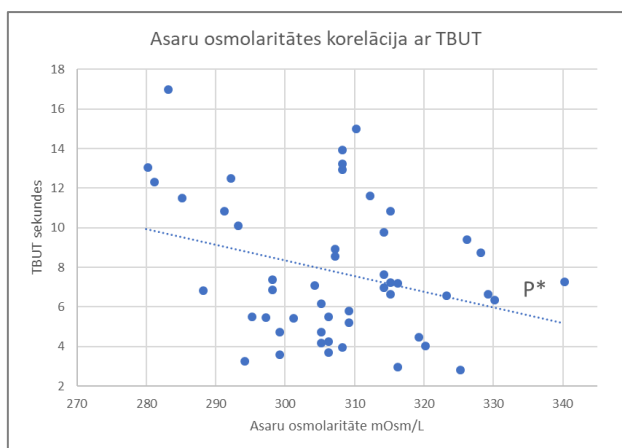
Datu apstrādes un analīzes procesā par minimālo ticamības vērtību tika pieņemts vismaz 95 % zinātniskās ticamības intervāls. Ja p-vērtības kritērijs ir mazāks par būtiskuma līmeni 0,05 ( $p \leq 0,05$ ), tad ar 95 % varbūtību tiek noraidīta nulles hipotēze ( $H_0: \bar{x} = \bar{y}$ ), ka vidējās vērtības dotajiem datiem

ir vienādas. Tādā gadījumā tiek pieņemta alternatīvā hipotēze ( $H_1: \bar{x} \neq \bar{y}$ ) un var apgalvot, ka salīdzinātie dati ar 95 % zinātniskās ticamības intervālu ir uzskatāmi par statistiski nozīmīgi atšķirīgiem.

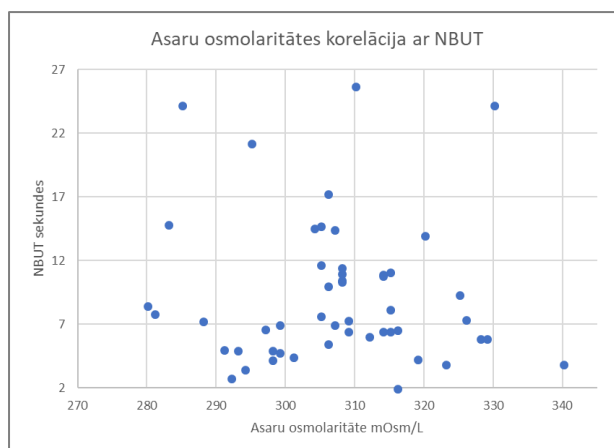
## Rezultāti un to analīze

Apkopojot 1. posma rezultātus, kas iegūti izmantojot sausās acs diagnostikas anketas *McMonnies* rezultātus un rezultātu saistību ar asaru osmolaritāti, nākas secināt, ka statistiski nozīmīga korelācija netika konstatēta ( $r = 0,11$ ,  $n = 46$ ,  $p > 0,05$ ). Apskatot asaru osmolaritātes mērījumu rezultātu korelāciju ar dalībnieku OSDI anketu rezultātiem, vērojama statistiski būtiska korelācija starp šiem diviem rādītājiem ( $r = 0,23$ ,  $n = 26$ ,  $p < 0,05$ ).

Pētījuma 2. daļā tika veikta pacientu objektīvā izmeklēšana. Asaru osmolaritāte tika novērtēta 57 pacientiem, visu dalībnieku abu dzimumu dalībniekiem, nedalot tos vecuma grupās vidējā asaru osmolaritāte bija  $307,6 \pm 13,9$  mOsm/l. Apskatot visu dalībnieku asaru osmolaritātes mērījumu korelāciju ar relatīvo gaisa mitrumu osmolaritātes mērījuma izdarīšanas brīdī, statistiski nozīmīga korelācija netiek novērota ( $r = 0,12$ ,  $n = 56$ ,  $p > 0,05$ ). Analizējot TBUT un NIBUT testu laika korelāciju ar asaru osmolaritāti, statistiski nozīmīga korelācija tika novērota TBUT testa rezultātam ( $r = 0,3$ ,  $n = 50$ ,  $p < 0,02$ ), bet NIBUT testa rezultāta korelācija ar asaru osmolaritātes mērījumiem netika konstatēta ( $r = 0,02$ ,  $n = 50$ ,  $p > 0,05$ ) (skat. 1. att.).

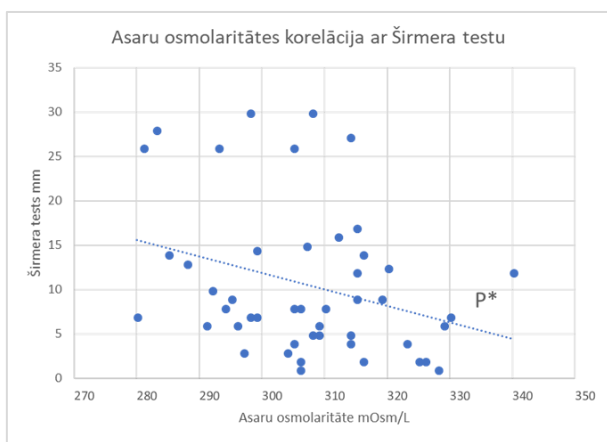


**A**

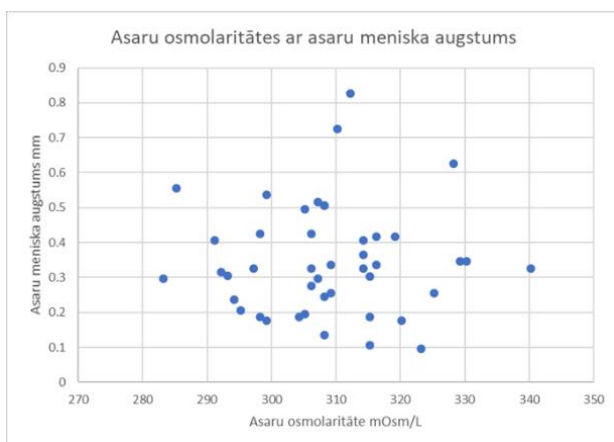


**B**

**1. att.** (A) Asaru osmolaritātes korelācija ar TBUT laiku. Ir vērojama statistiski būtiska korelācija  $r = 0,3$ ,  $n = 50$ ,  $p < 0,02$ . (B) Asaru osmolaritātes korelācija ar NIBUT laiku. Nav vērojama statistiski būtiska korelācija  $r = 0,02$ ,  $n = 50$ ,  $p > 0,05$ .



**A**



**B**

**2. att.** (A) Asaru osmolaritātes korelācija ar Širmera testu. Ir vērojama statistiski būtiska korelācija  $r = 0,31$ ,  $n = 46$ ,  $p < 0,05$ . (B) Asaru osmolaritātes korelācija ar asaru meniska augstumu. Nav vērojama statistiski būtiska korelācija  $r = 0,0007$ ,  $n = 45$ ,  $p > 0,05$ .

Izdarot korelācijas pārbaudi asaru osmolaritātei ar lipīdu slāņa biezuma pakāpei ( $r = 0,05$ ,  $n = 50$ ,  $p > 0,05$ ) ar meiboma dziedzeru kvalitātes pakāpi ( $r = 0,19$ ,  $n = 50$ ,  $p > 0,05$ ), statistiski nozīmīga korelācija netika konstatēta.

Asaru plēvītes ūdens slāņa kvantitāte un sekrēcija tika pārbaudīta, izmantojot Širmera testu bez anestēzijas un veicot asaru meniska augstuma novērtējumu. Analizējot iegūtos rezultātus, tika konstatēts, ka asaru meniska augstumam nav statistiski būtiskas korelācijas ar asaru osmolaritāti ( $r = 0,0007$ ,  $n = 45$ ,  $p > 0,05$ ), bet Širmera tests uzrāda statistiski nozīmīgu korelāciju ar asaru osmolaritāti ( $r = 0,31$ ,  $n = 46$ ,  $p < 0,05$ ), (skat. 2. att.), kas norāda šo parametru saistību.

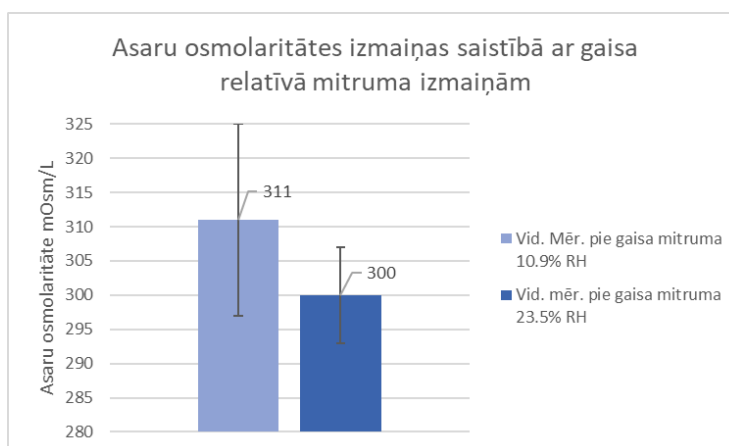
1. tabulā ir attēloti korelācijas koeficienti starp asaru osmolaritāti un acs priekšējo struktūru izvērtēšanas parametriem: radzenes krāsošanos ar fluoresceīnu, kas novērtēta pēc divām skalām Efron un TVCI, augšējā plaksta brīvās malas epitēlija krāsošanos (LWE), acs ābola konjunktīvas hiperēmiju, limba hiperēmiju, plaksta konjunktīvas hiperēmiju, plaksta raupjumu, kas izvērtēts ar divām gradācijas skalām Efron un CCLRU, radzenes neovaskularizāciju, kas novērtēta ar Efron skalu, plaksta malai paralēlās konjunktīvas krokas (LIPCOF) un Širmera testu. Bez korelācijas ar Širmera testu, kas tika apskatīta iepriekš, statistiski nozīmīga korelācija ir vērojama arī ar radzenes krāsošanos, kas vērtēta ar abām skalām gan Efron, gan CCRLU ( $r = 0,30$ ,  $n = 46$ ,  $p < 0,05$ ).

**1. tabula**

Korelācijas koeficienti starp asaru osmolaritāti un acs priekšējo struktūru izvērtēšanas parametriem.

	Osm.	Radzenes kr. (EFRON)	Radzenes krāsošanās (TVCI)	LWE	Acs ābola konjunkt. hiperēmija (EFRON)	Acs ābola konjunkt. Hiperēmija (CCLRU)	Limba hiper. (EFRON)	Limba hiperēmija (CCLRU)	Plaksta hiperēmija (EFRON)	Plaksta hiperēmija (CCLRU)	Plaksta raupjums (EFRON)	Plaksta raupjums (CCLRU)	Radzenes neo-vaskularizācija (EFRON)	LIPCOF	Širmera t. (mm)
Osm.	1,00	0,30	0,30	0,08	0,01	-0,02	0,03	0,03	-0,17	-0,01	-0,15	0,03	-0,10	0,12	-0,31

Pētījuma 3. posmā tika veikti atkārtoti asaru osmolaritātes mērījumi. 1. mērījuma laikā vidējais relatīvais gaisa mitrums  $10,9\% \text{ RH} (\pm 2,7)$ , bet vidējā gaisa temperatūra  $23,5^\circ \pm 0,7^\circ \text{ C}$ . 2. mērījuma laikā vidējais relatīvais gaisa mitrums bija  $23,5\% \text{ RH} (\pm 2,7)$ , bet vidējā gaisa temperatūra  $23,2^\circ \pm 0,7^\circ \text{ C}$ . Vidējā relatīvā gaisa mitruma atšķirība mērījumu sesijās bija  $12,7\% \text{ RH}$ , bet temperatūras svārstības bija nebūtiskas un sastādīja  $0,3^\circ \text{ C}$ . 3. attēlā parādītas vidējās asaru osmolaritātes izmaiņas dalībnieku grupai, veicot atkārtotu mērījumu relatīvajam gaisa mitrumam paaugstinoties par  $12,7\% \text{ RH}$ .



**3. att.** Asaru osmolaritātes mērījumi dažādos vides apstākļos.

Veicot t-testu atkarīgām paraugkopām  $P(T \leq t) \text{ one-tail} = 0,011 < 0,05$ , tātad pastāv statistiski būtisks izmaiņas starp vidējās asaru osmolaritātes vērtībām relatīvajam gaisa mitrumam pieaugot.

Iegūtie rezultāti apliecināja, ka asaru osmolaritāte mainās palielinoties gaisa relatīvajam mitrumam telpās, tātad būtiska loma sausās acs pacientu ikdienā ir darba apstākļiem. Anketēšanu būtu vēlams veikt, izmantojot vismaz divas anketas *Ocular Surface Disease Index (OSDI)* un *McMonnies*, jo *McMonnies* anketa ir vērsta uz klīniskiem "riskā faktoriem", bet *OSDI* uz

subjektīvajām sūdzībām. Apskatot acs priekšējo daļu novērtēšanas rezultātu saistību ar asaru osmolaritāti, tika secināts, ka asaru osmolaritāte korelē ar TBUT laiku, Širmera testa rādītājiem un radzenes krāsošanos gan pēc Efron skalas, gan pēc CCRLU gradācijas skalas. Rezultāti ir līdzīgi ar citos pētījumos iegūtajiem rezultātiem. Līdzīgus rezultātus ieguva Kim *et al.* (2017), veicot savu pētījumu un atzīmējot asaru osmolaritātes saistību ar Širmera testu un radzenes krāsošanos. Šie ir testi, kuriem klīnikā ir jāpievērš uzmanība pacientiem ar sausās acs sūdzībām.

## Pateicības

Metode un pētījums izstrādāti LU Bāzes un Snieguma projektu, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 ietvaros.

## Literatūra

- Alex, A., Edwards, A., & Hay, J.D. (2013). Factors predicting the ocular surface response to desiccating environmental stress. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 54(5), 3325-3332.
- Bron, A.J., de Paiva, C.S., Chauhan, S.K., Bonini, S., Gabison, E.E., Jain, S., Knop, E., Markouli, M., Ogawa, Y., Perez, V., Uchino, Y., Yokoi, N., Zoikhri, D., & Sullivan, D.A. (2017). TFOS DEWS II pathophysiology report. *Ocular Surface*, 15(3), 438-510.
- Bron, A.J., & Tiffany, J.M. (2004). The contribution of meibomian disease to dry eye. *Ocular Surface*, 2(2), 149-165.
- DEWS. (2007). 2007 Report of the international dry eye workShop (DEWS). *Ocular Surface*, 5(2), 64-204.
- Georgiev, G.A., Yokoi, N., Ivanova, S., Tonchev, V., Nencheva, Y., & Krastev, R. (2014). Surface relaxations as a tool to distinguish the dynamic interfacial properties of films formed by normal and diseased meibomian lipids. *Soft Matter*, 10(30), 5579-5588.
- Yokoi, N., Yamada, H., & Mizukusa, Y., Bron, A.J., Tiffany, J.M., Kato, T., & Kinoshita, S. (2008). Rheology of tear film lipid layer spread in normal and aqueous tear-deficient dry eyes. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 49(12), 5319-5324.
- Messmer, E. M. (2015). The pathophysiology, diagnosis, and treatment of dry eye disease. *Deutsches Ärzteblatt International*, 112(5), 71-82.
- Potvin, R., Makari S., & Rapuano, C. J. (2015). Tear film osmolarity and dry eye disease: a review of the literature. *Clinical Ophthalmology*, 9, 2039-2047.
- Sullivan, B.D., Crews, L.A., Messmer, E.M., Foulks, G.N., Nichols, K.K., Baenninger, P., Geerling, G., Figueiredo, F., Lemp, M.A. (2012). Correlations between commonly used objective signs and symptoms for the diagnosis of dry eye disease: clinical implications. *Acta Ophthalmologica*, 92(2), 161-166.
- Sullivan, B.D., Whitmer D., Nichols, K.K., Tomlinson, A., Foulks, G.N., Geerling, G., Pepose, J.S., Kosheleff, V., Perreco, A., & Lemp, M.A. (2010). An objective approach to dry eye disease severity. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51(12), 6125-6130.
- Tsubota, K., & Nakamori, K. (1995). Effects of ocular surface area and blink rate on tear dynamics. *Arch Ophthalmologica*, 113(2), 155-158.
- Uchiyama, E., Aronowicz, J.D., Butovich, I.A., & McCulley, J.P. (2007). Increased evaporative rates in laboratory testing conditions simulating airplane cabin relative humidity: an important factor for dry eye syndrome. *Eye & Contact Lens*, 33(4), 174-176.
- Willcox, M.D.P., Argüeso, P., Georgiev, G.A., Holopainen, J.M., Laurie, G.W., Millar, T.J., Papas, E.B., Rolland, J.P., Schmidt, T.A., Stahl, U., Suarez, T., Subbaraman, L.N., Ucakhal., O.O., & Jones, L. (2017). TFOS DEWS II tear film report. *Ocular Surface*, 15(3), 366-403.
- Willshire C., Buckley, R.J., & Bron, A.J. (2017). Estimating basal tear osmolarity in normal and dry eye subjects. *Contact Lens & Anterior Eye*, 41(1), 1-13.



# Meiboma dziedzeru disfunkcija un plakstu silto komprešu terapija

Egija Kliesmete<sup>1</sup>, Evita Kassaliete<sup>1</sup>, Anete Petrova<sup>1</sup>, Kristīne Detkova<sup>2</sup> un Gunta Krūmiņa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,

Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

<sup>2</sup>OC Vision, Elijas iela 17, Rīga, LV-1050, Latvija.

evita.kassaliete@lu.lv

## Anotācija

Darba mērķis: izvērtēt silto komprešu un plakstu masāžas nozīmīgumu Meiboma dziedzeru darbības kvalitātes uzlabošanā un asaru plēvītes stabilizēšanā.

Metode: lipīdu slāņa biezuma novērtēšana, NiBUT, FBUT, Meiboma dziedzeru ekspresija, meibogrāfija un plakstus sildošo masku terapija.

Rezultāti: Meiboma dziedzeru kvalitātes un kvantitātes rādītāji uzrāda ciešu korelāciju ( $r = 0,73$ ). Otrās pakāpes meiboma dziedzeru disfunkcijas sastopamība ir 38 %. Meiboma dziedzeru atrofijas pakāpe korelē ar dziedzeru sekrēta kvalitāti ( $r = 0,66$ ), kvantitāti ( $r = 0,63$ ) un lipīdu slāņa biezumu ( $r = 0,63$ ). 10 dienu plakstu silto komprešu terapija 2. pakāpes Meiboma dziedzeru disfunkcijas gadījumā uzlabo NiBUT par 29 %, dziedzeru sekrēta kvalitāti par 11 %, kvantitāti par 9 % un asaru lipīdu slāņa biezumu par 3 %.

## Atslēgas vārdi:

Meiboma dziedzeru disfunkcija, asaru lipīdu slānis, Meiboma dziedzeru ekspresija, meibogrāfija, siltās plakstu kompreses, plakstu masāža.

## Literatūras pārskats

Meiboma dziedzeri ir tauku dziedzeri, kas atrodas plakstu augšējā un apakšējā tarsālajā daļā. To galvenais uzdevums ir ražot un izdalīt lipīdus jeb meibomu, un caur atverītēm plakstu brīvajās malās piegādāt to asaru meniskā. Meiboma dziedzeri ir galvenais asaru plēvītes lipīdu slāņa avots (*Nichols et al.*, 2011). Lipīdi veido asaru plēvītes ārējo slāni, kas palēnina asaru ūdeņainā slāņa iztvaikošanu, palīdz stabilizēt asaru plēvīti, samazinot tās virsmas spraigumu (*Born et al.*, 2004), saglabā skaidru optisko virsmu un veido barjeru, kas pasargā no mikrobiem un organiskām vielām, piemēram, putekļiem vai ziedputekšņiem (*Nichols et al.*, 2011).

Izmainīta meiboma dziedzeru darbība var izpausties gan kā zema sekrēta izdalīšanās, gan kā augsta sekrēta daudzuma izdalīšanās uz plaksta malas (*Nelson et al.*, 2011). Visbiežāk sastopamā ir pazemināta sekrēta izdalīšanās forma, ko sauc par obstruktīvo meiboma dziedzeru disfunkciju (MGD – *meibomian gland dysfunction*). MGD ir hroniska, difūza meiboma dziedzeru anomālija, ko parasti raksturo konstants kanālu aizsprostojums un/vai kvalitatīvas/kvantitatīvas izmaiņas dziedzeru sekrēcijā. Tas var izraisīt asaru plēvītes izmaiņas, acu kairinājuma simptomus, klīniski redzamu iekaisumu un acs virsmas slimības (*Nelson et al.*, 2011).

Normāls jeb veselīgs meiboma dziedzeru sekrēts izskatās dzidrs, tomēr MGD gadījumā tas var kļūt duļķains, viskozāks vai līdzīgs zobu pastas konsistencei. Dziedzeru kanāliem hiperkeratinizējoties, mainās sekrēta struktūra, kas noved pie kanālu aizsprostošanās (*Opitz et al.*, 2015). Mainoties sekrēta viskozitātei un izskatam, paaugstinās arī tā kušanas temperatūra. Patoloģiski izmainīta sekrēta kušanas temperatūra ir 35° C, taču veselu dziedzeru meiboma kušanas temperatūra ir apmēram 32° C (*Efron*, 2012).

Meiboma dziedzeru disfunkciju galvenokārt izraisa izvadkanāla gala atveru aizsprostojums ar sabiezētu necaurspīdīgu meibomu, kas satur keratinizētu šūnu materiālu. Savukārt obstrukcija ir saistīta ar drenāžas epitēlija hiperkeratinizāciju un palielinātu meiboma viskozitāti (*Nichols et al.*, 2011). MGD rezultātā tiek samazināta meiboma izdalīšanās asaru plēvītē. Nepietiekams lipīdu

daudzums var pastiprināt asaru plēvītes iztvaikošanu, radīt hiperosmolaritāti un asaru plēvītes nestabilitāti, palielināt baktēriju augšanu uz plaksta malām, iztvaikošanas sauso aci (EDE – *evaporative dry eye*) un acs virsmas iekaisumus (Nichols et al., 2011).

Simptomātisku MGD var konstatēt pēc tā galvenajām klīniskajām pazīmēm, kas ietver Meiboma dziedzeru atrofiju, izmainītu Meiboma dziedzera sekrēta kvalitāti un/vai kvantitāti un izmaiņas plaksta morfoloģijā (Geerling et al., 2017; Opitz et al., 2015). MGD klīniskā diagnoze tiek veikta, izmantojot subjektīvo pacienta simptomu aprakstus kombinējot ar klīniskajām pazīmēm, kas iegūtas veicot dažādus testus asaru slāņa, Meiboma dziedzeru un plaksta malas izmaiņu novērtēšanas rezultātā. Acu aprūpes speciālistiem tiek piedāvātas vairākas metodes smalkai Meiboma dziedzeru morfoloģijas un funkciju izpētei (skat. 1. tab.).

**1. tabula**

Meiboma dziedzeru funkciju novērtēšanas metodes (Geerling et al., 2017)

<b>Tehnoloģija</b>	<b>Apraksts</b>
<b>Meiboma dziedzeru ekspresija</b>	Spiediena (digitāla vai ar instrumentu) pielietošana plakstiņa malai, lai kvantificētu un kvalificētu Meiboma dziedzeru saturu
<b>Meibometrija</b>	Lipīdu daudzuma kvantitatīva noteikšana uz plakstiņa malas, lipīdus notīrot uz lentes, kas uzklāta uz plakstiņa.
<b>Meibogrāfija</b>	Ļauj novērot Meiboma dziedzeru morfoloģiju un izdalīt Meiboma dziedzera atrofiju, izmantojot klīnisko novērošanu vai fotodokumentāciju. Meiboma dziedzeru vizualizācijai izmanto infrasarkanās gaismas kameru.
<b>Interferometrija</b>	Nodrošina asaru plēves lipīdu slāņa vizuālo analīzi, izmantojot plaša spektra baltās gaismas interferometriju.
<b>In vivo konfokālā lāzermikroskopija</b>	Augstas izšķirtspējas skenēšana ļauj mērīt dziedzeru blīvumu (dziedzeru skaits/mm <sup>2</sup> ), vidējo to diametru un dziedzeru morfoloģiskās izmaiņas
<b>Evaporimetrija</b>	Atklāj reālā laika izmaiņas asaru iztvaikošanas ātrumā un pārbauda asaru plēves stabilitāti

Plakstu higiēna tiek uzskatīta par MGD klīniskās ārstēšanas pamatu un galvenokārt sastāv no siltuma pielietošanas un mehāniskas plakstu masāžas. Sildīšanu var panākt ar dažādiem līdzekļiem – sākot ar vienkāršām siltām kompresēm (piemēram, karsts, mitrs dvielis, sakarsēts rīsu maisiņš) vai arī īpaši izstrādātām plakstu sildīšanas maskām, kā arī infrasarkanās gaismas vai karstu gaisu radošiem avotiem. Olson et al. (2003) un citi savos pētījumos ziņo, ka piecu minūšu ilga plakstu sildīšana ar silta, mitra dviela kompresi 40° C, kas uzklāta uz plakstiņu ādas, palielināja asaru plēvītes lipīdu slāņa biezumu vairāk nekā par 80 % pacientiem ar obstruktīvu MGD, vēl turpinot uzlaboties par 20 % pēc 15 minūšu ārstēšanas. Blackie et al. (2008) un citi publicējuši optimizētus ieteikumus silto kompresu lietošanai. Viņi iesaka nepārtraukti lietot 45 °C karstās kompreses vismaz 4 minūtes, nomainot jaunu, uzkarētu kompresi ik pēc 2 minūtēm, tā radot atbilstošu plakstu sasīšanu dziedzeriem ar izmainītu sekrēciju. Goto et al. (2002) ziņoja par paaugstinātu asaru stabilitāti un samazinātiem asaru sausuma simptomiem pēc 2 nedēļu ilgās terapijas ar infrasarkanā staru acu sildīšanas ierīci, kas tika lietota divas reizes dienā 5 minūtes pacientiem ar obstruktīvu MGD. Šīs ierīces lietošana uzlaboja asaru iztvaikošanas rādītājus, acu epitēlija bojājumus un Meiboma dziedzeru atveru nosprostojumu (Goto et al., 2002).

Ārstējot MGD bieži papildus plakstu sildīšanai tiek ieteikta plakstu higiēna un masāža – tai skaitā skropstu un plaksta malu mazgāšana, mehāniska tīrīšana un berzēšana, saspiešana vai masāža. Tās mērķis ir izspiest Meiboma dziedzerī radušos sastrēgumu, tādejādi veicinot normālu dziedzeru darbību.

Ikdienas klīniskajā praksē netiek pievērsta pietiekami liela uzmanība Meiboma dziedzeru un lipīdu slāņa izvērtēšanai. Lai gan MGD tiek uzskatīts par vienu no visbiežāk sastopamajiem acs virsmas slimības simptomu veidošanās cēloņiem, jo īpaši tiem, kas saistīti ar sauso aci. Šī pētījuma uzdevums bija izprast nepieciešamās metodes un testus Meiboma dziedzeru funkciju izmaiņu

novērtēšanā un problēmas identificēšanā, kā arī, izmantojot plakstu sildošo masku terapiju un masāžu, izvērtēt tās devumu pacienta redzes komforta uzlabošanā un MGD samazināšanā, novērtējot dziedzeru darbības kvalitātes uzlabošanos un asaru plēvītes stabilizēšanos.

## Metodika

Lai izvērtētu MGD sastopamību 55 pētījuma dalībniekiem, tika veikti četri testi, kas palīdz izvērtēt Meiboma dziedzeru darbību. Priekšējo acu struktūru novērtēšanas testi tika veikti noteiktā secībā - lipīdu slāņa biezuma noteikšana, neinvazīvais asaru plīšanas laiks NiBUT, Meiboma dziedzeru ekspresija, invazīvais asaru plīšanas laiks FBUT un meibogrāfija.

Struktūru novērtēšanai tika izmantots biomikroskops *HUVITZ 04/2016*. Lipīdu slāņa biezuma noteikšanai spraugas lampai papildus tika pievienots *Polaris Tearoscope*. Lipīdu slāņa biezuma ainas tika izvērtētas piecās biezuma pakāpēs, pēc *Guillon* (1998) izstrādātās klasifikācijas sistēmas:

1. Atvērtais režģis – *Open meshwork* (13-30 nm) – pelēki bāls, vāji redzams.
2. Slēgtais režģis – *Closed meshwork* (30-50 nm) – pelēka nokrāsa, salīdzinoši labi saredzams.
3. Viļņveida – *Wave* (50-80 nm) – labi saredzami vertikāli vai horizontāli pelēki viļņi.
4. Amorfa – *Amorphous* (80-90 nm) – stabils, pietiekami biezs, gaišs lipīdu slānis ar viegli dzeltenu papildus nokrāsu.
5. Krāsainās bārkstis – *Colour fringes* (90-180 nm) – labi redzama brūnas un zilas krāsas interferences aina. Norāda uz vienmērīgu, pilnīgu lipīdu slāni.

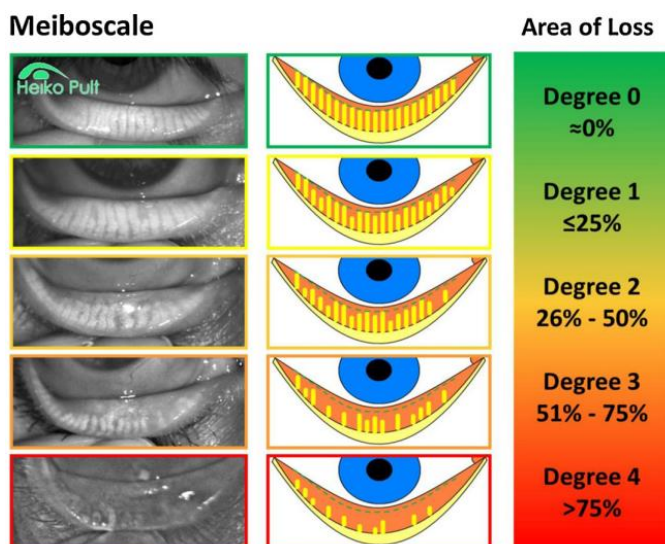
Lipīdu slāņa biezums svārstās no aptuveni 13 līdz 180 nm (*Born et al., 2004; Tomlinson et al., 2011; Isreb et al., 2003*). Par stabilu uzskatīts amorfa lipīdu slāņa veids, kas ir 80-90 nm biezs; par normālu un biežāk sastopamo formu tiek pieņemts viļņveida un krāsu veids, kas atbilst 50 līdz 140 nm biežam lipīdu slānim (*Guillon, 1998*). Savukārt kā plāns tiek apzīmēts atvērtā un slēgta režģa lipīdu slāņa veids, kas atbilst 13-50 nm un tas pēc pētījuma datiem korelē ar asaru plēves nestabilitāti, palielinātu tās iztvaikošanas ātrumu, augstu osmolaritāti, sausās acs simptomiem un acu bojājumiem (*Olson et al., 2003*).

Kā nākamais tika veikts NiBUT (*non-invasive tear break-up time*) jeb neinvazīvais asaru plīšanas tests, kura veikšanai tika izmantots spraugas lampai pievienots *Polaris Tearoscope*, kam vēl papildus tiek izmantots režģa filtrs. Neinvazīvais asaru plīšanas laiks tika mērīts sekundēs trīs reizes no pēdējās mirkšķināšanas brīža līdz pirmajam režģa attēla kropļošanās brīdim.

Meiboma dziedzeru sekrēta kvalitātes un kvantitātes novērtējumam tika izmantots Meiboma dziedzeru ekspresijas tests. Uzspiežot ar pirkstu uz apakšējā plaksta malas tika novēroti 5-8 centrālie dziedzeri skatoties caur spraugas lampu difūzajā apgaismojumā. Meiboma dziedzeru sekrēcijas kvantitāte tika izvērtēta trīs pakāpju skalā: 1. pakāpe = brīvi, viegli izdalās, 2. pakāpe = izdalās aizkavēti, 3. pakāpe = neizdalās. Meiboma dziedzeru sekrēcijas kvantitāte tika iedalīta četru pakāpju skalā: 0. pakāpe = normāls, dzidrs, eļļains sekrēts, 1. pakāpe = necaurspīdīgs, duļķains, normāla viskozitāte, 2. pakāpe = necaurspīdīgs, palielināta viskozitāte, 3. pakāpe = izteikti sabiezināts, līdzīgs zobu pastai.

FBUT (*fluorescein tear break-up time*) jeb asaru plēvītes plīšanas laika novērtēšana ar fluorescīnu. Iekrāsotā asaru plēvīte tiek novērtēta skatoties spraugas lampā, izmantojot kobaltzilo gaismu un papildus dzeltenu filtru. Asaru plēves plīšanas laiks ir asaru plēves stabilitātes rādītājs, ko mēra sekundēs. Tiek novērtēts laiks no pēdējās mirkšķināšanas brīža līdz pirmajam asaru plēvītes plīsumam, kas parādās kā tumša līnija. Normāls FBUT plīšanas laiks ir lielāks par 10 sekundēm (10 līdz 34 sekundes). Ja laiks ir  $\leq 10$  sekundēm, tad to saista ar sausās acs slimību (*Tomlinson et al., 2011*).

Meibogrāfija ir specializēta tehnika, ar kuras palīdzību var novērtēt Meiboma dziedzeru kanālu struktūru siluetus, apgaismojot izgrieztā plakstiņa iekšējo daļu (*Tomlinson et al., 2011*). Tiek izvērtēta dziedzeru izkrišanas jeb atrofijas pakāpe, izmantojot *Pult* (2012) radīto klasifikācijas skalu, kas piedāvā meiboma dziedzeru morfoloģiskās izmaiņas iedalīt piecās pakāpēs (skat. 1. att.).

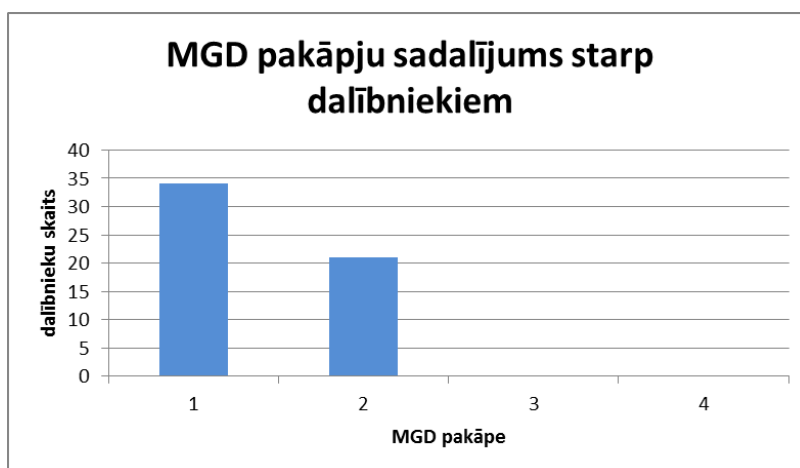


1. att. Piecu pakāpju meiboma dziedzeru izžušanas klasifikācijas skala (Pult, 2012).

Pētījuma noslēdzošajā posmā 16 dalībnieki veica divu nedēļu ilgu terapijas kursu. Dalībnieki tika sadalīti divās grupās. Pirmā grupa (n = 10), tika iekļauti dalībnieki ar 2. pakāpes MGD, otrā grupa (n = 6) – kontroles grupa. Katram dalībniekam 10 dienu laikā bija jāveic 20 plakstu sildīšanas un masāžas cikli. Katru darba dienu divas reizes dienā tika sildīti plaksti ar „Eye Mask” plakstu sildošajām kompresēm. Viena sildīšanas reize ilga septiņas minūtes, kurai sekoja vienu minūti gara meiboma dziedzeru masāža. Siltās kompreses pildītas ar dabīgām linu sēklām un tās paredzēts sildīt mikroviļņu krāsnī.

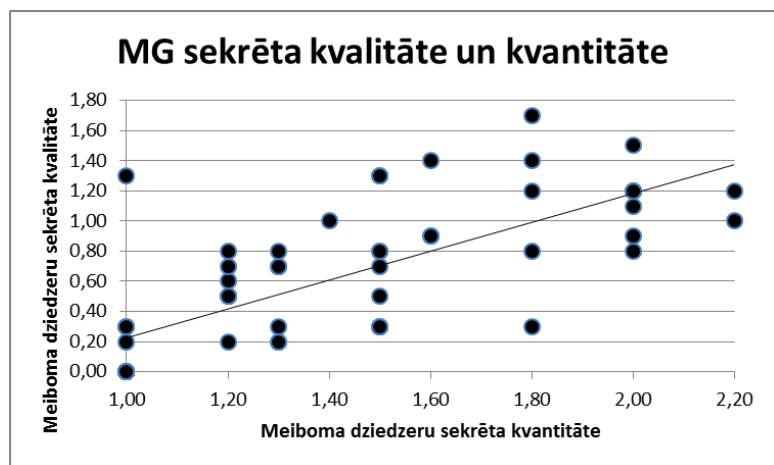
## Rezultāti un to analīze

Veicot meiboma dziedzeru ekspresiju, tika izvērtēti divi sekrēta parametri – kvalitāte un kvantitāte, kurus apkopojot ir iespējams noteikt dalībnieka MGD pakāpi. MGD tiek izdalīta četrās pakāpēs. Izvērtējot 55 pētījuma dalībniekus tika diagnosticēta tikai pirmās un otrās pakāpes MGD (skat. 2. att.). Šī pētījuma dati norāda, ka 2. pakāpes MGD sastopamība ir 38 % starp cilvēkiem, kuri savu ikdienu pavada strādājot pie datora.



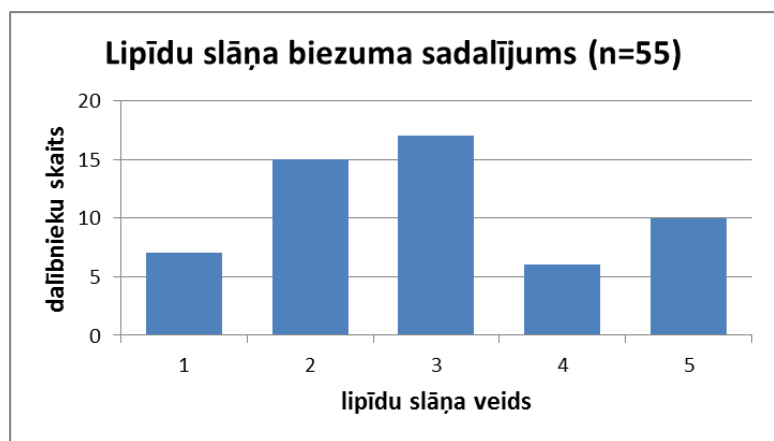
2. att. MGD pakāpju sadalījums.

Mainoties meiboma dziedzeru sekrēta kvalitātei, tika sagaidītas izmaiņas arī tā kvantitātē (skat. 3. att.). Grafiks parāda augošu lineāro sakarību starp abiem rādītājiem un to aprēķinātā korelācija uzrāda ciešu sakarību starp abiem parametriem ( $r = 0,73$ ). Tā tiek vērtēta kā statistiski būtiska, jo  $r > r_{0,05, 55} = 0,26$ .

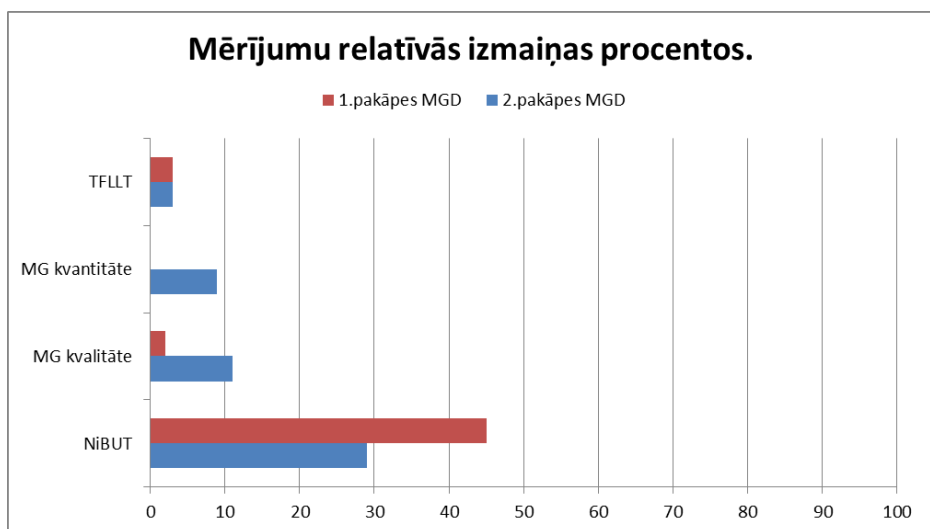


3. att. MG sekrēta kvalitāte, kvantitāte ( $r = 0,73$ ).

Novērtējot lipīdu slāņa biezumu, visbiežāk dalībniekiem tika novērots slēgta režģa vai viļņveida tips, kas atbilstoši bija 27 % un 31 % no kopējā dalībnieku skaita. Lipīdu slāņa biezuma sadalījums apskatāms 4. attēlā.



4. att. Lipīdu slāņa sadalījums: 1. atvērtais režģis (13-30 nm) – 13 % (n = 7); 2. slēgtais režģis (30-50 nm) – 27 % (n = 15); 3. viļņveida (50-80 nm) – 31 % (n = 17); 4. amorfais (80-90 nm) – 11 % (n = 6); 5. krāsu (90-170 nm) – 18 % (n = 10).



5. att. NiBUT, MG kvalitātes, MG kvantitātes un TFLLT rādītāju uzlabojuma grafiks relatīvajās vienībās (procentos) pēc 10 dienu terapijas kursa. Zilā krāsā 2. pakāpes MGD dalībnieku grupa (n = 10), sarkanā krāsā – 1. pakāpes MGD dalībnieku grupa (n = 6).

Plakstu terapija, kas ietver divu nedēļu ilgu plakstu silto komprešu lietošanu un masāžu, ir nozīmīga MGD ārstēšanas metode. Tā samazina acu diskomforta pazīmes, uzlabo asaru plīšanas laiku un stabilizē lipīdu slāni asaru plēvē. Pēc 10 dienu ilgas plakstu silto komprešu terapijas 2. pakāpes MGD gadījumā tiek novērota 29 % NiBUT, 11 % MG kvalitātes, 9 % MG kvantitātes un 3 % lipīdu slāņa biezuma rādītāju uzlabošanās. Terapijas rezultāti apskatāmi 5. attēlā.

Pētījumā iegūtie dati norāda uz nepieciešamību pēc regulāras priekšējo acu struktūru un asaru kvalitātes novērtēšanas. Tas palīdzētu laicīgi diagnosticēt problēmu un meklēt risinājumus sausās acs dažādo formu ārstēšanai. Klīniskie dati labāk uzrāda acs virsmas problemātiku, nekā pacientu izteiktās sūdzības, kas norāda, ka pacienti galvenokārt ir asimptomātiski. Piemēram, lipīdu slāņa biezuma mērījumos 40 % dalībnieku tiek konstatēts samazināts lipīdu slānis līdz 50 nm (13 % dalībniekiem – 13-30 nm, 27 % – 30-50 nm), kas tiek saistīts ar sausās acs pazīmēm. NiBUT un FBUT mērījumi norāda vēl lielāku problemātisko pacientu grupu, kur 69-75 % tiek izmērīts pārāk īss asaru plīšanas laiks (zem 10 sekundēm), kas atkal norāda uz sausās acs pazīmēm. Izvērtējot Meiboma dziedzeru darbību, 2. pakāpes MGD tiek konstatēta 38 % dalībnieku.

## Pateicības

Metode un pētījums izstrādāti LU Bāzes un Snieguma projektu, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 ietvaros. Paldies SIA "OC Vision" par plakstu sildošo masku nodrošināšanu „*Eye Doctor Eye Mask*” pētījuma izstrādē.

## Literatūra

- Blackie, C.A., Solomon, J.D., Greiner, J.V., Holmes, M., & Korb, D.R. (2008). Inner eyelid surface temperature as a function of warm compress methodology. *Optometry Vision Science*, 85(8), 675-683.
- Born, A.J., Tiffany, J.M., Gouveia, S.M., Yokoi, N., & Voon, L.W. (2004). Functional aspects of the tear film lipid layer. *Experimental Eye Research*, 78(3), 347-360.
- Efron, N. (2012). *Contact lens complications*. Elsevier Ltd., 52-58.
- Geerling, G., Baudouin, C., Argona, P., Rolando, M., Boboridis, K.G., Benitez-del-Castillo, J.M., Akova, Y.A., Merayo-Llodes, J., Labetoulle, M., Steinhoff, M., & Messmer, E.M. (2017). Emerging strategies of the diagnosis and treatment of meibomian gland function: Proceeding of the OCEAN group meeting. *The Ocular Surface*, 15(2), 179-192.
- Goto, E., Monden, Y., & Takano, Y. (2002). Treatment of non-inflamed obstructive meibomian gland dysfunction by an infrared warm compression device. *British Journal of Ophthalmology*, 86(12), 1403-1407.
- Guillon, J.P. (1998). Non-invasive tarscope plus routine for contact lens fitting. *Contact Lens and Anterior Eye*, 21(Suppl 1), S31-40.
- Isreb, M.A., Greiner, J.V., Korb, D.R., Glonek, T., Mody, S.S., Finnemore, V.M., & Reddy, C.V. (2003). Correlation of lipid layer thickness measurements with fluorescein tearfilm break-up time and Shirmer's test. *Eye*, 17(1), 79-83.
- Nelson, J.D., Shimazaki, J., Benitez-del-Castillo, J.M., Craig, J.P., McCulley, J.P., Den, S., & Foulks, G.N. (2011). The International Workshop on Meibomian Gland Dysfunction: Report of the Definition and Classification Subcommittee. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(4), 1930-1937.
- Nichols, K.K., Foulks, G.N., Bron, A.J., Glasgow, B.J., Dogru, M., Tsubota, K., Lemp, M.A., & Sullivan, D.A. (2011). The International Workshop on Meibomian Gland Dysfunction: Executive Summary. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(4), 1922-1929.
- Olson, M.C., Korb, D.R., & Greiner J.V. (2003). Increase in tear film lipid layer thickness following treatment with warm compresses in patients with meibomian gland dysfunction. *Eye & Contact Lens*, 29(2), 96-99.
- Opitz, D.L., Harthan, S., Fromstein, S.R. & Hauswirth, S. (2015). Diagnosis and management of meibomian gland dysfunction: optometrists' perspective. *Clinical Optometry*, 15(7), 59-69.
- Pult, H. (2012). Review of meibography. *Optometry and Vision Science*, 89(5), 760-769.
- Tomlison, A., Bron, A.J., Korb, D.R., Amano, S., Paugh, J.R., Pearce, E.I., Yee, R., Yokoi, N., Arita, R., & Dogru, M. (2011). The international workshop on meibomian gland dysfunction report of the diagnosis subcommittee. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(4), 2006-2048.

# Gaisa mitruma un gaisa temperatūras korelācija ar subjektīvajām sūdzībām un acs priekšējo struktūru stāvokli

Linda Eglīte, Anete Petrova, Evita Kassaliete un Gunta Krūmiņa  
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
anete.petrova@lu.lv

## Anotācija

Darba mērķis: Noskaidrot vidējo gaisa mitrumu un gaisa temperatūru Latvijas Universitātes Dabaszinātņu Akadēmiskajā centra Dabas mājā, kā arī šo vides apstākļu ietekmi uz darbinieku acs ārējām struktūrām.

Darba uzdevumi: nomērīt gaisa mitrumu un temperatūru Latvijas Universitātes Dabaszinātņu Akadēmiskajā centra Dabas mājas dažādos kabinetos un stāvos; novērtēt vides faktoru un sūdzību par redzes diskomfortu saistību ar acs priekšējo struktūru klīnisko stāvokli; novērtēt, kuras acs struktūras visvairāk ietekmē gaisa mitrums.

Secinājumi: Visvairāk sūdzību ir par gaisa kvalitāti, ko papildina fakts, ka gaisa mitrums ir zem normas ( $11,1 \pm 0,8$  %).

## Atslēgas vārdi:

Gaisa mitrums, gaisa temperatūra, acs ābola hiperēmija, LIPCOF, LWE

## Literatūras pārskats

Hiperēmija jeb “sarkanā acs” rodas, paplašinoties acs ārējo struktūru asinsvadiem un palielinoties asins daudzumam tajos. Hiperēmija parādās dažādu kairinājumu, iekaisumu vai sistēmisku saslimšanu rezultātā, līdz ar to acs ābola konjunktīvas hiperēmija var rasties sistēmisku faktoru vai ar acs struktūrām saistītu faktoru rezultātā un var norādīt uz pasliktinātu acs veselības stāvokli (*Murphy et al.*, 2007). Konjunktīvas hiperēmiju palielina tādi faktori kā acu sāpes, bezmiegs, alkohola lietošana, dažādi vides faktori – vējš, putekļi, cigarešu dūmi, gaisa piesārņojums, u.c. faktoriem (*Pult et al.*, 2008). *Pult et al.* (2008) noskaidroja, ka temporālajā un nazālajā acs kvadrantā ir sastopama lielāka acs ābola konjunktīvas hiperēmija, nekā augšējā un apakšējā acs kvadrantā, jo temporālais un nazālais acs kvadrants ir vairāk pakļauts tādu apkārtējās vides faktoru ietekmei, kā gaisa temperatūra, piesārņojums, gaisa mitrums u.c.

Viens no sausās acs diagnostikas izmeklējumiem ir plaksta malai paralēlo konjunktīvas kroku jeb LIPCOF (*lid-parallel conjunctival folds*) novērtēšana, kas ir atzīta par vienkāršu, neinvazīvu sausās acs slimības izmeklējuma metodi, jo sausai acij būs novērojamas vairāk plakstam paralēlo konjunktīvas kroku, nekā pietiekami mitrinātai acij, kurai nav sausās acs pazīmju (*Nemeth et al.*, 2012).

Augšējā plaksta marginālās konjunktīvas epiteliopātijas jeb LWE (*lid wiper epitheliopathy*) novērtējums ir vēl viens sausās acs diagnostikas izmeklējums, kurā tiek klīniski novērtētas izmaiņas augšējā plaksta marginālās konjunktīvas vertikālajās un horizontālajās daļās, izmantojot biomikroskopu un krāsvielu fluoresceīnu (*Pult et al.*, 2008). LWE izmaiņas korelē ar citām sausās acs slimības pazīmēm, asaru plēvītes stabilitāti un pacientu sūdzībām par redzes diskomfortu (*Knop et al.*, 2011). Par LWE veidošanās iemeslu tiek uzskatīts plaksta malas konjunktīvas bojājums, kas rodas regulāri “noslaukot” acs priekšējo virsmu, kurai nav stabilas asaru plēvītes, rezultātā bojājot plaksta malas konjunktīvas audus. LWE ir viena no pirmajām sausās acs pazīmēm, kuru var objektīvi novērot. LWE var novērot 76 % pacientu, kuriem ir sūdzības par redzes diskomfortu un kuri lieto kontaktlēcas, kā arī 48 % no pacientu, kuriem ir sūdzības par redzes diskomfortu un kuri nelieto kontaktlēcas (*Yeniad et al.*, 2010). LWE var uzrādīt arī sausās acs sindromu tā sākuma stadijā arī tad,

ja tādu objektīvo testu rezultāti kā radzenes krāsošanās, BUT ( $\geq 10$  sekundes) un Širmera testa ( $\geq 10$  mm) atbilst normas robežām un neuzrāda sausās acs sindroma pazīmes (Yeniad et al., 2010).

Asaru plēvītes stabilitāti ietekmē dažādi vides faktori (zems gaisa mitrums, augsta gaisa temperatūra, gaisa piesārņojums, vējš u.c.), vecums, mirkšķināšanas biežums, veicamais darbs (darbā, kur nepieciešama ilgstoša koncentrēšanās, cilvēks mazāk mirkšķina un asaru plēvītes stabilitāte samazinās) u.c. faktori (Nielsen et al., 2008). Asaru plēvītei ir svarīga nozīme acs mitruma nodrošināšanā un acs priekšējās virsmas aizsardzībā, jo tā ir barjera, kura gan pasargā radzenes epitēliju no dažādu toksīnu, ķīmikāliju un svešķermeņu bojājumiem, gan arī apgādā ar nepieciešamajām barības vielām (DelMonte & Kim, 2011). Ja gaisa mitrums telpā palielinās, tad palielinās arī lipīdu slāņa biezums cilvēkiem ar sausās acs sindromu (Korb et al., 1996). Tomēr, ja tiek palielināta gaisa temperatūra un samazināts gaisa mitrums, tad asaru plēvītes ūdens slānis ir plānāks, salīdzinot ar zemas gaisa temperatūras un augsta gaisa mitruma vides apstākļiem (Paschides et al., 1998).

Ja asaru plēvīte ir nestabila, tad tas var radīt dažādas subjektīvas sūdzības – sausumu, dedzināšanu, durošu sajūtu, miglainu redzi u.c. sūdzības (Wolkoff et al. 2004). Lai novērtētu subjektīvās sūdzības, kuras var norādīt uz sausās acs sindromu, ir izstrādātas dažādas anketas, piemēram, *McMonnies* sausās acs izvērtēšanas anketa un OSDI – *Ocular Surface Disease Index* (Korb et al. 2010).

Viena no riska grupām, kuriem mēdz būt sūdzības par redzes diskomfortu, ir darbiniekiem, kuri strādā birojā, jo tā darbiniekiem ir samazināts asaru plēvītes lipīdu slānis un vairāk izplatīts sausās acs sindroms darba vides apstākļu dēļ (Wolkoff, 2017). Biroju darbiniekiem var būt dažādas ar redzes diskomfortu saistītas sūdzības – acu nogurums, sausums, dedzināšana, acu saspringums (Wolkoff, 2016). Līdz ar to sūdzības, kuras ir cilvēkam ar nestabilu asaru plēvīti, var būt dažādu faktoru izraisītas: vides faktori (zems gaisa mitrums, augsta gaisa temperatūra un gaisa piesārņojums), uzdevums, kurš prasa pastiprinātu uzmanību (koncentrējoties acs mirkšķināšanas daudzums samazinās no 16,8 reizēm minūtē uz 6,6 reizēm minūtē (Schlote et al., 2003), kā arī koncentrējoties acis tiek atvērtas plašāk un tiek atklāta lielāka acs virsmas daļa, kas veicina asaru plēvītes iztvaikošanu), individuālie faktori, kā kontaktlēcu lietošana, meiboma dziedzeru disfunkcija, asaru plēvītes stabilitāte un citi faktori.

Tad, ja gaisa temperatūra ir augstāka un gaisa mitrums ir zemāks, tad biroja darbinieku subjektīvās sūdzības pēc smaguma pakāpes palielinās, kā arī ir nestabilāka asaru plēvīte, nekā pie zemākas gaisa temperatūras un augstāka gaisa mitruma. Paaugstinoties gaisa temperatūrai, samazinās mirkšķināšanas biežums, lai kontrolētu radzenes temperatūru (Wolkoff, 2008). Zems gaisa mitrums (5-30 %) samazina asaru plēvītes stabilitāti un acs gļotādas mitrumu, kā arī samazinās mirkšķināšanas biežums, bet paaugstinoties gaisa mitrumam, uzlabojas arī redzes komforts, tāpēc ieteicamais gaisa mitrums ir 40 % (Wolkoff, 2008). Paaugstinoties gaisa mitrumam, samazinās asaru plēvītes ūdens iztvaikošana, un paaugstinās BUT asaru plēvītes plīšanas laika novērtēšanas testa vērtība, asaru plēvītes biezums un acs plēvītes stabilitāte (Wolkoff, 2008; Korb et al., 2010).

## Metodika

Pētījuma pirmajā daļā tika izmantota anketēšana, lai atlasītu dalībniekus pētījuma otrajai daļai. Uz *McMonnies* sausās acs diagnostikas anketas (anketu tulkoja: *Alcon Novartis Pharma Services Inc.* pārstāvniecība Latvijā, 2016. gadā) un pētījuma veicēju izstrādātās anketas jautājumiem atbildēja 125 dalībnieki no Latvijas Universitātes Dabaszinātņu Akadēmiskā centra (LU DAC) Dabas mājas, no kuriem 49 bija vīrieši un 76 sievietes. Pēc anketēšanas rezultātiem uz otro kārtu tika uzaicināti un piedalījās 50 cilvēki, kur 7 dalībnieki bija vecumā līdz 25 gadiem, 30 dalībnieki vecuma grupā 25-45 gadiem un 13 dalībnieki vecumā virs 45 gadiem.

Lai novērtētu gaisa mitrumu un temperatūru, tika izmantota ierīce *Environment meter EM – 9300 SD*. Pētījuma dalībniekiem tika pārbaudītas acu priekšējās struktūras biomikroskopijā (acs ābola konjunktīvas hiperēmija, LIPCOF, LWE) mezopiskos apstākļos. Lai novērtētu acs ābola konjunktīvas hiperēmiju, tika izmantota Efrona gradāciju skala. LIPCOF tika novērtēts pāris

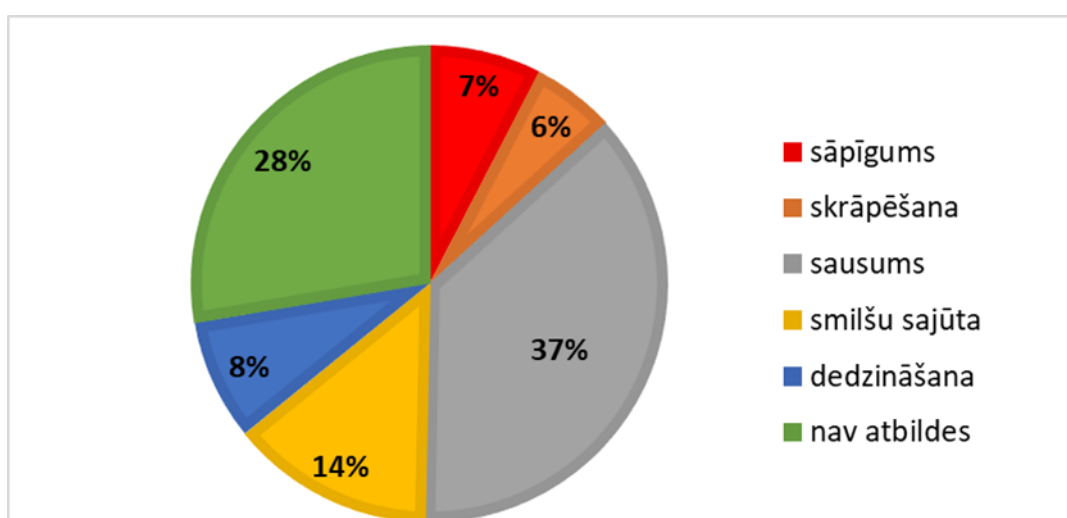


sekundes pēc pēdējās mirkšķināšanas pie primārās skata pozīcijas (Nemeth et al., 2012). LWE novērtēšanai tika izmantoti 1 mg nātrija fluoresceīna strīpas un dzeltenais filtrs kontrasta uzlabošanai.

Katram dalībniekam pēc pētījuma otrās daļas bija jāaizpilda OSDI anketa, kurā tika lūgts sniegt datus par tā brīža sūdzībām par redzes diskomfortu, kabineta apgaismojumu, mitrumu un gaisa temperatūru.

## Rezultāti un to analīze

Dalībnieki izpildīja kopumā trīs dažādas anketas (*McMonnies* sausās acs diagnostikas anketa, OSDI un pētījuma veicēju izveidota anketa), lai noskaidrotu kādas ir sūdzības saistībā ar redzes diskomfortu un darba vides faktoriem. Kopā uz *McMonnies* sausās acs diagnostikas anketu un pētījumu veicēju izveidoto anketu jautājumiem atbildēja 125 cilvēki, bet uz OSDI anketu atbildēja 42 cilvēki. Kā redzams 1. attēlā, lielākajai daļai aptaujāto jeb 72 % bija sūdzības vismaz par vienu faktoru, kurš rada redzes diskomfortu, bet tikai 28 % neizjuta nevienu no simptomiem. Visbiežākās sūdzības bija par acu sausumu, kas izpaudās 37 % no aptaujātajiem. Ar gaisa kvalitāti neapmierināti bija 63 %, bet tikai 20 % bija neapmierināti par apgaismojumu savās darba telpās.

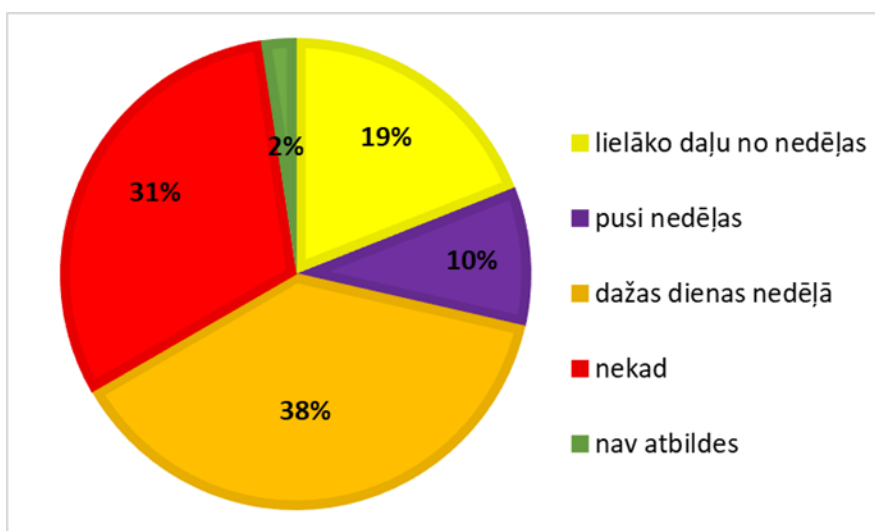


1. att. Dalībnieku sūdzības par redzes diskomfortu pēc *McMonnies* sausās acs diagnostikas anketas rezultātiem (n = 125).

Jūtību pret sausu gaisu neizjuta tikai 31 % pētījuma dalībniekiem, 67 % izjuta diskomfortu pret gaisa kvalitāti no dažām dienām nedēļā līdz lielākajai daļai no nedēļas (skat. 2. att.). Pret vēju jutīgas acis vismaz dažas dienas nedēļā bija 45 % no aptaujātajiem, un visu laiku vai lielāko daļu nedēļas jutību pret vēju izjuta 17 % no respondentiem. Pēc anketu rezultātiem var spriest par to, ka visvairāk sūdzību ir par gaisa kvalitāti, nevis apgaismojumu vai gaisa kondicionieriem.

Maija sākumā 11 simptomātiskie pētījuma dalībnieki atkārtoti pildīja OSDI anketu, lai noskaidrotu, vai paaugstinoties gaisa mitrumam telpās sakarā ar apkures sezonas beigām, samazinās sūdzības par redzes diskomfortu. Paaugstinoties gaisa mitrumam no  $15,7 \pm 5,0$  % (februārī) uz  $35,7 \pm 1,9$  % (aprīļa beigas – maija sākums), sūdzības samazinās no  $27,4 \pm 16,1$  punktiem uz  $22,0 \pm 11,3$  punktiem ( $p < 0,001$ ), līdz ar to var uzskatīt, ka gaisa mitrums ietekmē redzes komfortu un sūdzību pakāpi.

Apskatot korelāciju starp acs priekšējo struktūru veselības stāvokli un sausās acs diagnostikas anketām, visspēcīgākā korelācija bija ar *McMonnies* sausās acs diagnostikas anketu, bet ar OSDI anketas rezultātiem spēcīga korelācija bija tikai acs ābola konjunktīvas hiperēmijas pakāpes novērtējumam.



2. att. OSDI anketas rezultāti uz jautājumu par jutību pret sausu gaisu kabinetos (n = 42).

1. tabulā var redzēt kopējos LIPCOF rezultātus pētījuma dalībniekiem. Simptomātisko pacientu grupā 1. pakāpe bija 39 % no pārbaudītajiem dalībniekiem, bet 2. pakāpe – 44 % no dalībniekiem. Taču asimptomātisko dalībnieku grupā var novērot, ka 1. pakāpe ir 53 % pacientu, bet 2. pakāpe ir tikai 14 % pacientu. Kā var redzēt 1. tabulā, lielāka LIPCOF pakāpe vairāk ir novērojama simptomātiskajiem pacientiem, nevis tiem pacientiem, kuriem nav sūdzību saistībā ar redzes komfortu.

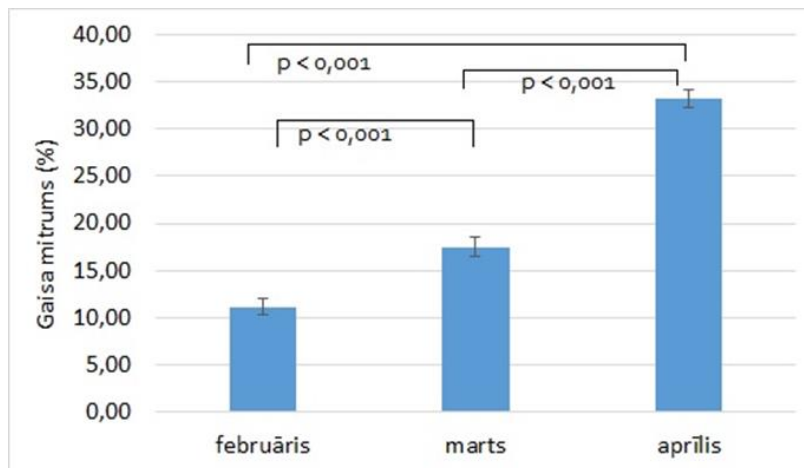
1. tabula

	LIPCOF kopējie rezultāti			
	0. pakāpe	1. pakāpe	2. pakāpe	3. pakāpe
<b>Simptomātiskie (n = 18)</b>	6 %	39 %	44 %	11 %
<b>Asimptomātiskie (n = 21)</b>	19 %	53 %	14 %	14 %

Palielinoties subjektīvo sūdzību pakāpei, palielinās arī LIPCOF pakāpe, kas var norādīt uz sausās acs sindromu. Līdzīgu situāciju var novērot salīdzinot, kā mainās acs ārējo struktūru stāvoklis, pieaugot sūdzībām par gaisa mitrumu kabinetos - palielinoties sūdzību pakāpei, palielinās LIPCOF (no  $1,3 \pm 0,8$  vienībām uz  $1,8 \pm 1,3$  vienībām) un LWE pakāpe (no  $0,8 \pm 0,9$  vienībām uz  $1,3 \pm 0,8$  vienībām).

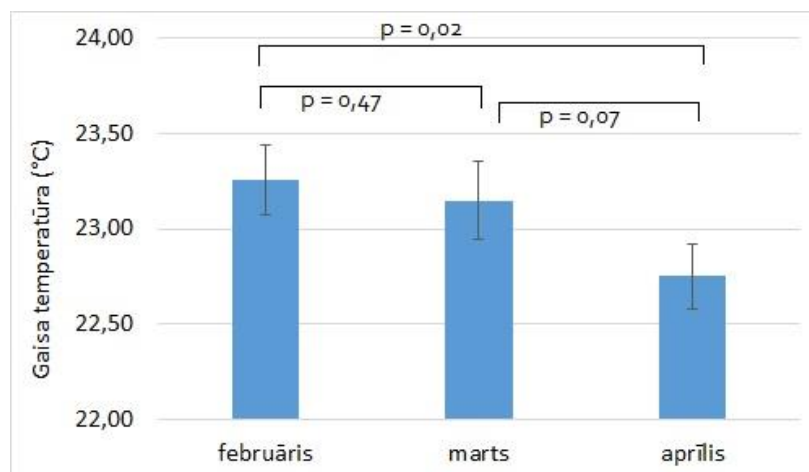
Tāpat, ja tiek apskatīts LWE un acs ābola konjunktīvas hiperēmija, tad var secināt, ka LWE un acs ābola konjunktīvas hiperēmija ir lielāka tiem dalībniekiem, kuriem ir izteiktākas sūdzības par redzes diskomfortu. Tomēr, ja apskata limba hiperēmiju, augšējā plaksta hiperēmiju, un asaru menisku, tad nav novērojama pakāpeniska acs struktūru stāvokļa pasliktināšanās. Līdz ar to var uzskatīt, ka šīs struktūras nav tik cieši saistītas ar subjektīvo sūdzību pakāpi. Šo faktu varētu uzskatīt par iemeslu, kāpēc literatūras avotos ir maz aprakstīta limba hiperēmija, augšējā plaksta hiperēmija un asaru meniska augstums cilvēkiem, kuri nelieto kontaktlēcas.

Laika periodā, kad tika ievākti dati pētījuma dalībnieku objektīvajām atradnēm, tika mērīts arī gaisa mitrums un gaisa temperatūra LU DAC Dabas mājas kabinetos un koridoros trīs mēnešu periodā (februāris – aprīlis). Gaisa temperatūra un gaisa mitrums koridoros, laboratorijās un kabinetos būtiski neatšķīrās ( $p > 0,05$ ). 3. attēlā parādītas gaisa mitruma izmaiņas šajā periodā, kas bija statistiski nozīmīgi atšķirīgas dažādos mēnešos ( $p < 0,001$ ). Viens no faktoriem, kas ietekmē gaisa mitrumu, ir ārpus telpas laikapstākļi – aukstākos laikapstākļos, gaisa mitrums bija zemāks.



3. att. Gaisa mitruma izmaiņas laika posmā no februāra līdz aprīlim.

Kaut gan gaisa mitrums mainījās statistiski nozīmīgi šo mēnešu laikā, vidējā gaisa temperatūra telpās statistiski nozīmīgi atšķīrās tikai starp februāri un aprīli, ( $p = 0,02$ ), bet starp februāri un martu ( $p = 0,47$ ), martu un aprīli ( $p = 0,07$ ) nav statistiski nozīmīgas atšķirības starp temperatūras izmaiņām dažādos mēnešos (skat. 4. att.). Iemesls varētu būt pakāpeniska gaisa temperatūras samazināšanās, kā rezultātā nav novērojama krasa gaisa temperatūras krišanās.



4. att. Gaisa temperatūras izmaiņas laika posmā no februāra līdz aprīlim.

Apskatot gaisa temperatūras ietekmi uz acs struktūrām, var secināt, ka pastāv vāja un nenozīmīga korelācija ar gaisa temperatūras izmaiņām un acs ārējām struktūrām. Bet apskatot korelāciju starp acs ārējām struktūrām un gaisa mitrumu, var secināt, ka gaisa mitrumam ir vidēji stipra korelācija tikai ar asaru menisku un LIPCOF.

LWE un LIPCOF ir viegli veicamas objektīvās sausās acs diagnostikas metodes, kuras ir iespējams pārbaudīt ar biomikroskopu bez speciālas papildus aparatūras optometristu vai oftalmologu kabinetos. Tā kā LWE ir viena no pirmajiem objektīvi novērtējamajām acs struktūru izmaiņām, kura norāda uz to, ka parādās sausās acs pazīmes pat pirms diskomforta un sūdzību parādīšanās, tad pārbaudot LWE, varētu ātrāk sākt risinājumu meklēšanu, lai uzlabotu acs struktūru stāvokli un cilvēks neizjustu redzes diskomfortu.

## Pateicības

Metode un pētījums izstrādāti LU Bāzes un Snieguma projektu, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 ietvaros.

## Literatūra

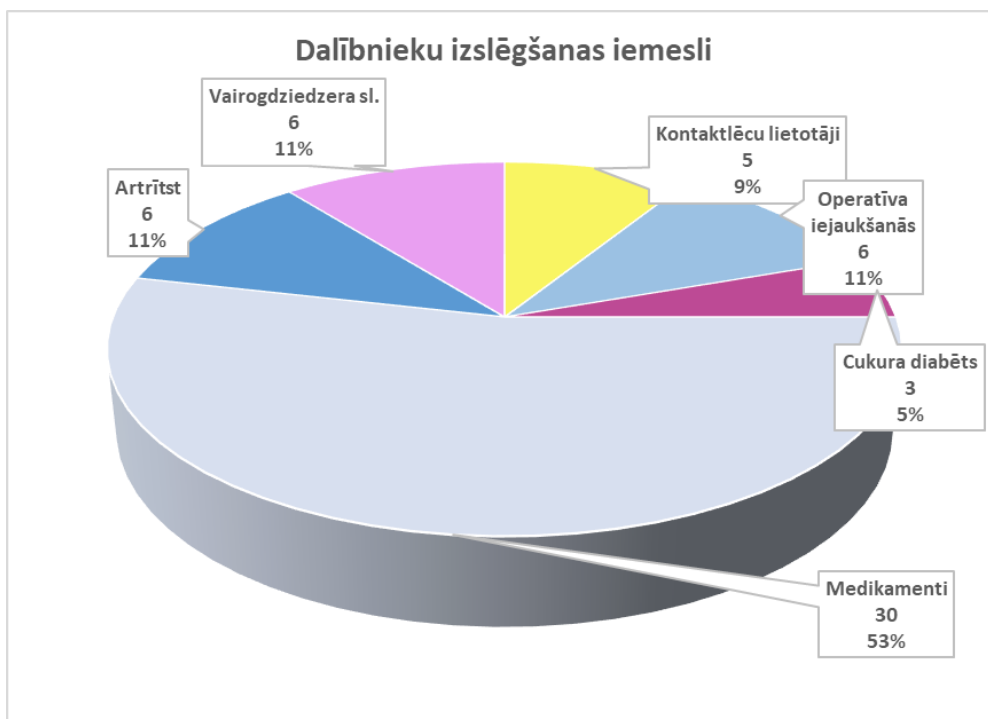
- DelMonte, D.K., & Kim, T. (2011). Anatomy and physiology of the cornea. *Journal of Cataract Refractive Surgery*, 37(3), 588-598.
- Yeniad, B., Beginoglu, M., & Bilgin, L.K. (2010). Lid – wiper epitheliopathy in contact lens users and patients with dry eye. *Eye & Contact Lens*, 36(3), 140-143.
- Knop, E., Knop, N., Zhivov, A., Kraak, R., Korb, D.R., Blackie, C., Greiner, J.V., & Guthoff, R. (2011). The lid wiper and muco-cutaneous junction anatomy of the human eyelid margins: An in vivo confocal and histological study. *Journal of Anatomy*, 218(4), 449-461.
- Korb, D.R., Greiner, J.V., Esbah, R., Finnemore, V.M., & Whalen, A.C. (1996). Effect of periocular humidity on the tear film lipid layer. *Cornea*, 15(2), 129-134.
- Korb, D.R., Herman, J.P., Blackie, C.A., Scaffidi, R.C., Greiner, J.V., Exford, J.M., & Finnemore, V.M. (2010). Prevalence of lid wiper epitheliopathy in subjects with dry eye signs and symptoms. *Cornea*, 29(4), 377-83.
- Murphy, P.J., Lau, J.S.C., Sim, M.L., & Woods, R.L. (2007). How red is a white eye? Clinical grading of normal conjunctival hyperaemia. *Eye*, 21(5), 633-638.
- Nemeth, J., Fodor, E., Lang, Z., Kosina-Hagyó, K., Berta, A., Komar, T., Petricek, I., Higazy, M., Prost, M., Grupcheva, C., Kemer, O. E., Schollayes, P., Samaha, A., & Hlavackova, K. (2012). Lid-parallel conjunctival folds (LIPCOF) and dry eye: a multicentre study. *British Journal of Ophthalmology*, 96(11), 1380-1385.
- Nielsen, P.K., Sogaard, K., Skotte, J., & Wolkoff, P. (2008). Ocular surface area and human eye blink frequency during VDU work: The effect of monitor position and task. *European Journal of Applied Physiology*, 103(1), 1-7.
- Paschides, C.A., Stefanidou, M., Papageorgiou, J., Skourtis, P., & Psilas, K. (1998). Ocular surface and environmental changes. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 76(1), 74-77.
- Pult, H., Murphy, P.J., Purslow, C., Nyman, J., & Woods, R.L. (2008). Limbal and bulbar hyperaemia in normal eyes. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 28(1), 13-20.
- Schlote, T., Kadner, G., & Freudenthaler, N. (2003). Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use. *Graefe's Archive for Clinical Experimental Ophthalmology*, 42(4), 306-312.
- Wolkoff, P. (2008). "Healthy" eye in office-like environments. *Environment International*, 34(8), 1204-1214.
- Wolkoff, P. (2017). External eye symptoms in indoor environments. *Indoor Air* 27(2), 246-260.
- Wolkoff, P., Nojgaard, J. K., Troiano, P., & Piccoli, B. (2005). Eye complaints in the office environment: precorneal tear film integrity influenced by eye blinking efficiency. *Occupational and Environmental Medicine*, 62(1), 4-12.

## Nobeigums

Pētījuma pirmajā posmā, kurā tika veikta anketēšana, piedalījās 125 dalībnieki. Tika aizpildītas trīs anketas: *McMonies*, OSDI un mūsu grupas izveidotā papildus anketa (60 % (n = 75) bija sievietes un 40 % bija (n = 50) vīrieši).

Visi pētījuma dalībnieki bija vecāki par 18 gadiem. Apskatot pirmā posma dalībnieku sadalījumu pa vecuma grupām un dzimumiem, tad lielākais dalībnieku skaits gan sieviešu vidū, gan vīriešu vidū bija vecuma grupā no 25 līdz 45 gadiem (sievietes n = 41, vīrieši n = 22). Līdzīga tendence saglabājas arī vecuma grupā līdz 25 gadiem (sievietes n = 14, vīrieši n = 10) un arī vecuma grupā pēc 45 gadiem (sievietes n = 20, vīrieši n = 18).

Apskatot dalībnieku izslēgšanas iemeslus, bija redzams, ka 53 % (n = 30) gadījumos izslēgšanas iemesls bija medikamentu lietošana, kas atstāj ietekmi uz asaru homeostāzi (skat. 1. att.). Tātad kā vienu no nozīmīgākiem un bieži sastopamiem faktoriem, kas ietekmē sausās acs pakāpi var minēt medikamentu lietošanu. No 125 dalībniekiem 9 % (n = 5) bija kontaktlēcu lietotāji, 11 % (n = 6) bija veikta acs operatīva iejaukšanās un 15 (25 %) dalībnieki uzrādīja tādas saslimšanas kā artrīts, cukura diabēts un vairogdziedzera problēmas. No turpmākās acu struktūru izvērtēšanas šie pacienti tika izslēgti, lai precīzāk novērtētu tieši vides un viedierīču, un datora lietošanas radītās acu anatomisko struktūru izmaiņas (skat. 1. att.).



1. att. Pētījuma pirmās kārtas dalībnieku izslēgšanas iemesli; % no dalībnieku skaita pētījuma 2. kārtā.

Vidējais sausās acs diagnostikas *McMonies* anketas rezultāts bija  $9 \pm 6$  punkti, kur norma ir no 0 līdz 10 punktiem. Šī anketa ir vērsta uz klīniskiem "risku faktoriem", bet neatspoguļo pacienta subjektīvo sajūtu novērtējumu. No visiem respondentiem ( $n = 123$ ) tikai 6 % gadījumu risks uz SAS bija mērens vai smags, 33 % viegls un 61 % atbilda normai. Apskatot *McMonies* anketas rezultātu saistību ar asaru osmolaritāti, nākas secināt, ka statistiski nozīmīga korelācija netiek konstatēta ( $r = 0,11$ ,  $n = 46$ ,  $p > 0,05$ ).

Savādāka situācija vērojama apskatot OSDI anketas rezultātu korelāciju ar asaru osmolaritātes mērījumu rezultātiem. Vidējais dalībnieku rezultāts ir  $19 \pm 14$  punkti, kas atbilst vieglai sausās acs sindroma pakāpei (no 13 līdz 22 punkti). No 55 respondentiem, kuri atbilda atlases kritērijiem, 15 % respondenti uzrādīja smagas SAS pakāpes sūdzības, 13 % mērenas un 25 % vieglas. Aptaujāto sūdzības par redzi rada vides faktoru un datorlietošanas paradumu kopums. Apskatot asaru osmolaritātes mērījumu rezultātu korelāciju ar dalībnieku OSDI anketu rezultātiem, vērojama statistiski būtiska korelācija starp šiem diviem rādītājiem ( $r = 0,23$ ,  $n = 26$ ,  $p < 0,05$ ). Tas nozīmē, ka sūdzību pakāpe norāda uz objektīviem anatomisko struktūru bojājumiem un OSDI anketas ir labākā izvēle, lai aptaujātu pacientus. *McMonies* anketa ir vērsta uz sausās acs risku faktoriem, savukārt OSDI anketas jautājumi ir vērsti uz subjektīvām sūdzībām. Tātad diagnosticējot sausās acs sindromu būtu vēlams veikt anketēšanu ar vismaz divām anketām.

1. tabulā var redzēt pētnieku grupas izveidotās papildus anketas jautājumus ar procentuālo atbilžu sadalījumu un skaitu LU Dabas mājas darbinieku vidū. Anketa ir lietojama praksē, tā ietver jautājumus, kas ir būtiski veselīga dzīvesveida izpratnei un nodrošināšanai.

Dalībniekiem anketā papildus tika uzdots jautājums par darba slodzi, lai noskaidrotu, cik vidēji stundas dalībnieks pavada LU Dabas mājas ēkā. No 125 dalībniekiem 62 % ( $n = 75$ ) ir pilnas slodzes darbinieki, bet 22 % ( $n = 27$ ) strādā uz pusslodzi un 16 % ( $n = 20$ ) ir pilna laika studenti. Dalībnieki, kas ir nodarbināti uz vienu pilnu slodzi darbā pavada vidēji 166 stundas mēnesī. 53 % no LU Dabas mājas aptaujātajiem darbiniekiem pavada pie datora un viedierīcēm 6 stundas un vairāk. Problemātiski, ka tikai 39 % no aptaujātajiem uzturas svaigā gaisā mazāk par stundu, kas nav atbilstoši vides ergonomikas principiem.



Papildus anketas jautājumi ar procentuālo atbilžu sadalījumu un skaitu.

Jautājums	Atbildes (procentuālais skaits) / (dalībnieku skaits)
Vai Jūs lietojat kontaktlēcas?	a) jā, biežāk nekā brilles (4 %)/(5) b) jā, bet retāk nekā brilles (9 %)/(11) c) nē (87 %)/(109)
Vai Jums ir veikta acs lāzerekcijas operācija vai kāda cita veida acu operācija?	a) jā (9 %)/(11) b) nē (91 %)/(114)
Vai Jums ir cukura diabēts?	a) jā (2,4 %)/(3) b) nē (97,6 %)/(122)
Cik stundas dienā Jūs pavadāt pie datora vai lietojot viedierīci?	a) nelietoju vispār (0 %)/(0) b) mazāk par 4 stundām dienā (5 %)/(6) c) 4 līdz 6 stundas dienā (42 %)/(53) d) vairāk kā 6 stundas dienā (53 %)/(66)
Vai Jūs apmierina darba vietas apgaismojums?	a) apmierina (76 %)/(95) b) neapmierina (20 %)/(25) c) neesmu pievērsis uzmanību (4 %)/(5)
Vai Jūs apmierina gaisa kvalitāte darba vietā?	a) apmierina (27 %)/(34) b) neapmierina (63 %)/(79) c) neesmu pievērsis uzmanību (10 %)/(12)
Cik stundas dienā Jūs pavadāt ārpus telpām svaigā gaisā?	a) līdz 1 stundai (39 %)/(49) b) no 1 līdz 4 stundām (58 %)/(72) c) vairāk par 4 stundām (3 %)/(4)
Cik daudz ūdeni Jūs izdzerat dienas laikā?	a) mazāk par 1 litru (30 %)/(37) b) no 1 līdz 2 litriem (59 %)/(74) c) vairāk par 2 litriem (11 %)/(14)
Vai Jūs ikdienā smēķējat?	a) jā (14 %)/(17) b) nē (83 %)/(104) c) esmu atmetis (3 %)/(4)

Analizējot dalībnieku atbildes uz jautājumu par apmierinātību ar gaisa kvalitāti darba vietā, tika konstatēts, ka 63 % (n = 79) ir neapmierināti ar gaisa kvalitāti, 27 % (n = 34) ar gaisa kvalitāti ir apmierināti un 10% (n = 12) nav šai problēmai pievērsuši uzmanību, tādēļ nebija spējīgi sniegt vērtējumu. Šie rezultāti norāda uz pastāvošu problēmu ar gaisa kvalitāti, bet nesniedz tiešu problēmas raksturojumu, kas konkrēti dalībniekus neapmierina gaisa kvalitātē. Statistiski nozīmīga korelācija starp asaru osmolaritāti un darbinieku viedokli par gaisa kvalitāti netika konstatēta. Ar gaisa kvalitāti apmierināto dalībnieku grupas vidējā asaru osmolaritāte bija  $313 \pm 11$  mOsm/l, savukārt ar gaisa kvalitāti neapmierināto grupas dalībnieku vidējā asaru osmolaritāte bija zemāka un sastādīja  $309 \pm 16$  mOsm/L.

## Pateicības

Metode un pētījums izstrādāti LU Bāzes un Snieguma projektu, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 ietvaros.

## ***Veicot acu priekšējo struktūru savstarpējo analīzi un anketēšanas rezultātu analīzi izveidojās secinājumi un ieteikumu ikdienas praksei***

- OSDI anketa uzrāda lielāku dalībnieku skaitu, kam pastāv risks uz smagas pakāpes sauso aci (15 %), nekā *McMonnies* anketu rezultāti (0,5 %). Labāko priekšstatu varam gūt izmantojot šo anketu kombināciju. Būtiska loma ir anamnēzes, darba un dzīves apstākļu izziņai.
- Paaugstinot gaisa relatīvo mitrumu darba telpās par vidēji 13 % RH, asaru osmolaritātes mērījuma rezultāti samazinājās par 11 mOsm/L. Tas apliecina gaisa relatīvā mitruma ietekmi uz asaru osmolaritāti. Tātad paaugstinot relatīvo gaisa mitrumu ir iespējams pozitīvi ietekmēt asaru osmolaritāti.
- Visvairāk gaisa mitrums ietekmē asaru menisku un LIPCOF vērtību, bet vismazāk augšējā plaksta hiperēmiju un raupjumu, ko var saistīt ar to, ka vairāk šīs struktūras ietekmē kontaktlēcu lietošana.
- Asaru osmolaritāte korelē ar Širmera testa rezultātiem ( $r = 0,31$ ,  $n = 46$ ,  $p < 0,05$ ), ar radzenes krāsošanos gan pēc Efron skalas, gan pēc CCRLU skalas ( $r = 0,30$ ,  $n = 48$ ,  $p < 0,05$ ) un ar TBUT testu ( $r = 0,3$ ,  $n = 50$ ,  $p < 0,02$ ). Šie ir testi, kuriem klīnikā jāpievērš uzmanība, pacientiem ar sausās acs sindroma sūdzībām.
- Palielinoties sūdzību biežuma pakāpei, vismazāk mainās limba hiperēmija, asaru meniska augstums un augšējā plaksta hiperēmija.
- Meiboma dziedzeru izmaiņas vidēji korelē ar meiboma dziedzeru sekrēta kvalitāti ( $r = 0,66$ ) un kvantitāti ( $r = 0,63$ ), un lipīdu slāņa biezumu ( $r = 0,63$ ).
- Desmit dienu ilgas plakstu silto komprešu terapija uzlabo NiBUT laiku par 29 %, par 11 % uzlabojas meiboma dziedzeru sekrēta kvalitāte, par 9 % kvantitāte un par 3 % lipīdu slāņa biezuma rādītājs. Tātad šis terapijas veids ir izmantojams ikdienas praksē.
- Pildot lasīšanas uzdevumu, kas prasa koncentrēšanos, tas rada asaru plēvītes stabilitātes samazināšanos. Lēnāks asaru plēvītes plīšanas laiks tiek uzrādīts ar neinvazīvo asaru plēvītes stabilitātes noteikšanas metodi. Lasīšanas laikā līdz galam nepabeigto mirkšķināšanu skaits ir lielāks (50-61 %) nekā līdz galam pabeigto mirkšķināšanu skaits (39-50 %).
- Lasīšanas uzdevumi samazina kopējo mirkšķināšanu skaitu četras reizes, kā arī samazina asaru plēvītes stabilitāti.

# Anizeikonijas testu precizitātes novērtējums

Alīna Matīse un Gatis Ikaunieks  
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
matise95@inbox.lv

## Anotācija

*Ievads.* Anizeikonija jeb uztverto attēlu atšķirība starp acīm var būtiski ietekmēt redzes binokulārās funkcijas. Viens no veidiem anizeikonijas mazināšanai vai novēršanai ir izeikoniskās (palielinošās) lēcas (Currie, 2012). Lielākai redzes aprūpes specialistu daļai proves izeikoniskās lēcas nav pieejamas, bet pastāv datorizētie tiešās salīdzināšanas anizeikonijas testi, kas nepieprasa izeikonisko lēcu izmantošanu: *New Aniseikonio Test (NAT)* (Antona et al., 2006) un *Aniseikonio Inspector (AI)* (Fullard et al., 2007). Mūsu pētījumā mēs izgatavojām izeikoniskās lēcas, ar kurām tika simulēta anizeikonija, un izveidojām datorizētu anaglipa metodes anizeikonijas testu, ar kuru novērtējam simulētas anizeikonijas lielumu. Pētījumā tika novērtēta saistība starp izrēķināto izeikonisko lēcu palielinājumu un ar izveidotā testa rezultātiem.

*Metode.* Pētījumā piedalījās 10 dalībnieki ar normālo binokulāro redzi. Dalībnieku vidējais vecums  $\pm$  SD  $24,50 \pm 5,44$  gadi. Visiem dalībniekiem mākslīgi tika inducēta anizeikonija (2,01 %, 4,02 % un 6,38 %) ar attēlu palielinošām afokālām izeikoniskajām lēcām, kas tika novietotas pirms motorās dominantās acs. Anizeikonijas lieluma novērtēšanai tika izmantots izveidotais datorizētais anizeikonijas tests. Tests sastāv no horizontāli un vertikāli orientētiem sarkanās un ciāna krāsas stimuliem, kas tika demonstrēti uz ekrāna dihoptiski, izmantojot krāsainos filtrus (anaglipa metode). Ar tastatūras bultiņu pogu palīdzību pētījuma dalībnieks mainīja ciāna krāsas stimula izmēru tā, lai abi stimuli dalībniekam izskatās vienādi lieli.

*Rezultāti.* Visu dalībnieku novērtētais anizeikonijas lielums lineāri pieauga, palielinoties izeikonisko lēcu palielinājumam. Izveidotais tests, skatoties caur afokālām izeikonijas lēcām, uzrāda mazāku palielinājumu nekā teorētiski aprēķinātās palielinājuma vērtības. Horizontālajā meridiānā novērtētais anizeikonijas lielums ir precīzāks (87 % precizitāte), salīdzinoši ar vertikālajā meridiānā novērtēto anizeikonijas lielumu (75 % precizitāte), un precizitātes starpība ir statistiski atšķirīga ( $p < 0,01$ ). Binokulāra redze tika būtiski ietekmēta, pielietojot 6,38 % attēlu palielinošu lēcu.

*Secinājumi.* Afokālas izeikoniskās lēcas (ar mūsu izrēķinātajiem parametriem) var tikt izmantotas anizeikonijas efekta demonstrēšanai un izeikonisko lēcu receptes izrakstīšanai katra pacienta gadījumā. Izveidotais anizeikonijas tests uzrāda mazāku anizeikonijas vērtību nekā tika inducēts ar afokālajām izeikoniskajām lēcām, un anizeikonijas novērtēšanas precizitāti ietekmē izveidotā testa stimula veids. Nepietiekamās precizitātes dēļ redzes aprūpes specialistiem jābūt piesardzīgiem, pielietojot tiešās salīdzināšanas anizeikonijas testus, veidotus pēc anaglipa metodes.

## Atslēgas vārdi:

Anizeikonija, izeikoniskās lēcas, binokulārā redze, anizeikonijas novērtēšana

## Literatūras pārskats

Anizeikonija ir fenomena nosaukums, kad abu acu uztvertie attēli ir dažāda izmēra. Anizeikoniju var izraisīt abu acu atšķirības refrakcijas stiprumā (anizometropija), kā arī tīklenes struktūru izmaiņas (Han et al., 2016). Labākais veids mazināt vai novērtēt anizeikoniju ir izeikoniskās lēcas (Currie, 2012), kas ir lēcas bez optiskā stipruma, bet ar optisko palielinājumu. Lielākai redzes aprūpes specialistu daļai proves izeikoniskās lēcas nav pieejamas, bet eksistē anizeikonijas novērtēšanas testi bez izeikonisko lēcu izmantošanas nepieciešamības: *New Aniseikonio Test (NAT)* (Antona et al., 2006) un *Aniseikonio Inspector (AI)* (Fullard et al., 2007). Minēto testu priekšrocības un trūkumi ir labi izmeklēti, un uz doto brīdi ir zināms, ka dotie testi uzrāda vidēji par 30 % mazāku



anizeikoniju (*Rutstein et al., 2006*) nekā teorētiski aprēķinātās palielinājuma vērtības. Viens no nozīmīgākajiem iemesliem, kāpēc novērtētais anizeikonijas lielums ar *NAT* un *AI* testiem ir mazāks par inducēto, tiek uzskatīta izmēra krāsu ilūzija (*size-color illusion*) (*García-Pérez & Peli, 2015*). Izmēra krāsu ilūzija nozīmē, ka stimul, kam ir lielāks krāsas un spožuma kontrasts ar fonu, tiek uztverts lielāks pēc izmēra nekā mazāka kontrasta stimul (*Nakano et al., 2005*). Neskatoties uz testu trūkumiem, izrakstītā izeikoniskā korekcija, balstoties uz *AI* un *NAT* testu rezultātiem, parasti ir ļoti veiksmīga (*Currie, 2012*).

Parasti optometrista kabinetā nav pieejami specializēti anizeikonijas *NAT* un *AI* testi, un, kad rodas vajadzība novērtēt anizeikonijas lielumu, optometristi izmanto kabinetā pieejamus anizeikonijas testus, piemēram, kā polarizētais anizeikonijas tests, dubultattēlu tests, *Brecher* tests, *Miles* tests utt. Atšķirībā no *New Aniseikonia Test* un *Aniseikonia Inspector*, optometrista kabinetā pieejamo testu precizitāte nav izmeklēta. Pētījuma ietvaros mēs izveidojām vienkāršotu datorizētā anaglipa metodes anizeikonisko testu, ko varētu saviem spēkiem izveidot jebkurš ieinteresētais optometrists, un izgatavojām izeikoniskās lēcas anizeikonijas simulēšanai. Pētījuma mērķis bija novērtēt izveidotā testa precizitāti. Lai panāktu mērķi, tika novērtēta atkarība starp izrēķināto izeikonisko lēcu palielinājumu un ar izveidoto testu novērtētā attēla palielinājumu.

## Metodika

Pētījumā piedalījās 10 cilvēki vecumā no 20 līdz 39 gadiem (vidējais vecums  $\pm$  standartdeviācija (SD) ir  $24,50 \pm 5,44$  gadi). Visu dalībnieku redzes asums ar labāko korekciju nebija zemāks par 1.0 decimālajās vienībās. Astoņiem dalībniekiem bija emetropija, un mērījumu laikā netika pielietota redzes korekcija. Vienam dalībniekam bija miopija (labākā korekcija abās acīs bija -2,00) un vienam dalībniekam bija artefakija (labākā korekcija abās acīs bija +1,25 – kompensē 0,76 m attālumu). Nepieciešama korekcija tika veikta ar proves lēcām. Visiem dalībniekiem bija binokulārs redzes raksturs un stereoredze. Nevienam no dalībniekiem nebija nekādu acu tīklenes izmaiņu, kas varētu veidot patoloģisko anizeikoniju.

Pētījuma dalībniekiem mākslīgi tika inducēta anizeikonija, novietojot motorās dominantās acs priekšā afokālās izeikoniskās lēcas ar dažādu palielinājumu: 2,01 %, 4,05 % un 6,38 %. Afokālo izeikonisko lēcu parametri tika izvēlēti, aprēķinot tos pēc 1. formulas:

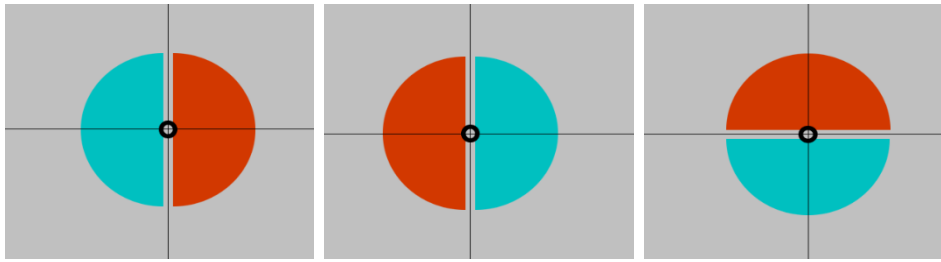
$$SM = \frac{1}{1 - \left(\frac{t}{n} F_1\right)} \quad (1)$$

kur *SM* – lēcu palielinājums, *t* – lēcas centrālais biezums, *n* – lēcas lausšanas koeficients un *F<sub>1</sub>* – lēcas priekšējās virsmas optiskais stiprums (*Brown, 2006*). Visas afokālās izeikoniskās lēcas bija ar antireflekso pārklājumu un laušanas koeficientu 1,5. Katras izeikoniskās lēcas biezums un priekšējās virsmas optiskais stiprums ir demonstrēti 1. tabulā.

**1. tabula**

Pētījumā izmantoto afokālo izeikonisko lēcu parametri		
Palielinājums (%)	Centrālais biezums (mm)	Priekšējās virsmas optiskais stiprums (D)
2,01	3,7	8,00
4,05	7,3	8,00
6,38	9,0	10,00

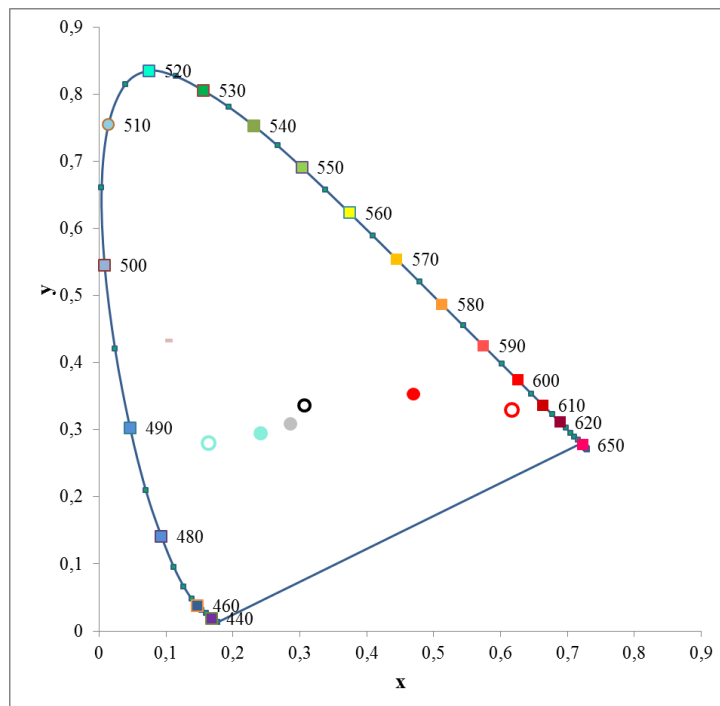
Anizeikonijas lieluma novērtēšanai tika izmantots izveidotais datorizētais anizeikonijas tests, kura stimul sastāv no diviem pusapļiem: viens sarkanā krāsā, otrs ciānā krāsā (skat. 1. att.).



**1. att.** Modificētā NAT testa stimula piemēri: A – anizeikonijas novērtēšanai vertikālajā meridiānā, dalībniekiem ar labo motoro vadošo aci; B – anizeikonijas novērtēšanai horizontālajā meridiānā, dalībniekiem ar kreiso motoro vadošo aci; C – anizeikonijas novērtēšanai horizontālajā meridiānā.

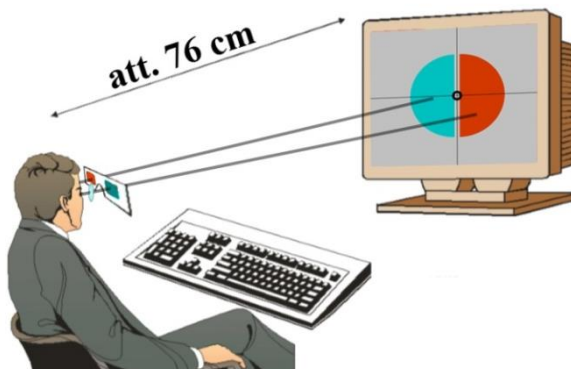
Sarkanās krāsas stimuls bija nemainīgā izmērā (augstums 8,9 cm un platums 4,5 cm), bet ciānā krāsas stimula izmēru bija iespējams samazināt līdz 3 %, vai palielināt līdz 15 % ar soli 0,25 %. Stimula izmēru bija iespējams mainīt, spiežot bultiņu pogas uz tastatūras. Novērotais atradās 76 cm attālumā no monitora. Minēto darba attālumu bija jāsauglabā, balstoties uz to, ka pacients skatās stimula centrā un veselo stimulu uztver ar mākulās perifēriju. Fiksēts attālums nodrošināja vienādu stimula leņķisko izmēru uz tīklenes visiem dalībniekiem (*et al.*, 2010).

Modificētais NAT tests tika demonstrēts uz matētā (*LED Anti-Glare*) datora ekrāna 15,6 collu izmērā. Baltā ekrāna spožums  $\pm$  SD bija  $59,4 \pm 0,6$  cd/m<sup>2</sup>. Stimuls tika novērots dihoptiski caur atbilstošajiem krāsainiem filtriem. Modificētā NAT testa krāsu koordinātes un krāsaino filtru caurlaidošo gaismas viļņu garumu krāsu koordinātes ir demonstrētas 2. attēlā. Visi stimula spožumi un krāsu koordinātes tika novērtētas ar kolorimetru *Chroma meter Konica Minolta CS-100A*, atrodoties 1,50 metru attālumā no monitora. Visu mērījumu laikā telpas apgaismojums bija  $10,2 \pm 0,3$  luksu (lx). Telpas apgaismojums tika mērīts ar *Illuminance meter Konica Minolta T-10*.



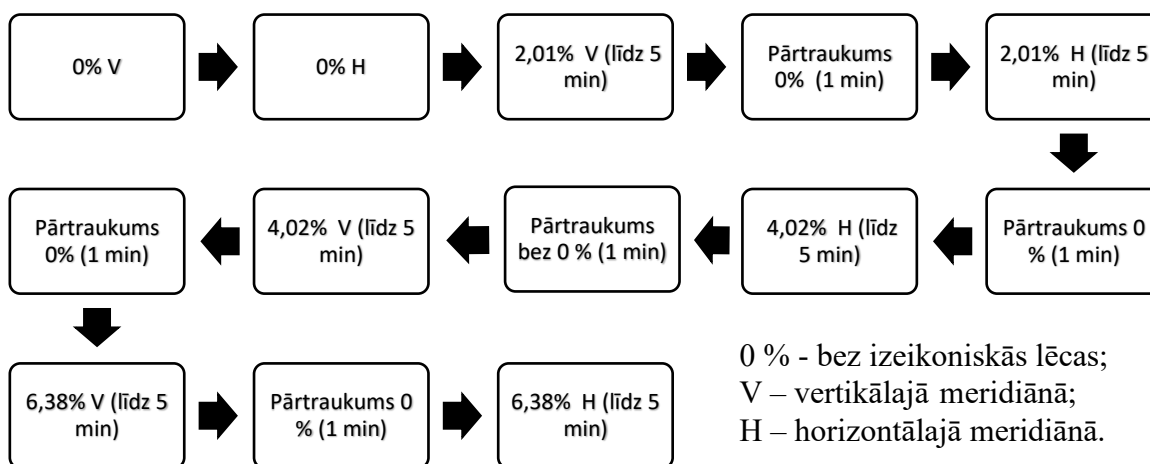
**2. att.** Gaismas viļņu garumu krāsu koordinātes, ko izstaro modificētā NAT testa stimuli un neabsorbē krāsainie filtri. ● – baltās gaismas koordinātes; ● – fona krāsu koordinātes (spožums  $(Y) = 32,7 \pm 0,8$  cd/m<sup>2</sup>); ● – ciāna stimula krāsu koordinātes ( $Y = 25,8 \pm 0,8$  cd/m<sup>2</sup>); ● – sarkanā stimula krāsu koordinātes ( $Y = 11,8 \pm 1,0$  cd/m<sup>2</sup>); ● – krāsu koordinātes viļņu garumam, ko neabsorbē ciāna filtrs ( $Y = 10,2 \pm 0,5$  cd/m<sup>2</sup>); ● – krāsu koordinātes viļņu garumam, ko neabsorbē sarkanais filtrs ( $Y = 4,1 \pm 0,2$  cd/m<sup>2</sup>).

Mērījumu laikā ciāna filtrs tika novietots motorās vadošās acs priekšā. Stimula veids bija atkarīgs no dominējošās acs – sarkanais stimuls tika novietots vadošās acs priekšā. Stimula un filtru novietošanas attiecība ir attēlota 3. attēlā.



3. att. Stimula un filtru novietošanas attiecība

Vispirms dalībniekam tika novērtēta anizeikonija bez izeikoniskās lēcas izmantošanas vertikālajā meridiānā. Uzsākot mērījumu, ciāna krāsas stimula izmērs katreiz bija ar atšķirīgu lielumu, bet dalībnieks ar tastatūras bultiņu pogu palīdzību regulēja stimula izmēru tā, lai sarkanās un ciāna krāsas stimuli izskatās vienādi. Dotā procedūra tika atkārtota 10 reizes. Kad anizeikonija bez izeikonisko lēcu izmantošanas vertikālajā meridiānā tika novērtēta, vadošās acs priekšā tika pielikta 2,01 % izeikoniska lēca, un tika veikta anizeikonijas novērtēšana pēc minētās metodes. Pēc anizeikonijas novērtēšanas ar 2,01 % izeikonisko lēcu dalībnieks 1 minūti atpūtās. Pārtraukums bija nepieciešams, lai novērstu adaptāciju izeikoniskās lēcas palielinājumam. Tādā pašā veidā tika novērtēta anizeikonija, izmantojot 4,02 % un 6,38 % izeikoniskas lēcas. Ar izveidoto testu mērījumu secības shēma attēlota 4. attēlā. Pēc mērījumu veikšanas ar izveidoto testu, tika novērtēts redzes raksturs ar Vorsa (*Worth*) testu 76 cm attālumā, izmantojot mobilā telefona aplikāciju *Smart optometry*.

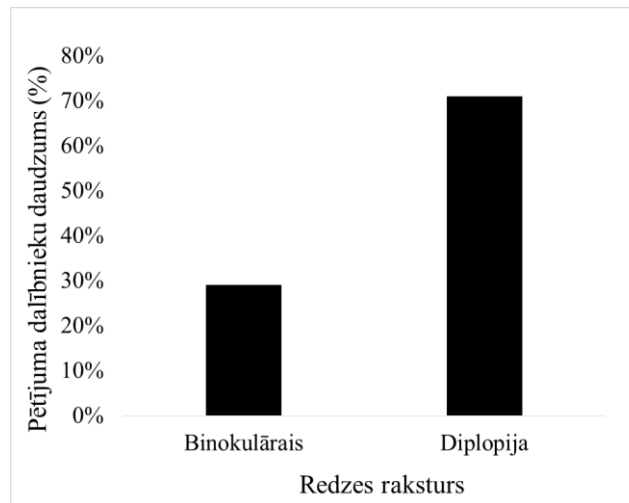


4. att. Ar izveidoto testu mērījumu secības shēma. Iekavās ir uzrādīts attiecīgā mērījuma laiks.

## Rezultāti un to analīze

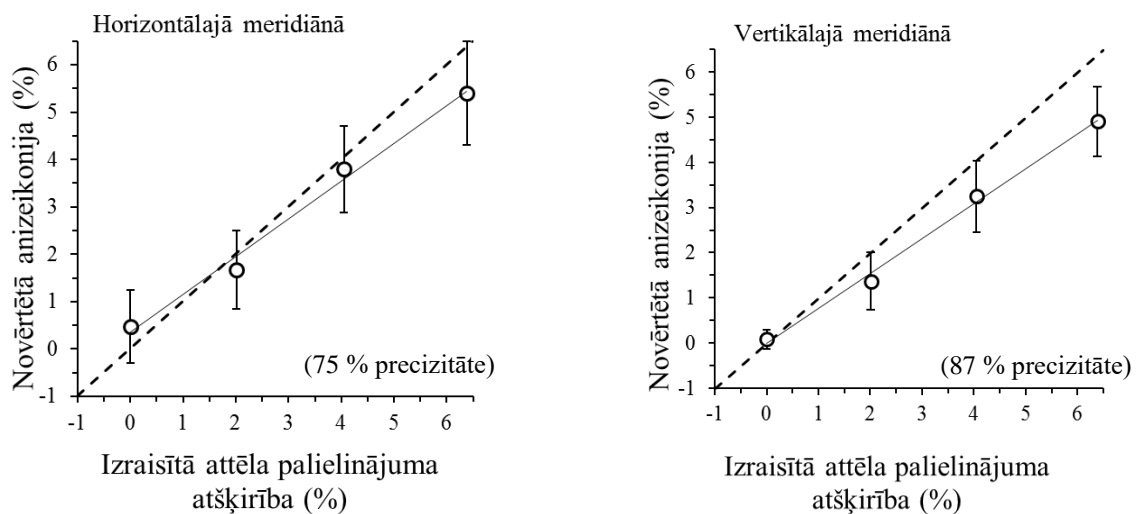
Redzes rakstura novērtējums ar izeikoniskajām lēcām rāda, ka binokulāra redze tiek būtiski ietekmēta, izmantojot 6,38 % palielinājuma izeikonisko lēcu. Kā var redzēt 5. attēlā, lielākai daļai pētījuma dalībnieku, pielietojot 6,38 % izeikonisko lēcu, veidojās vienlaicīgs redzes raksturs. Tas bija sagaidāms rezultāts, jo pēc literatūras datiem, sākot ar piecu procentu anizeikoniju, binokulārā

summācija tiek būtiski samazināta (Katsumi et al., 1986; Oguchi & Mashima, 1989; Jiménez & Anera, 2004), kas traucē binokulārai redzei.



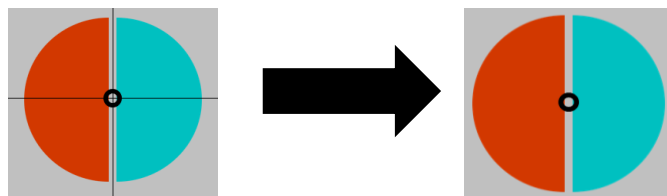
5. att. 6,38 % attēlu palielinošās lēcas ietekme uz binokulāro redzi

Ar izveidoto anizeikonijas testu iegūtie rezultāti rāda, ka pieaugot izeikoniskās lēcas palielinājumam, lineāri pieaug novērtētais anizeikonijas lielums (skat. 6. att.). Novērtētais anizeikonijas lielums ir mazāks nekā inducētais lielums, kas sakrīt ar vairāku citu pētījumu rezultātiem (McCormack et al., 1992; Antona et al., 2006; Rutstein et al., 2006; Fullard et al., 2007). Anizeikonijas novērtēšanas precizitāte vertikālajā meridiānā būtiski atšķiras no novērtēšanas precizitātes horizontālajā meridiānā ( $p < 0,01$ ; Wilcoxon Signed-Rank Test), un, kā var redzēt 2. attēlā, horizontālajā meridiānā novērtētā anizeikonija ir tuvāk inducētajam lielumam nekā vertikālajā. Turpretim, dažu citu autoru pētījumi, piemēram Fullard et al. (2007) un Antona et al. (2006), rāda, ka anizeikonijas lielums, novērtēts vertikālajā meridiānā ir precīzāks nekā horizontālajā meridiānā. Citiem pētniekiem, piemēram McCormack et al. (1992) un Rutstein et al., (2006), nav statistiski nozīmīgas atšķirības starp anizeikonijas lielumu, novērtētu horizontālajā un vertikālajā meridiānā. Viens no faktoriem, kas būtiski ietekmē novērtēšanas precizitāti, īpaši vertikālajā meridiānā, ir telpas apgaismojums.



6. att. Ar izveidoto testu novērtētais anizeikonijas lielums vertikālajā un horizontālajā meridiānā attiecībā pret izrēķināto izeikonisko lēcu palielinājumu. Katram mērījumam ir uzrādīta standartizklide. Ar punkto līniju ir attēlota bisektriseperfekta sakritība starp datiem.

Dotajā pētījumā mērījumi tika veikti gaismas apstākļos, kur spēcīgi darbojas sensoro fūziju mehānisms. Fūziju darbība samazina novērtētas anizeikonijas lielumu (*Fullard et al.*, 2007, *McCormack et al.*, 1992). Anizeikonijas novērtēšanu rekomendēts veikt tumsas apstākļos, kā arī stimulā rekomendēts izmantot pēc iespējas mazāk binokulāri redzamās detaļas (skat. 7. att.).



**7. att.** Rekomendējamā stimula pārveide, lai samazinātu sensorās fūzijas darbību.

Ir sagaidāms, ka samazinātas sensorās fūzijas radīs dekompensētu heteroforiju. Pastiprinātā foriju darbība rada dihoptiski redzamo stimulu nobīdi, kas, pēc literatūras datiem, palielina rezultātu izkliedi (*Fullard et al.*, 2007), līdz ar to samazina testa precizitāti. Lai palielinātu testa precizitāti, heteroforijas ir rekomendēts kompensēt ar prizmatiskajām lēcām.

Mūsu pētījuma rezultāti rāda, ka afokālas izeikoniskās lēcas, veidotās pēc mūsu izrēķinātajiem parametriem, labi demonstrē anizeikonijas efektu un tās var izmantot anizeikonijas lieluma izmeklējumiem. Neskatoties uz dažām minētajām nepilnībām izveidotajā datorizētajā anizeikonijas testā, rezultāti liecina, ka izveidotais tests uzrāda mazāku anizeikonijas vērtību nekā tika inducēts ar afokālajām izeikoniskajām lēcām, kas sakrīt ar literatūras datiem. Anizeikonijas novērtēšanas precizitāti var ietekmēt izveidotā testa stimula veids.

## Literatūra

- Antona, B., Barra, F., Barrio, A., Gonzalez, E., & SÁnchez, I. (2006). The validity and repeatability of the New Aniseikonia Test. *Optometry and Vision Science*, 83(12), 903-909.
- Brown, W. L. (2006). The importance of base curve in the design of minus iseikonic lenses. *Optometry and Vision Science*, 83(11), 850-856.
- Currie, D. (2012). Partial correction of irregular aniseikonia secondary to retinal traction. *Optometry and Vision Science*, 89(7), 1081-1086.
- Fullard, R. J., Rutstein, R. P., & Corliss, D. A. (2007). The evaluation of two new computer-based tests for measurement of aniseikonia. *Optometry and Vision Science*, 84(12), 1093-1100.
- García-Pérez, M. A., & Peli, E. (2015). Aniseikonia tests: The role of viewing mode, response bias, and size-color illusions. *Translational vision science & technology*, 4(3), 9-9.
- Han, J., Han, S. H., Kim, J. H., & Koh, H. J. (2016). Restoration of retinally induced aniseikonia in patients with epiretinal membrane after early vitrectomy. *Retina*, 36(2), 311-320.
- Jiménez, J. R., & Anera, R. G. (2004). Induced aniseikonia diminishes binocular contrast sensitivity and binocular summation. *Optometry and Vision Science*, 81(7), 559-562.
- Katsumi, O., Tanino, T., & Hirose, T. (1986). Effect of aniseikonia on binocular function. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 27(4), 601-604.
- McCormack, G., Peli, E., & Stone, P. (1992). Differences in tests of aniseikonia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 33(6), 2063-2067.
- Nakano, M., Tanabe, S., Mori, Y., Ikegami, B., & Fujita, I. (2005). Expansive and contractive size perception with color patches. *Journal of Vision*, 5(8), 1027-1027.
- Oguchi, Y., & Mashima, Y. (1989). The influence of aniseikonia on the VEP by random-dot stereogram. *Acta Ophthalmologica*, 67(2), 127-130.
- Rutstein, R. P., Corliss, D. A., & Fullard, R. J. (2006). Comparison of aniseikonia as measured by the aniseikonia inspector and the space eikonometer. *Optometry and Vision Science*, 83(11), 836-842.
- Weise, K. K., Marsh-Tootle, W., & Corliss, D. (2010). Evaluation of computer-based testing for aniseikonia in children. *Optometry and Vision Science*, 87(11), 883-889.

# Miopijas izplatība Latvijas iedzīvotāju populācijā

Sintija Bieriņa un Gatis Ikaunieks

*Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,*

*Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija*

bierina.s@inbox.lv

## Anotācija

Darba mērķis ir novērtēt tuvredzības veidošanās riskus Latvijas iedzīvotājiem. Pētījumā izmantotas 89 dalībnieku aizpildītas aptaujas anketas, no kurām tika iegūta informācija par dalībnieku vecumu, dzimumu, esošo korekciju, vecāku korekciju, paradumiem bērnībā un pamatskolas laikā. Iegūtie dati tika apstrādāti un analizēti, veidotas tabulas un diagrammas.

Pētījums parādīja, ka Latvijas iedzīvotāju populācijā tuvredzības attīstību ietekmē iedzimtība no vecākiem un bērnībā ārā pavadītais laiks, bet bez šiem faktoriem pētījuma rezultāti norādīja uz to, ka nozīme ir arī citiem, šajā pētījumā neizpētītajiem faktoriem. Pētījumā tika noskaidrots arī tas, ka miopijas pakāpi var ietekmēt vecums, kurā miopija ir attīstījusies.

## Atslēgas vārdi:

Miopija, tuvredzība, riska faktori, miopijas kontrole, dzīvesveids, iedzimtība

## Literatūras pārskats

Miopija jeb tuvredzība ir redzes refraktīvais defekts, kurš rodas, ja acī krītosie gaismas stari fokusējas pirms tīklenes. Uz tīklenes nonāk izkliedēti gaismas stari, un cilvēks skatoties tālumā redz izplūdušu, neskaidru attēlu (*Baumane, 2002*). Stari pirms tīklenes var fokusēties, ja acs refrakcija ir pārāk stipra vai arī, ja ir palielināts acs priekšējās-mugurējās ass garums (*Denniston & Murray, 2018*).

Miopijas izplatība pasaulē nav vienmērīga. Tādās valstīs, kā Ķīnā, Taivānā miopija ir daudz biežāk sastopama kā, piemēram Eiropas valstīs. Taivānā veikts pētījums parāda, ka bērnu ar miopiju skaits pieaug. Laikā no 1995. gada līdz 2000. gadam 7 gadīgu bērnu ar miopiju skaits pieauga par 8 % , arī miopijas pakāpe 2000. gada pētījumā bērniem bija lielāka, kā 1995. gada pētījumā. No 16-18 gadus veciem jauniešiem miopija ir 86 % (*Lin et al., 2001*). Savukārt nedaudz nesenāks pētījums parāda, ka Ķīnā 15 gadu vecumā tuvredzība ir 73,1 % bērnu (*He et al., 2004*). Biežā miopijas sastopamība Austrumāzijas valstīs varētu liecināt par kādu miopijas cēloni vai cēloņu kopumu, kas cilvēkus Austrumāzijā skar vairāk, kā cilvēkus citās pasaules valstīs. Augsta miopijas izplatība novērota arī Ziemeļamerikā, Meksikā, kur 12-13 gadu vecumā 44 % skolēnu miopiska ir vismaz viena acs, tomēr tas ir mazāk, kā Taivānā vai Ķīnā (*Villarreal et al., 2003*). Eiropas valstīs tuvredzība sastopama daudz retāk, kā iepriekš minētajās valstīs. Vācijā tuvredzīgi ir 21 % pusaudži, tomēr novērojams, ka pieaugušajiem vecumā no 18 līdz 35 gadiem tuvredzība ir 41 % (*Jobke et al., 2008*). Polijā miopija skar tikai 13,3 % skolēnu vecumā no 6 līdz 18 gadiem (*Czepita et al., 2006*).

Svarīgi noskaidrot miopijas cēloņus, lai būtu iespējams veikt tās izplatības ierobežošanu. Līdz šim pētīti daudzi un dažādi faktori, kas varētu ietekmēt miopijas attīstību, tomēr pierādījis tas, ka nav viennozīmīga faktora, kurš izraisa miopiju, bet gan vairāku faktoru kopums un to mijiedarbība (*Foster & Jiang, 2014*).

(*Mutti et al., 2002*) savā pētījumā ievēroja, ka bērniem tuvredzība var iedzimt no vecākiem. Pētījumā piedalījās trīs vecāku grupas: abi vecāki bez miopijas, viens no vecākiem ar miopiju un abi vecāki ar miopiju. Mazs skaits, 6,3 % bērnu ar miopiju ir ģimenēs, kurās vecākiem nav miopijas (95 ģimenes). Gandrīz trīs reizes vairāk, 18,2 % bērnu ar miopiju ir ģimenēs, kurās vienam no vecākiem ir miopija (159 ģimenes), bet 32,9 % bērnu ar miopiju ģimenēs, kurās abi vecāki ir miopi (85 ģimenes).

*Mutti et al. (2002)* pētīja arī tuvuma darba ietekmi uz miopijas attīstību. Tuvuma darbs ir jebkas, ko cilvēks dara skatoties tuvumā, piemēram, lasa, raksta, lieto viedierīci vai skatās televizoru. Viņš

novēroja, ka bērni ar miopiju vairāk lasa, mācās, skatās televizoru, lieto datoru un spēlē videospēles, nekā bērni ar emetropiju vai hipermetropiju, tātad bērni ar miopiju vairāk dara tuvuma darbu, bet sportiskās aktivitātēs piedalās salīdzinoši reti.

Taivānā veikts pētījums atklājis, ka brīvā laika pavadīšanai ārpus telpām ir ietekme uz miopijas attīstību. Pētījums veikts divās skolās, kur vienā no tām stundu pārtraukuma laikā skolēni devās ārpus telpām papildus 80 minūtes, bet otrā skolā papildus laiks āra aktivitātēm netika dots. Pēc gada pārbaudot šo pašu skolēnu refrakciju vēlreiz, secināts, ka miopija sākusies mazākam skaitam skolēnu no skolas, kurā tika ieviests papildus āra pavadītais laiks, tas ir, 8,41 % no 333 skolēniem, kamēr otrajā skolā miopija bija sākusies 17,61 % no 238 skolēniem. Novērots arī tas, ka skolēniem, kuri starpbrīdī devās ārā ir zemāka miopijas pakāpe (Wu et al., 2013). Šis pētījums parāda ne tikai to, ka ārpus telpu aktivitātes var palēlināt, varbūt apturēt miopijas attīstību, bet pie miopijas attīstības arī samazināt tās pakāpi.

Parssinen, (1993) 3 gadu garuma pētīja vairākus faktorus, kas varētu ietekmēt miopijas progresēšanas gaitu un noskaidroja, ka visbūtiskāk to ietekmē dzimums, vecums, kurā bērna redze kļuvusi miopiska, kā arī miopijas pakāpe pirmajās redzes pārbaudēs, kurās šis redzes defekts tika konstatēts.

## Metodika

Pētījumā piedalījās 89 dalībnieki, Alcon 2018. gada semināra un LOOA rudens semināra apmeklētāji-optometristi un optometrijas studenti. No anētās iegūtajiem datiem, tika noteikts, ka 44 dalībniekiem ir miopija. Miopija tika definēta, ja SE(sfēriskais ekvivalents) vairāk par 0,50 D. Dalībnieku vidējais vecums  $\pm$  SD 31,15  $\pm$  8,84 gadi.

Sveiki! Mani sauc Sintija Bieriņa, esmu Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas studente. Es izstrādāju bakalaura darbu „Miopijas veidošanās riska faktoru izvērtējums Latvijas iedzīvotāju populācijā”.

Lūdzu Jūs nedaudz veltīt savu laiku, lai aizpildītu manis izveidoto aptaujas anketu!

Aptauja ir anonīma un iegūtie dati tiks izmantoti manā bakalaura darbā.

Kontaktinformācija: bierina.s@inbox.lv

### 1. Norādiet informāciju par sevi!

Sieviete  Vīrietis

Vecums: \_\_\_\_\_ gadi

### 2. Vai lietojat kādu redzes korekcijas līdzekli tūlumam un/vai Jums ir bijusi redzi uzlabojoša ķirurģiska operācija?

Jā

Nē  (izlaidiet 3. jautājumu!)

### 3. Ja lietojat redzes korekcijas līdzekli/-lus tūlumā, norādiet kādu un cik stipru?

Brilles  \_\_\_\_\_

Kontaktlēcas  \_\_\_\_\_

Refraktīvā ķirurģija  (Kāds bija brīļu stiprums pirms operācijas?) \_\_\_\_\_

Cits korekcijas veids  \_\_\_\_\_

### 4. Vai kādam no vecākiem ir/bija tuvredzība (lieto “-” brilles)? Atbildiet ar JĀ/NĒ/NEZINU

Mātei \_\_\_\_\_

Tēvam \_\_\_\_\_

### 5. Ar kādām galvenajām ārpusstundu aktivitātēm, pulciņiem nodarbojāties pamatskolas laikā? Vēlams katrai aktivitātei norādīt, cik gadus ar to nodarbojāties?

\_\_\_\_\_

### 6. Bērībā cik daudz no sava brīvā laika pavadījāt ārā?

Vairāk ārā nekā iekštelpās

Apmēram vienādu laika daudzumu gan ārā, gan iekštelpās

Vairāk iekštelpās nekā ārā

### 7. Vai kopumā daudz laika veltījāt mācībām pamatskolas laikā?

Jā, mācības man bija svarīgas un kopumā cītīgi pildīju uzdotos mājasdarbus

Mācībām veltīju vidēji daudz laika

Kopumā mācībām pamatskolā nesanāca veltīt daudz laika

### 8. Vai bērībā daudz lasījāt grāmatas?

Jā

Nē

### 9. Vai Jums ir bijusi kāda acu trauma vai slimība, kuras rezultātā ir pasliktinājies redze?

\_\_\_\_\_

### 10. Kādā vecumā Jūs sākat lietot viedtālruni?

\_\_\_\_\_

*Nākamie jautājumi ir paredzēti tiem, kuriem ir tuvredzība*

### 11. Cik gadus Jums pasliktinājās redze?

\_\_\_\_\_

### 12. Cik gadus Jūs sākat lietot brilles (vai kādu citu redzes korekcijas līdzekli)?

\_\_\_\_\_

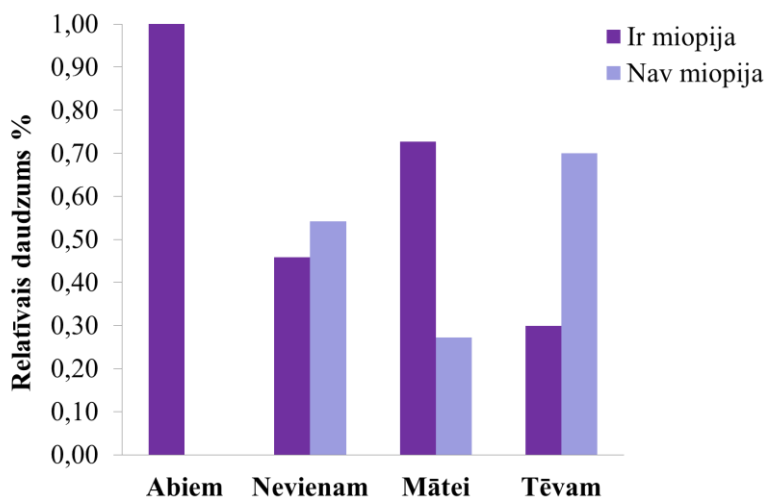
## 1. att. Pētījumā izmantotā aptaujas anketa.

Paldies!

Anketēšanas mērķis bija noskaidrot vai dalībniekam ir tuvredzība un cik stipra (D) tā ir (2., 3. jautājums). Pārējie aptaujas anketas jautājumi izveidoti tā, lai varētu noskaidrot vai dalībnieka vecākiem ir/bija tuvredzība (4.jautājums), dalībnieka paradumus bērnībā un pamatskolas laikā-saistītus ar tuvuma darbu, āra aktivitātēm (4.-8., 10. jautājums). Tika iekļauts jautājums par iespējamām acu traumām vai slimībām, lai atšķirtu šādus dalībniekus un izslēgtu no pētījuma datiem, jo tad iegūtā informācija var būt pētījumā nederīga, t.i., ja atbilde uz 9. jautājumu ir apstiprinoša (skat. 1. att.). No pētījuma tika izslēgtas 4 dalībnieku anketas, kuras nebija korekti aizpildītas, piemēram, dalībnieks nebija aizpildījis daļu no jautājumiem, aizpildījis nepareizi vai rokraksts bija nesalasāms. 1 dalībnieka anketa tika izslēgta no pētījuma, jo dalībniekam bijusi ambliopija. Iegūtie dati tika apstrādāti un analizēti, veidotas tabulas un diagrammas datorprogrammā Microsoft Excel.

## Rezultāti un to analīze

Novērojams, ka dalībniekiem, kuru vecākiem ir miopija jeb miopija ir gan tēvam, gan mātei, arī pašiem ir miopija. Šāds nosacījums izpildās pilnībā jeb 100 % dalībnieku, kuru abu vecākiem ir miopija, tomēr jāņem vērā nelielais dalībnieku skaits šajā grupā, kas ietekmē iegūtos rezultātus. Visticamāk palielinot dalībnieku skaitu pētījuma rezultāti būtu tuvāki literatūrā atrodamajiem, piemēram, *Mutti et al.* (2002) pētījumā noskaidroja, ka 32,9 % bērnu ar miopiju bija ģimenēs, kurās abi vecāki ir miopi (85 ģimenes). Grupā, kurā nevienam no vecākiem nav miopijas, miopija izveidojās 46 % dalībnieku (skat. 2. att.). Šādi iegūtie rezultāti norāda uz to, ka liela nozīme miopijas attīstībā ir citiem faktoriem, izņemot iedzimtību un apstiprina literatūras pārskatā minēto par to, ka miopija ir multifaktoriāls redzes refraktīvais defekts.

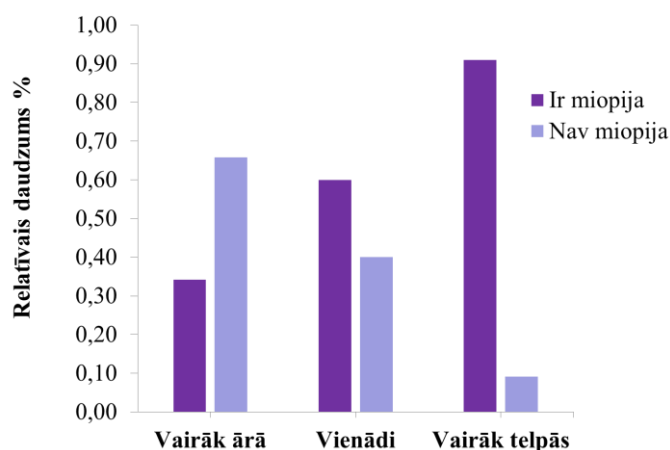


2. att. Dalībnieku sadalījums atkarībā no tā, kuram no vecākiem ir miopija

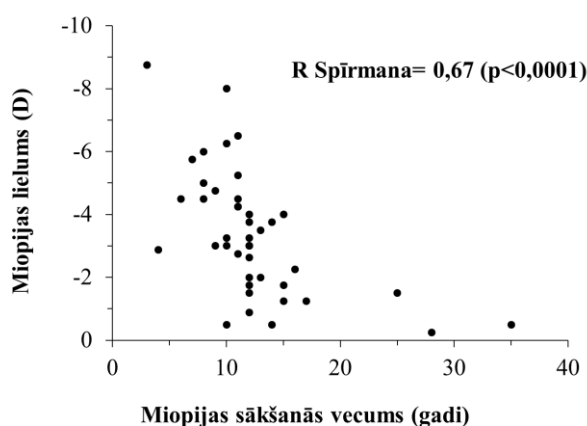
Relatīvais dalībnieku ar miopiju daudzums (%) pieaug samazinoties ārā pavadītajam laikam, bet relatīvais dalībnieku bez miopijas daudzums (%) samazinās pieaugot ārā pavadītajam laikam (skat. 3. att.). *Wu et al.* (2013) savā pētījumā Taivānā novērojis līdzīgu sakarību, kas parāda, ka bērnībā ārā pavadītais laika daudzums var būt, kā viens no faktoriem, kas ietekmē miopijas attīstību.

Rezultāti parāda mērenu, tomēr vērā ņemamu korelāciju (Spīrmana  $r = 0,67$ ) starp vecumu, kurā parādījās tuvredzība un miopijas pakāpi (skat. 4. att.), kas sakrīt ar literatūrā sniegto informāciju (*Parssinen*, 1993). Novērojams, ka bērniem, kuriem miopija sākusies agrākā vecumā miopijas pakāpe ir lielāka, salīdzinot ar tiem, kuriem miopija sākusies vēlākos gados.





3. att. Dalībnieku ar un bez miopijas sadalījums atkarībā no bērnībā pavadītā laika daudzuma telpās vai ārpus tām.



4. att. Korelācija starp miopijas lielumu un miopijas sākšanās vecumu.

Lielāka iespēja iegūt tuvredzību ir bērniem, kuru vecākiem ir tuvredzība, tomēr rezultāti parāda, ka liela nozīme miopijas attīstībā ir arī citiem faktoriem, jo no kopējā dalībnieku ar tuvredzību skaita gandrīz pusei abi vecāki nebija tuvredzīgi. Nozīmīgs faktors, kurš varētu būt saistīts ar miopijas veidošanos bērniem ir ārā pavadītais laiks. Jo vairāk laika bērnībā pavadīts iekštelpās, jo lielāka varbūtība, ka attīstīsies miopija. Nozīme ir arī vecumam, kurā sākusies miopija. Jo agrākā vecumā ir sākusi veidoties tuvredzība, jo tās pakāpei ir tendence pieaugt.

## Literatūra

- Baumane, K. (2002). *Redze un brilles*. Rīga: SIA "Nacionālais medicīnas apgāds".
- Czepita, D., Zejmo, M., & Mojsa, A. (2006). Prevalence of myopia and hyperopia in a population of Polish schoolchildren. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 27(1), 60-65.
- Denniston, A. K., & Murray, P. I. (Eds.). (2018). *Oxford handbook of ophthalmology* (4th ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Foster, P. J., & Jiang, Y. (2014). Epidemiology of myopia. *Eye. The Scientific Journal of the Royal College of Ophthalmologists*, 28(2), 202-208.
- He, M., Zeng, J., Liu, Y., Xu, J., Pokharel, G. P., & Ellwein, L. B. (2004). Refractive error and visual impairment in urban children in Southern China. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 45(3), 793.
- Jobke, S., Kasten, E., & C, V. (2008). The prevalence rates of refractive errors among children, adolescents, and adults in Germany. *Clinical Ophthalmology*, 2(3), 601-607.
- Lin, L. L., Shih, Y. F., Hsiao, C. K., Chen, C. J., Lee, L. A., & Hung, P. T. (2001). Epidemiologic study of the prevalence and severity of myopia among schoolchildren in Taiwan in 2000. *Journal of the Formosan Medical Association*, 100(10), 684-691.

- Mutti, D. O., Mitchell, L., Moeschberger, M. L., Jones, L. A., & Zadnik, K. (2002). Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43(12), 3633-3640.
- Parssinen O, L. A. (1993). Myopia and myopic progression among schoolchildren: a three-year follow-up study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 34(9), 2794-802.
- Villarreal, M., Ohlsson, J., Cavazos, H., Abrahamsson, M., & Mohamed, A. (2003). Prevalence of myopia among 12-to13-year-old schoolchildren in Northern Mexico. *Optometry and Vision Science*, 80(5), 369-373.
- Wu, P., Tsai, C., Wu, H., Yang, Y., & Kuo, H. (2013). Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in school children. *Ophthalmology*, 120(5), 1080-1085.

# Keratokonusa pacientu redzes kvalitāte

Sanita Līduma<sup>1</sup> un Gunta Krūmiņa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
sanita.liduma@gmail.com

## Anotācija

*Ievads.* Keratokonusa gadījumā radzenes priekšējā virsma ir visnozīmīgākais optisko kļūdu avots (Pinero et al., 2009). Pētnieka Nakagawa veiktajā pētījumā (2009) radzenes aberācijas priekšējai virsmai (Zernika polinomi) tika konstatētas 3 līdz 4 reizes lielākas kā aizmugurējai virsmai. Barbero veiktajā pētījumā (2002) tika pierādīts, ka keratokonusa pacientiem priekšējās virsmas aberācijas ir ļoti līdzīgas kopīgajām radzenes aberācijām. Acīm ar keratokonusu ir par 3,74 reizēm lielākas gan kopīgās, gan radzenes aberācijas kā acīm bez patoloģijas (Barbero et al., 2002).

Pētnieks Smolek (2003) veica pētījumu, balstoties uz pieņēmumu, ka radzenēm ar lielākām virsmas izmaiņām, būs lielākas radzenes aberācijas līdz ar to sliktāks koriģētais redzes asums. Pētījumā parādīts, ka ne visas aberācijas vienādi ietekmē pacienta redzes kvalitāti (Smolek & Klyce, 2003). Keratokonusa pacientiem komas aberācijas dominē pār sfēriskajām (Okamoto et al., 2008).

*Metode.* Darbā tika noteikts koriģētais redzes asums un radzenes priekšējās, aizmugurējās virsmas trešās un ceturtās kārtas aberācijas pacientiem ar dažādu keratokonusa pakāpi (27 acis ar pirmās pakāpes keratokonusu, 31 ar otrās un 21 ar trešās pakāpes keratokonusu) un virsotnes atrašanās vietu (ar centrālu keratokonusu 33 acis, ar perifēru keratokonusu – 46 acis). Dominējošās aberācijas ir vertikālā koma un sfēriskā aberācija. Darbā tika izmantota kontroles grupa, pacienti bez radzenes vai citām okulārām patoloģijām, bez radzenes astigmātisma. Augstāko kārtu aberācijas darbā tiek iegūtas ar videokeratoskopijas metodi 8 mm platai radzenei.

*Rezultāti.* Komas aberācija palielinās, palielinoties keratokonusa pakāpei. Pacientiem ar centrālu keratokonusa virsotni komas aberācija ir lielāka kā pacientiem ar perifēru virsotni. Veicot Mann-Whitney testu, vertikālajai komas aberācijai ir statistiski nozīmīga atšķirība radzenes priekšējai virsmai starp keratokonusa I un III pakāpi ( $p = 0,03$ ). Vertikālā koma nav statistiski atšķirīga priekšējās radzenes virsmai ar centrālu un perifēru keratokonusa virsotni ( $p = 0,51$ ). Sfēriskā aberācija keratokonusa pacientiem, salīdzinot ar normāliem pacientiem, samazinās, palielinoties keratokonusa pakāpei. Statistiski nozīmīga atšķirība ir starp centrālu un perifēru virsotni ( $p = 0,008$ ), bet ne starp keratokonusa stadijām.

I pakāpes keratokonusa pacientiem koriģētajam redzes asumam vislielākā korelācija ir ar radzenes sfērisko aberāciju priekšējai radzenes virsmai ( $r = 0,59$ ) un aizmugurējai radzenes virsmai ( $r = 0,65$ ). II un III keratokonusa pakāpei nav nozīmīgas korelācijas ar nevienu no aberācijām. Pacientiem ar centrālu keratokonusa virsotni vislielākā koriģētā redzes asuma korelācija ir priekšējās radzenes virsmas sfēriskajai aberācijai ( $r = 0,45$ ), bet pacientiem ar perifēru keratokonusu ar radzenes aizmugurējās virsmas sfērisko aberāciju ( $r = 0,53$ ), kaut arī horizontālās komas aberācijai ir vislielākā atšķirība no normālas populācijas.

*Secinājumi.* Pacientiem ar keratokonusu ir nozīmīgi lielākas radzenes aberācijas salīdzinot ar normālu populāciju. Aberācijas samazina redzes kvalitāti uz tīklenes, samazinot pacientu augsta kontrasta redzes asumu un kontrastjutību. Aberācijas ir galvenais iemesls, kādēļ pacientiem ar keratokonusu ir nozīmīgi samazināta redzes kvalitāte.

## Atslēgas vārdi:

Keratokonuss, centrāla virsotne, perifēra virsotne, augstākās kārtas aberācijas

## Literatūras pārskats

Centrālās radzenes optiskā kvalitāte nosaka anatomiski veselās acs redzes asumu (Klyce, 1984). Refrakcijas sfēriskās refrakcija vai astigmātisms ir viegli koriģējams ar brīļu korekciju, bet ne augstākās kārtas aberācijas. Augstākās kārtas aberācijas parasti veido iregulārs astigmātisms (Maloney, Bogan & Waring, 1993). Ar radzenes topogrāfiju ir iespējams iegūt radzenes priekšējās virsmas individuālu radzenes punktu attēlojumu, tomēr tīklenes attēls tiek veidots no gaismas, kas ienāk caur visiem radzenes punktiem, kas atrodas zīlītes rajonā, tādēļ nav iespējams prognozēt kāda būs tīklenes attēla kvalitāte tikai pēc topogrāfijas attēla (Maloney, Bogan & Waring, 1993). Keratokonus ir neinfekcioza, progresīva radzenes plānināšanās, kura parasti norit bilaterāli un kurā tiek iesaistītas 2/3 centrālās radzenes daļas (Rabinowitz, 1998).

Pētnieks Applegate ar kolēģiem (2006) pierādīja, ka korelācija starp tīklenes attēla kvalitāti un redzes asumu ir lielāka zema kontrasta redzes asumam vājā apgaismojumā arī pacientiem ar augsta kontrasta redzes asumu virs 1,0 (Applegate, Marsack & Thibos, 2006). Kontrastjutība ir sliekšņa mērījums, kas nepieciešams, lai saskatītu objektu, šajā gadījumā kontrasts ir dažāds, lai noteiktu minimālo objekta atpazīšanai nepieciešamo kontrasta līmeni (Owsley, 2003). Augstajām telpiskajām frekvencēm (lielākām par 10 cikli/grādā), kontrastjutības funkcija ir ierobežota ar acs optisko izšķirtspēju, redzes sistēmas neirālai darbība esot tikpat labai vai labākai kā optiskajai izšķirtspējai. Zemajām telpiskajām frekvencēm kontrastjutības funkcija ir zemāka dēļ neirāliem faktoriem. Zemās telpiskās frekvences (zem 0,5 cikliem/grādā) ir atbildīgas par lielu objektu atpazīstamību, bet augstās telpiskās frekvences (virs 10 cikliem/grādā) ļauj izšķirt sīkas detaļas. Vairums ikdienas uzdevumiem ir nepieciešamas vidējās telpiskās frekvences, kuras kontrastjutības funkcijai ir maksimālā izšķirtspēja (Woods & Wood, 1995). Keratokonusa pacientiem pirms augsta kontrasta redzes asuma samazināšanās, samazinās kontrastjutība vidējās un augstās telpiskās frekvencēs (Hess & Carney, 1978; Zadnik et al., 1984; Zadnik et al., 1987; Pesudovs et al., 2004).

Acs optikas neprecizitātes tiek mērītas un izteiktas kā viļņa aberācijas kļūdas. Viļņa aberācijas raksturo kā gaismas stars tiek mainīts, tam ejot caur acs optiskajai sistēmai, un tas parasti matemātiski tiek aprakstīts kā Zernika polinomi (Lombardo & Lombardo, 2010). Keratokonusa pacientiem radzenes augstākās kārtas aberācijas ir nozīmīgi lielākas kā normāliem pacientiem, bet radzenēm ar sākotnēju keratokonusu rezultāti var būt dažādi (Gordon-Shaag et al., 2012; Safarzadeh & Nasiri, 2016). Virsmas iregularitātes nav iespējams raksturot ar pirmo trīs kārtu aberācijām, bet zemākajām aberācijām ir cieša saistība ar keratokonusa virsmu (Carvalho, 2005). Keratokonusa gadījumā radzenes priekšējā virsma ir visnozīmīgākais optisko kļūdu avots (Pinero et al., 2009). Saprast radzenes priekšējās virsmas aberācijas mūsdienās, pieaugot refraktīvās ķirurģijas popularitātei, ir ļoti būtiski, jo ar jaunākajām tehnoloģijām iespējams izveidot radzenes priekšējo virsmu tādu, lai operācijas laikā samazinātu radzenes aberācijas, tādā veidā uzlabojot tīklenes attēla kvalitāti (Rosa et al., 2008).

Keratokonusa pacientu samazinātā kontrastjutība vidējās un augstajās telpiskajās frekvencēs, liek domāt, ka jābūt izmaiņām augstākās kārtas aberācijās, tādēļ pētījuma mērķis bija novērtēt augstākās kārtas aberācijas atkarībā no keratokonusa stadijas un virsotnes atrašanās vietas.

## Metodika

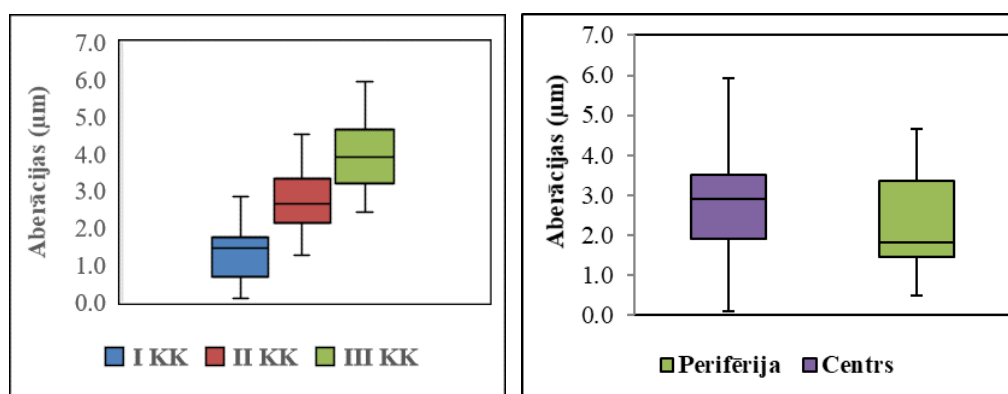
Darbā tika analizēti 45 pacienti (79 acis) ar keratokonusu. Keratokonusam ir četras attīstības pakāpes, visbiežāk lietotā ir Amslera-Krumeica klasifikācija. Pētījumā tika iekļauti pacienti ar pirmajām trim attīstības pakāpēm – I, II un III, vecuma posmā no 18 līdz 40 gadiem ar dzidrām radzenēm un ja pēc kroslinkinga operācijas ir pagājuši vismaz seši mēneši. Keratokonusa virsotne ir punkts ar vislielāko radzenes izliekuma vērtību. Pētījumā mēs esam pieņēmuši, ka ja keratokonusa virsotne atrodas riņķī ar 1,5 mm lielu rādiusu ap optisko asi, tad tiek uzskatīts, ka keratokonus ir centrāls, ja ārpus riņķa, tad keratokonusu uzskata par perifēru. Pacientu sadalījums ir redzams 1. tabulā. Pētījumā tika veikti sekojoši izmeklējumi – redzes asums ar un bez korekcijas, labākā iespējamā subjektīvā korekcija, radzenes topogrāfija, Wavefront aberāciju mērījums 8 mm radzenei.

Pacientu sadalījums pēc keratokonusa pakāpes.

	I pakāpe	II pakāpe	III pakāpe	Kopā
Centrāla virsotne	7 (26 %)	10 (32 %)	16 (76 %)	33
Perifēra virsotne	20 (74 %)	21 (68 %)	5 (24 %)	46
Kopā:	27	31	21	

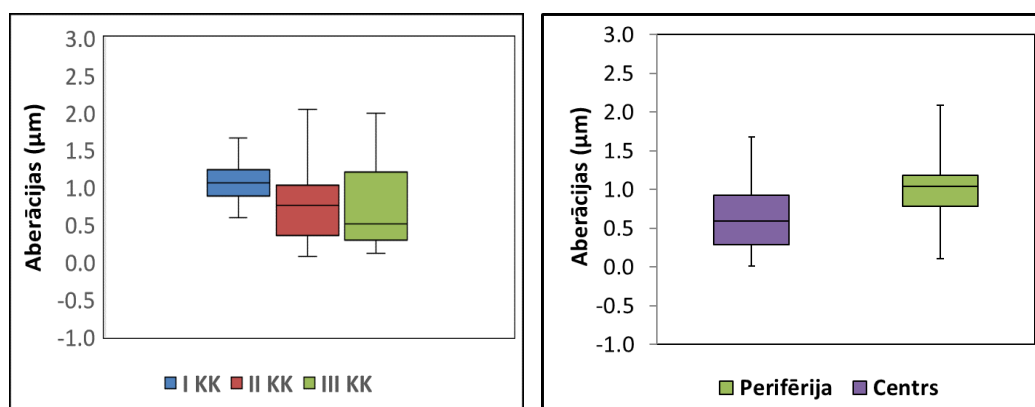
## Rezultāti un to analīze

Radzenes dominējošās aberācijas ir vertikālā koma un sfēriskā aberācija. Keratokonusa pakāpei palielinoties, palielinās vertikālās komas aberācija (skat. 1. att.), lai gan statistiski nozīmīga atšķirība ir tikai starp keratokonusa I un III pakāpi ( $p = 0,03$ ) ar *Mann-Whitney* testu. Vertikālās komas aberācija ir lielāka pacientiem ar centrālu keratokonusa pakāpi kā pacientiem ar perifēru, kaut arī atšķirība nav statistiski nozīmīga ( $p = 0,51$ ) pēc *Mann-Whitney* testa. Salīdzinoši, kontroles grupā vidējā vertikālā koma bija  $0,30 \mu\text{m}$ .



1. att. Vertikālās komas mediāna. Attēlā pa kreisi – dažādās keratokonusa stadijās, attēlā pa labi – atkarībā no virsotnes atrašanās vietas.

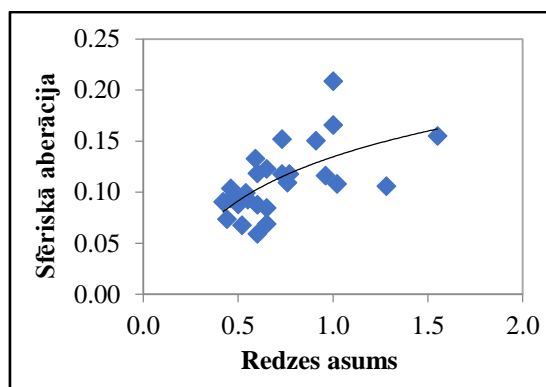
Ar sfērisko aberāciju situācija ir pretēja (skat. 2. att.), proti, aberācija samazinās, ja keratokonusa pakāpe palielinās, lai gan nav statistiski nozīmīgas atšķirības starp ne vienu no keratokonusa pakāpēm. Pacientiem ar dažādu keratokonusa virsotnes atrašanās vietu ir statistiski nozīmīga atšķirība pēc *Mann-Whitney* testa ( $p = 0,01$ ), pacientiem ar perifēru keratokonusa virsotni sfēriskā aberācija ir lielāka kā ar centrālu. Salīdzinoši, kontroles grupā vidējā sfēriskā aberācija bija  $1,29 \mu\text{m}$ .



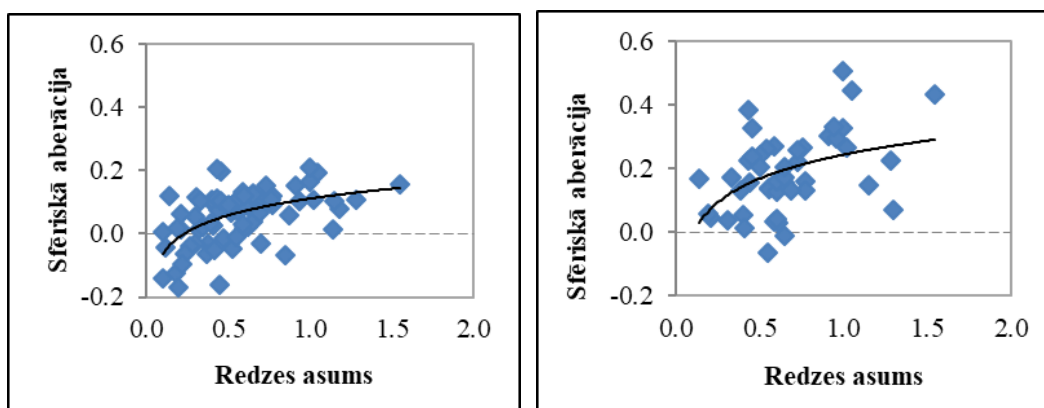
2. att. Sfēriskās aberācijas mediāna. Attēlā pa kreisi – dažādās keratokonusa stadijās, attēlā pa labi – atkarībā no virsotnes atrašanās vietas.

Pirmās pakāpes keratokonusa pacientiem, koriģētajam redzes asumam vislielākā korelācija (skat. 3. att.) ir ar radzenes priekšējās virsmas sfēriskājo aberāciju ( $r = 0,59$ ) un radzenes aizmugurējo

virsmu ( $r = 0,65$ ). Otrās un trešās pakāpes keratokonusa pacientiem nav nozīmīgas korelācijas ar ne ar vienu no aberācijām. Pacientiem ar centrālu keratokonusa virsotni, vislielākā korelācija redzes asumam ir ar radzenes priekšējās virsmas sfērisko aberāciju ( $r = 0,45$ ), bet pacientiem ar perifēru keratokonusa virsotni ar radzenes aizmugurējās virsmas sfērisko aberāciju ( $r = 0,53$ ), neskatoties uz to, ka vertikālai komai ir vislielākā atšķirība no normālas populācijas (skat. 4. att.).



3. att. Pirmās pakāpes keratokonusa pacientu koriģētā redzes asuma korelācija ar sfērisko aberāciju.



4. att. Koriģētā redzes asuma korelācija ar sfērisko aberāciju pacientiem ar centrālu keratokonusa virsotni (pa kreisi) un ar perifēru keratokonusa virsotni (pa labi).

## Diskusija

Keratokonusa pacientiem ir statistiski nozīmīgi samazināta kontrastjutība vidējās un augstās kontrastjutības telpiskajās frekvencēs (Liduma & Krumina, 2017), gan atkarībā no keratokonusa stadijas, gan no keratokonusa virsotnes atrašanās vietas. Tas liecina, ka keratokonusa pacientiem jābūt atšķirībām augstākās kārtas aberācijās. Lai gan komas aberācijai ir vislielākā aberācijas atšķirība no vertikālās komas, tomēr statistiski nozīmīga atšķirība ir tikai starp I un III keratokonusa pakāpi radzenes priekšējai virsmai, bet nav statistiski nozīmīgas atšķirības pacientiem ar centrālu un perifēru virsotnes atrašanās vietu. Keratokonusa pacientiem nozīmīga ir sfēriskā aberācija. Sfēriskai aberācijai ir statistiski nozīmīga atšķirība dažādām virsotnes atrašanās vietām, bet ne dažādām keratokonusa pakāpēm. Kā arī sfēriskajai aberācijai ir vislielākā korelācija ar koriģēto redzes asumu. Centrālajai keratokonusa virsotnei ar radzenes priekšējo radzenes virsmu, bet perifēram ar radzenes aizmugurējo keratokonusa virsmu.

## Secinājumi

Pacientiem ar keratokonusu ir nozīmīgi lielākas radzenes aberācijas salīdzinot ar normālu populāciju. Aberācijas samazina redzes kvalitāti uz tīklenes, samazinot pacientiem augsta kontrasta redzes asumu un kontrastjutību. Aberācijas ir galvenais iemesls, kādēļ pacientiem ar keratokonusu ir nozīmīgi samazināta redzes kvalitāte.

## Pateicības

Vēlamies teikt lielu paldies Dr. Lūkina acu klīnikai par iespēju analizētu pacientu datus un tos publicēt.

## Literatūra

- Applegate, R. A., Marsack, J. D., Thibos, L. N. (2006). Metrics of retinal image quality predict visual performance in eyes with 20/17 or better visual acuity. *Optometry and Vision Science*, 83(9), 635-640.
- Barbero, S., Marcos, S., Merayo-Llodes, L., Moreno-Barriuso, E. (2002). Validation of the estimation of corneal aberrations from videokeratography in keratoconus. *Journal of Refractive Surgery*, 18(3), 263-270.
- Carvalho, L. A. (2005). Accuracy of Zernike polynomials in characterizing optical aberrations and the corneal surface of the eye. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46(6), 1915-1926.
- Gordon-Shaag, A., Millodot, M., Ifrah, R., Shneur, E. (2012). Aberrations and topography in normal, keratoconus-suspect, and keratoconic eyes. *Optometry and Vision Science*, 89(4), 1-8.
- Hess, R. F., Carney, L. G. (1978). Vision through an abnormal cornea: a pilot study of the relationship between visual loss from corneal distortion, corneal oedema, keratoconus, and some allied corneal pathology. *The Association for Research in Vision and Ophthalmology*, 18(5), 476-483.
- Klyce, S. D. (1984). Computer-assisted corneal topography. High-resolution graphic presentation and analysis of keratoscopy. *Investigative ophthalmology & visual science*, 25(12), 1426-1435.
- Liduma, S., Krumina, G. (2017). Visual acuity and contrast sensitivity depending from keratoconus apex position. *Proceeding of the latvian academy of science*, 5(710), 339-346.
- Lombardo, M., Lombardo, G. (2010). Wave aberration of human eyes and new descriptors of image optical quality and visual performance. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 36(2), 313-331.
- Maloney, R. K., Bogan, S. J., Waring, G. O. (1993). Determination of corneal image-forming properties from corneal topography. *American Journal of Ophthalmology*, 115(1), 31-41.
- Nakagawa, T., Maeda, N., Kosaki, R., Hori, Y., Inoue, T., Saika, M., Mihashi, T., Fujikabo, T., Tano, Y. (2009). Higher-order aberrations due to the posterior corneal surface in patients with keratoconus. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 50(6), 2660-2665.
- Okamoto, C., Okamoto, F., Samejima, T., Miyata, K., Oshika, T. (2008). Higher-order wavefront aberration and letter-contrast sensitivity in keratoconus. *Eye*, 22, 1488-1492.
- Owsley, C. (2003). Contrast sensitivity. *Ophthalmology Clinics of North America*, 16(2), 171-177.
- Pesudovs, K., Schoneveld, P., Seto, R. J., Coster, D. J. (2004). Contrast and glare testing in keratoconus and after penetrating keratoconus. *British Journal of Ophthalmology*, 88(5), 653-657.
- Pinero, D. P., Alio, J. L., Aleson, A., Escaf, M., Miranda, M. (2009). Pentacam posterior and anterior corneal aberrations in normal and keratoconic eyes. *Clinical and Experimental Optometry*, 92(3), 297-303.
- Rabinowitz, Y.S. (1998). Keratoconus. *Survey of Ophthalmology*, 42(4), 297-319.
- Rosa, N., Bernardo, M. D., Lanza, M., Borrelli, M., Fusco, F., Flagiello, A. (2008). Corneal Aberrations Before and After Photorefractive Keratectomy. *Journal of Optometry*, 1(2), 53-58.
- Safarzadeh, M., Nasiri, N. (2016). Anterior segment characteristics in normal and keratoconus eyes evaluated with a combined Scheimpflug / Placido corneal imaging device. *Journal of Current Ophthalmology*, 28(3), 106-111.
- Smolek, M. K., Klyce, S. D. (2003). Zernike polynomial fitting fails to represent all visually significant corneal aberrations. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 44(11), 4676-4681.
- Woods, R. L., Wood, J. M. (1995). The role of contrast sensitivity charts and contrast letter charts in clinical practice. *Clinical and Experimental Optometry*, 78(2), 43-57.
- Zadnik, K., Mannis, M. J., Johnson, C. A. (1984). An analysis of contrast sensitivity in identical twins with keratoconus. *Cornea*, 3(2), 99-103.
- Zadnik, K., Mannis, M. J., Johnson, C. A., Rich, D. (1987). Rapid contrast sensitivity assessment in keratoconus. *American Journal of Optometry*, 64(9), 693-697.

# Akomodācijas un vergences sistēmas balansa diagnostika: akomodācijas mērījumu iespējas un pielietojums redzes ergonomikas pētījumos

Karola Panke, Aiga Švede un Gunta Krūmiņa  
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
karola.panke@lu.lv

## Anotācija

Klīniskās optometrijas, redzes zinātnes un redzes ergonomikas pamatprincipi aktualizē vajadzību pēc jaunas metodoloģijas, kas ļautu veikt pētniecību saistībā ar acs akomodācijas un vergences atbildi dažādos darba apstākļos, kā arī ietvertu gan stimulu, gan pašas vides parametru izmaiņas. Ekscentriskā fotorefraktometrija ir viena no potenciāli daudz sološākajām objektīvajām metodēm, kas ļautu veikt šāda tipa mērījumus. Galvenās objektīvo metožu priekšrocības redzes funkciju novērtēšanā ir liels mērījumu ātrums, laba atkārtojamība un iespējas nomērīt dinamiskas izmaiņas laikā, kas ir pat līdz 25x mazākas par tām, ko var nomērīt ar klīniskajām metodēm.

Tika veikta iekārtas *PowerRef3* funkcionālā testēšana, atbilstība rūpnieciski norādītajiem parametriem un klīnisko pielietojumu testēšana acs akomodācijas mērījumu veikšanai. *PowerRef3* ražotāja norādītais refrakcijas mērāmais diapazons ir robežās no -7,00 D līdz +5,00 D un tiek iegūts ar soli 0,01 D. Pieļaujamais zīlītes diapazons ir no 4 līdz 8 mm, kas tiek mērīts ar soli 0,1 mm. Dinamiskie mērījumi tiek iegūti binokulāri ar 50 Hz frekvenci, kas nozīmē, ka mērījums tiek veikts ik pa 0,02 sekundēm.

Iegūtie rezultāti parāda, ka *PowerRef3* refrakcijas mērījumiem ir tendence uz hipermetropisku novirzi  $0,25 \text{ D} \pm 0,22 \text{ D}$  izmantojot mīnus provas lēcas un  $0,33 \text{ D} \pm 0,20 \text{ D}$  izmantojot plus provas lēcas, tomēr iegūtā mērījumu nobīde no patiesās nebija statistiski nozīmīga ( $P > 0,05$ , *t-tests*). Mērot refrakciju cikloplēģijā, nepieciešams lietot apertūru, kas ļauj maksimālās provas lēcas, ar kurām var iegūt ticamus rezultātus, palielināt no -2,50 D līdz +3,50 D bez apertūras līdz -5,00 D un +5,00 D ar 5 mm apertūru. Mērījumi ar provas lēcām var ietekmēt nomērīto zīlītes izmēru. Ar +5,00 D lēcu nomērītais zīlītes izmērs bija  $5,27 \text{ mm} \pm 0,09 \text{ mm}$ , kas ir par 0,27 mm vairāk nekā izmantotās apertūras izmērs. Mīnus lēcas radīja samazinājuma efektu, kas ar -5,00 D lēcu bija  $4,86 \text{ mm} \pm 0,08 \text{ mm}$ , kas ir par 0,14 mm mazāk nekā izmantotās apertūras lielums. Kopējais maksimālais diapazons zīlītes izmēra mērījumu neprecizitātei nepārsniedza 0,5 mm, kas pie 10,00 D lēcu diapazona izmaiņām vērtējams kā apmierinošs rādītājs. No iegūtajiem astigmātisma simulācijas rezultātiem varam secināt, ka iekārta *PowerRef3* pamatā mēra vertikālā meridiānā un nav piemērota astigmātiskas refrakcijas kļūdas mērīšanai. Kopumā vērtējam, ka iekārta mēra pietiekami precīzi, lai to varētu izmantot redzes zinātnes un redzes ergonomikas pētījumos LU Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā. Kā limitējoši faktori mērījumu veikšanai ar iekārtu *PowerRef3* tika identificēti dalībnieki ar lielām refrakcijas kļūdām (3. pakāpes miopija un hipermetropija), dalībnieki ar astigmātismu  $\geq 1,50 \text{ D}$  un dalībnieki ar fizioloģiski mazām acu zīlītēm (tai skaitā gados vecāki dalībnieki ar vecuma miozi). Potenciāli sarežģītāka datu apstrāde sagaidāma dalībniekiem ar sausām acīm, kas biežāk mirkšķina.

## Atslēgas vārdi:

Redzes ergonomika, akomodācija, fotorefraktometrija, *PowerRef3*, acs zīlīte, vergence



## Ievads

Redzes ergonomika ir multidisciplināra zinātnes nozare, kas nodarbojas ar analīzi par cilvēka redzes procesa saistību ar apkārt esošajām sistēmām, kas iekļauj darba vidi, redzes noslodzi, redzes funkciju novērtējumu, redzes komfortu un drošības aspektus darbā ar dažādām ierīcēm (*Toomingas*, 2014). Ērtas darba vietas iekārtošanā tiek ņemti vērā tādi redzi ietekmējoši faktori kā telpas apgaismojums, apgaismojuma novietojums, ekrāna attālums līdz acīm, ekrāna veids, izmērs un augstums un skata leņķis. Šie parametri ietekmē acs akomodācijas un vergēnces sistēmas pieprasījumu, kas ir tieši saistīts ar radīto redzes noslodzi, piemēram, 30 cm attālumā teorētiski nepieciešamā acs akomodācijas saspringšana ir 3,33 D, bet 60 cm attālumā tā ir 1,67 D, kas ir divas reizes mazāka. Iepriekš veiktie pētījumi parāda, ka tuvāks tuvuma darba attālums saistīts ar lielāku tuvredzības progresēšanas risku (*Haro et al.*, 2000; *Pärssinen et al.*, 1989). Zems telpas apgaismojums negatīvi ietekmē acs akomodācijas spēju strādāt efektīvi, proti, sliktākā apgaismojumā palielinās acs akomodācijas mikrosvārstības (*Gray et al.*, 1993) un akomodācijas atpalikšana (*Jiang et al.*, 1991). Akomodācijas atbilde ir atkarīga arī no vertikālā un horizontālā skata leņķa. Pētot acs akomodācijas atbildes precizitāti horizontālajiem skata leņķiem no 2,5° līdz 30°, tika secināts, ka vismazākā akomodācijas atpalikšana vērojama pie 8° un 10°, kas varētu liecināt par to, ka optimālu acs akomodācijas ierosināšanu var ietekmēt pārāk mazs vai pārāk liels attēla leņķiskais izmērs (*Hartwig et al.*, 2011; *Otero et al.*, 2017). Attiecībā uz vertikālo skata leņķi jeb galvas nolieci ir atrasta saistība starp vairāk lejupvērstu skata leņķi un tuvredzību un tās progresiju (*Hartwig et al.*, 2011; *Olavi & Kauppinen.*, 2016). Ilgstošs tuvuma darbs ar datoru ofisa vidē samazina arī acu mirkšķināšanas biežumu, kas palielina acs asaru iztvaikošanas ātrumu un var radīt subjektīvu diskomfortu. Mirkšķināšanas biežumu un kvalitāti ietekmē arī skata leņķis (*Skotte et al.*, 2006), digitāla vai papīra formāta materiāliem (*Argilés et al.*, 2015), nogurums (*Stern et al.*, 1994) un kognitīvās slodzes jeb uzdevuma sarežģītības pakāpe (*Rosenfield et al.*, 2015). Iepriekšminēto parametru novērtēšanai un analīzei nepieciešams izmantot augstas precizitātes iekārtas, kas atšķiras no klīniskajā optometrijā izmantotajām metodēm.

## Subjektīvas un objektīvas metodes

Vēsturiski klīniskajā optometrijā, lai noteiktu redzes funkcijas, pamatā tiek izmantotas subjektīvās metodes. Plaši izmantotā objektīvā metode ir autorefraktometrija, kas ļauj noteikt objektīvo acs refrakcijas stāvokli. Savukārt, redzes zinātnes pētījumos objektīvās metodes tiek izmantotas ļoti daudz. Kā piemērus var minēt atvērta skata autorefraktometrus vai ekscentrisko fotorefraktometrijas metodi acs akomodācijas funkciju detalizētai izvērtēšanai, aberometriju, ko izmanto acs augstāko kārtu aberāciju kartēšanai un acu kustību aparātus, kas ļauj novērtēt fiksācijas laiku, sakādes amplitūdas un citus parametrus. Pēdējos gados aizvien vairāk objektīvās metodes parādās arī optometristu kabinetos.

Objektīvo metožu gadījumā konkrētās redzes funkcijas tiek nomērītas, izmantojot optiskos principus, un nav nepieciešama subjektīva pacienta atbilde un novērtējums. Liela daļa klīnisko redzes testu balstās uz nepieciešamību saņemt pacienta atbildi, kurā brīdī attēls kļūst skaidrs, kurā tas samiglojas, kad pamanīta dubultošanās utt. Katra individuālais novērtējums un interpretācija par šiem terminiem var atšķirties un tas mēdz atšķirties arī vienam indivīdam dažādās mērījumu reizēs, tāpēc subjektīvās metodes sniedz zemāku atkārtojamību un ir lielāks risks nepareizai interpretācijai. Kā trūkumu subjektīvām metodēm var minēt arī to, ka tās ir laikietilpīgas un nav pielietojamas tad, ja komunikācija ar pacientu ir ierobežota (valodas barjeras, nedzirdīgi pacienti). Dažas no optometrijā izmantotajām metodēm ir daļēji objektīvas. Kā piemēru var minēt retinoskopiju un dinamisko retinoskopiju, kur no pacienta subjektīvā atbilde netiek prasīta, tomēr paliek paša mērījuma veicēja subjektīvais novērtējums un interpretācija par to, kad tiek novērots neitralizācijas reflekss. Šādu metožu atkārtojamība atkarīga no konkrētā optometrista pieredzes un prasmēm šo metodi pielietot. Galvenās objektīvo metožu priekšrocības redzes funkciju novērtēšanā ir augsts mērījumu ātrums, laba atkārtojamība un iespējas nomērīt izmaiņas, kas ir pat līdz 25x mazākas par tām, ko var nomērīt ar klīniskajām metodēm. Savukārt, kā trūkumu var minēt to, ka objektīvās metodes neņem vērā

pacienta spējas adaptēties maksimālajai korekcijai un vispārējo nepieciešamību pēc tās. Būtisks faktors ir arī cenu atšķirības – objektīvās metodes izmaksā dārgāk, salīdzinot ar subjektīvajām metodēm. Vairāki līdz šim veiktie pētījumi parāda, ka subjektīvie testi vairumā gadījumu uzrāda nepatiesi labākus akomodācijas atbildes rezultātus nekā objektīvās metodes (*Anderson & Stuebing, 2014; Hunt et al., 2003; Wold et al., 2003*), kur netiek ņemts vērā fokusa dziļums (*Yao et al., 2010*). Veiksmīgai redzes funkciju izvērtēšanai nepieciešams kombinēt gan objektīvās, gan subjektīvās metodes.

## Fotorefraktometrija

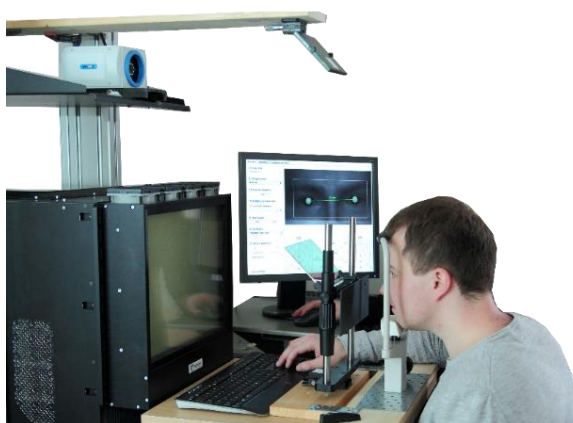
Fotorefraktometrija ir objektīva metode, kuras pamata princips balstās uz ātriem fotogrāfiskiem acs refleksa attēla uzņēmumiem, no kuriem ar attēla analīzes palīdzību tiek iegūts acs refrakcijas un acs akomodācijas stāvoklis. Izšķir trīs veidu fotorefraktometrijas metodes dizainus: izotropiskais (*Bobier et al., 1992; Howland et al., 1983*), ortogonālais (*Bobier et al., 1992; Howland et al., 1983*) un ekscentriskais (*Chen et al., 2003; Dušek & Dostálek, 2004; Kaakinen & Tommila, 1979; Roorda et al., 1998*). Minētajās metodēs tiek izmantota kamera ar nelielu gaismas avotu netālu no kameras, kas uztver no acs atstaroto gaismu refleksa veidā, kas tiek fotografēts ar frekvenci no 15 līdz 70 Hz (*Suryakumar et al., 2009*). Atstarotās gaismas viļņu fotogrāfiskais izskats mainās atkarībā no refrakcijas kļūdas lieluma un acs zīlītes izmēra.

Izotropiskais un ortogonālais fotorefraktometra dizains tiek dēvēts arī par koaksiālo fotorefraktometriju, jo gaismas avots novietots centrāli pa kameras optisko asi. Visvienkāršākā no fotorefraktometrijas metodēm ir izotropiskā refraktometrija, kuras uzbūvē netiek izmantotas cilindriskās lēcas. Sfēriskā refrakcijas kļūda tiek attēlota kā aplis, kura izmērs raksturo sfēriskā defokusa lielumu, savukārt, astigmātisms tiek attēlots kā elipse (*Rosenfield et al., 2009*). Refrakcijas kļūdas mērījums tiek iegūts, defokusējot kameru attiecībā pret aci. Ortogonālās fotorefraktometrijas gadījumā refrakcijas kļūdas tiek noteiktas atkarībā no acs zīlītes izgaismojuma, kas tiek mērīts vienlaicīgi perpendikulārajos meridiānos – taisnajās asīs  $90^\circ$  un  $180^\circ$ , un slīpajās asīs  $45^\circ$  un  $135^\circ$ . Savukārt, ekscentriskās fotorefraktometrijas gadījumā gaismas avots novietots ekscentriski no kameras (aizsedzot daļu no apaļās kameras apertūras ar masku) un refrakcijas kļūdas mērījums tiek iegūts analizējot zīlītes robežās esošā pusmēness loka gaismas refleksa izskatu (*Campbell et al., 1995*). Emetropas acs gadījumā, no tīklenes atstarotā infrasarkanā gaisma kamerā fokusēsies tieši kameras plaknē un tiks uzņemta kā vienmērīgi spožs reflekss visā zīlītes plaknē. Ja acs defokuss būs miopisks attiecībā pret kameru, tad gaisma, kas tiks atstarota no tīklenes fokusēsies plaknē, kas būs starp aci un kameru, veidojot atstarotās gaismas konusu, kura leņķis būs atkarīgs no defokusa lieluma. Tā kā daļu kameras aizsedz maska, tad miopiska refleksa gadījumā kamerā nonāks tikai tā gaismas daļa, kas tiek izstarota no tās pašas puses zīlītes attēla, savukārt, hipermetropiska refleksa gadījumā izgaismoti tiks gaismas stari no pretējās zīlītes puses (*Hunt et al., 2003*). Ekscentriskās fotorefraktometrijas gadījumā tiek iegūts ne tikai tīklenes reflekss, bet arī pirmais Purkinjē attēls, kas ļauj paralēli veikt arī acu novietojuma mērījumus (*Howland, 2009*). Visām fotorefrakcijas metodēm ir individuāli nedefinēts darbības diapazons attiecībā uz iespējam nomērīt refrakcijas kļūdu un acs zīlītes izmēru. Apgabals, kurā fotorefrakcijas mainās atkarībā no refrakcijas kļūdas lieluma, ir ierobežots, pēc kura seko tā saucamais “neķeres” diapazons (*dead zone*), kurā fotorefrakcijas reflekss vairs nevar tikt uzņemts vai arī tā izmērs un gradients vairs nemainās (*Campbell et al., 1995*). Darbības diapazona palielināšanai tiek piedāvāts izmantot vairākus gaismas avotus viena vietā, kā arī izmantot vairākas ekscentricitātes (*Schaeffel et al., 1993*).

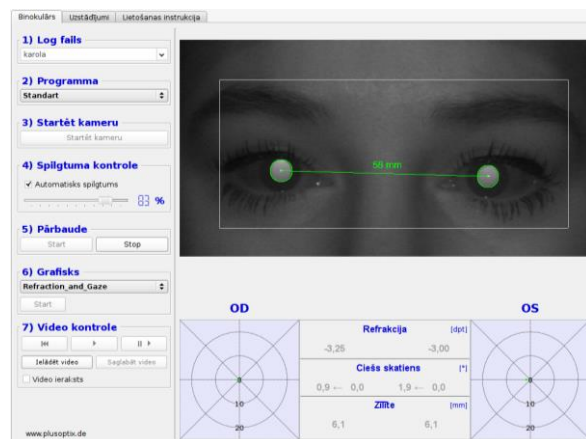
## Akomodācijas mērījumi ar iekārtu *PowerRef3*

Iekārta *PowerRef3* ir balstīta uz ekscentriskās fotorefraktometrijas principu, kur tiek izmantota kamera ar vairākiem, rindās novietotiem infrasarkanās gaismas LED avotiem. Nepieciešamais optiskā ceļa garums no kameras līdz acīm ir 1 m, ko var realizēt ar 2 spoguļu palīdzību (skat. 1.a att.). Iekārta mēra atstarotās gaismas gradientu zīlītes plaknē sešos meridiānos, kas savstarpēji atdalīti ik pa  $30^\circ$  (*Hunt et al., 2003*). Astigmātiskā refrakcijas kļūda tiek ņemta vērā, bet netiek izdalīta kā

atsevišķs cilindriskais refrakcijas lielums. Refrakcijas mērāmais diapazons ir robežās no  $-7,00$  D līdz  $+5,00$  D un tiek iegūts ar soli  $0,01$  D. Pieļaujamais acs zīlītes diapazons ir no  $4$  līdz  $8$  mm, kas tiek mērīts ar soli  $0,1$  mm. Dinamiskie mērījumi tiek iegūti binokulāri ar  $50$  Hz frekvenci, kas nozīmē, ka mērījums tiek veikts ik pa  $0,02$  sekundēm. *PowerRef3* ir uzlabota iepriekšējā *PowerRef II* versija, kas plaši tika izmantota redzes pētījumos (*Harb et al.*, 2006; *Hunt et al.*, 2003; *Jainta et al.*, 2008; *Suryakumar et al.*, 2007), taču tai bija savi ierobežojumi. *PowerRef II* sistēma nenodrošināja individuālu kalibrēšanu, iegūtie refrakcijas mērījumi bija uz hipermetropijas pusi (vidējā vērtība  $\pm$  SD;  $0,59 \pm 0,42$ ) un dati netika mērīti ar norādīto frekvenci  $25$  Hz, kā tas bija norādīts iekārtas specifikācijā (*Jainta et al.*, 2004). Tā pēctecis *PowerRef3* nodrošina nepārtrauktu datu iegūvi ar augstāku ( $50$  Hz) frekvenci, tādēļ ir vairāk piemērots acs akomodācijas pētījumiem. Jāņem vērā, ka acs zīlītes izmērs un tīklenes refleksa spilgtums var ietekmēt uzņemtā attēla intensitātes gradientu. Iekārta ir kalibrēta kaukāziešu rases pārstāvjiem un gadījumā, ja to vēlas izmantot cilvēkiem ar citu etnisko izcelsmi un tīklenes atstarošanās parametriem, tad var būt nepieciešams veikt empīrisku kalibrēšanu, lai precīzi noteiktu refrakciju (*Sravani et al.*, 2015). Šī ierīce nodrošina kvantitatīvus, objektīvus, neinvazīvus un ar augstu atkārtojamību veicamus mērījumus acs refrakcijas, akomodācijas, acs zīlītes un acu skata mērījumiem. Iekārtas pamata programmatūra piedāvā divu veidu mērījumu formātus –  $10$  sekunžu ilgu mērījumu (*Standart\_10sec*) vai neierobežoti ilgu mērījumu (*Standart*), kas apstājas tad, kad lietotājs to izlemj un ziņo nospiežot *Stop* pogu (skat. 1.b att.). Iemesls, kāpēc šāda iekārta ir noderīga un interesanta redzes zinātnes pētījumiem, ir saistīts ar to, ka tā ir viena no brīvā skata mērierīcēm, kas nozīmē, ka atļauj veikt mērījumus ar dažāda veida stimuliem, dažādos attālumos ar ļoti mazu mērījuma soli. Tas ļauj analizēt tādu stimulu faktoru kā izmērs, kontrasts, formāts (drukāts vai digitāls), attālums un apgaismojums ietekmi uz acs akomodācijas atbildi.



(a)



(b)

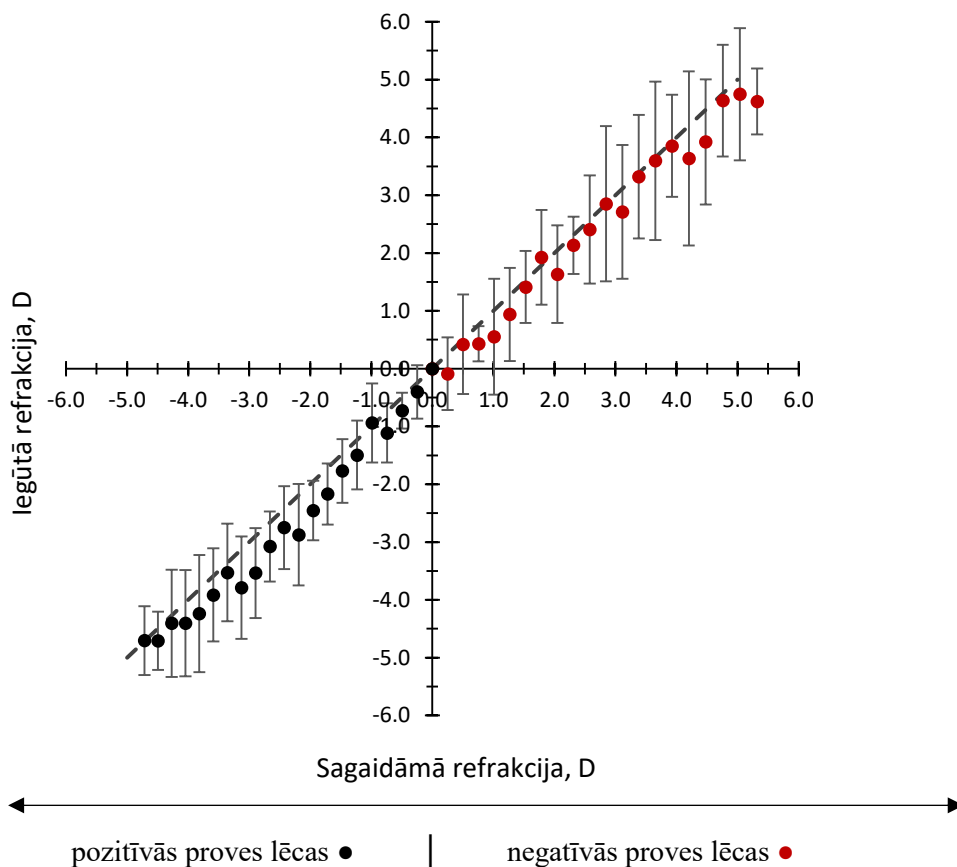
1. att. Viens no veidiem kā uzstādīt  $1$  m optisko ceļu mērījumiem ar iekārtu *PowerRef3* (a), programmatūras logs mērījumu laikā (b).

## Iekārtas funkcionālā testēšana

*PowerRef3* iekārtas funkcionālā testēšana tika veikta, lai pārbaudītu iekārtas atbilstību specifikācijā norādītajiem parametriem un attiecīgi pamatotu tās potenciālo pielietojumu turpmākajos pētījumos. Funkcionālā testēšana tika veikta sešiem kaukāziešu izcelsmes dalībniekiem ar emetropiju. Mērījumi tika veikti monokulāri (labai acij) diapazonā no  $-5,00$  D līdz  $+5,00$  D ar soli  $0,25$  D. Labās acs priekšā tika novietots infrasarkanās gaismas filtrs un  $5$  mm apertūra, fiksāciju tālumā nodrošināja kreisā acs, kuras priekšā probes lēcas netika liktas. Mērījumi tika veikti atslābinātās acs akomodācijas gadījumā, kas tika panākta, izmantojot “*Sol. Cyclogyl 10 mg/ml*” acu pilienus. Katram dalībniekam cikloplēģiskā efekta panākšanai acī tika iepilināti divi pilieni ar piecu minūšu intervālu. Mērījumi tika uzsākti  $35$  minūtes pēc pirmā piliena iepilināšanas. Lielākai daļai dalībnieku cikloplēģijas dēļ bija palielināts zīlītes izmērs, kas potenciāli varētu radīt mērījumu kļūdas vai sasniegt maksimālo zīlītes izmēru, ko iekārta ļauj nomērīt ( $8$  mm). Mērījumi tiek uzsākti ar *planum* lēcu, turpināti ar pozitīvajām



proves lēcas, un  $0,33 D \pm 0,20 D$ , izmantojot plus probes lēcas. Iegūtie dati nav statistiski nozīmīgi atšķirīgi no sagaidāmajām vērtībām ( $P > 0,05$ ,  $t$ -tests), kas ļauj secināt, ka iekārta mēra pietiekami precīzi, lai to varētu izmantot redzes zinātnes pētījumos LU Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā.

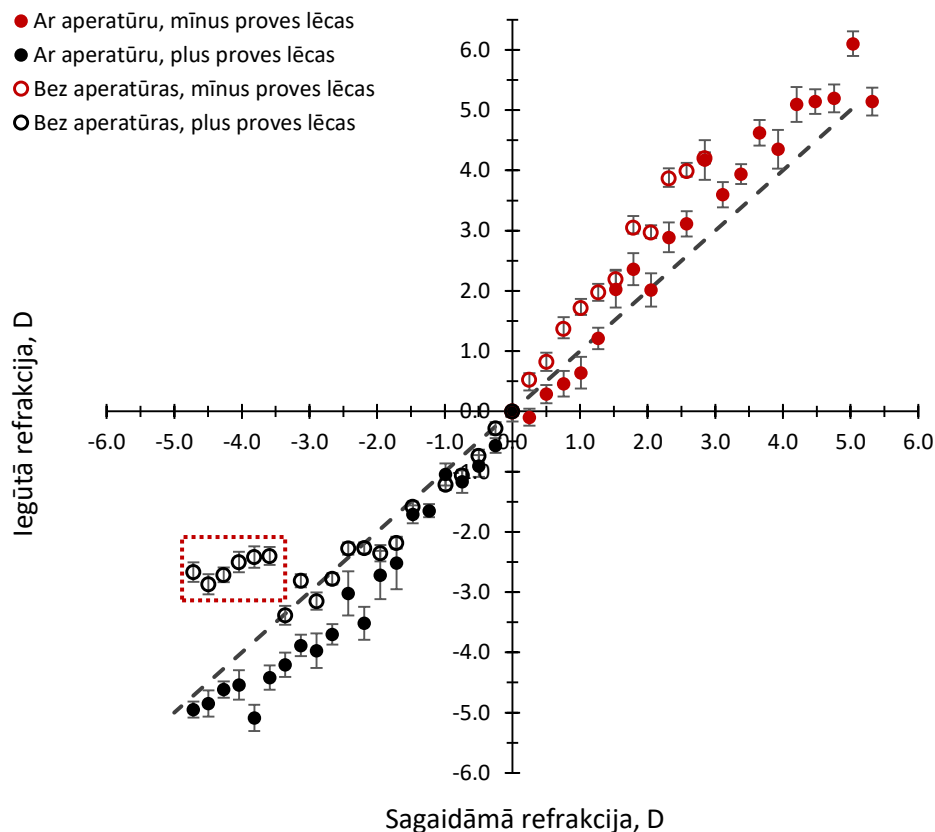


**3. att.** Vidējā *PowerRef3* kalibrēšanas līkne ( $n = 6$ ). Normalizēta individuālajai pamata refrakcijai un *vertex* attālumam.

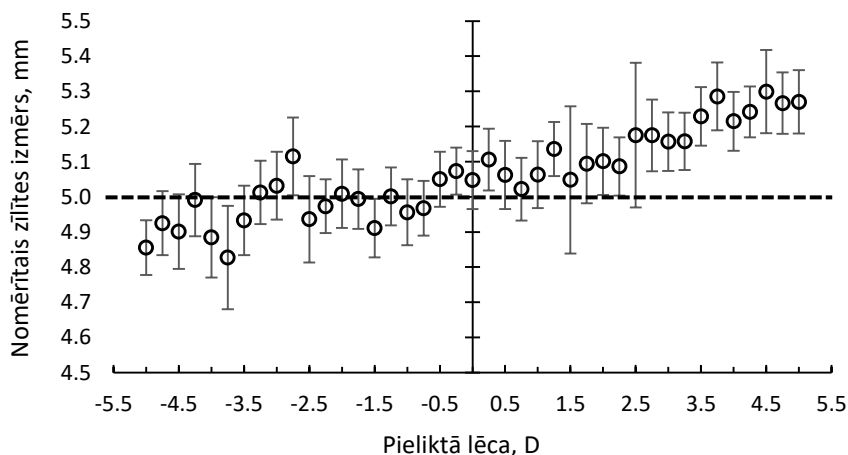
Visi iepriekš aprakstītie mērījumi tika veikti ar 5 mm apertūru, bet, lai noskaidrotu, cik būtiski tas varēja ietekmēt rezultātus, vienam no dalībniekiem visa procedūra tika atkārtota arī bez apertūras. Iegūtie dati (skat. 4.att.) parāda, ka ar cikloplēģiski paplašinātu zīlīti inducētas hipermetropijas gadījumā (ar mīnus probes lēcām) iekārta mēra vidēji par  $-0,79 D \pm 0,37 D$  miopiskāku refrakciju, turklāt tehnisku ierobežojumu dēļ mērījumus nebija iespējams veikt ar lēcām, kas  $< -2,50 D$ . Inducējot miopiju (ar plus probes lēcām), ja refrakcijas kļūda bija  $\leq 2,00 D$ , iegūtie dati būtiski neatšķiras no tiem, kas iegūti ar apertūru. Diapazonā no 2,25 D līdz 3,50 D iegūtie dati ir pat precīzāki kā tie, kas tika iegūti ar apertūru, savukārt, mērījumi, kas iegūti virs 3,75 D, nav ticami, jo iestājas tā saucamā “neķeres” zona (skat. 4. att. – iezīmēts ar sarkanu raustītu līniju), kad mērījumu var veikt, bet tālākās refrakcijas izmaiņas neatspoguļojas rezultātos. Apkopojot šos novērojumus secinām, ka mērījumiem, kurus paredzēts iegūt pēc cikloplēģijas, apertūras izmantošana kopumā sniedz precīzākus acs refrakcijas mērījumus un ļauj būtiski palielināt derīgo mērījumu diapazonu. Bez apertūras maksimālās probes lēcas, ar kurām var iegūt ticamus rezultātus, bija  $-2,50 D$  un  $+3,50 D$ , savukārt, ar apertūru  $-5,00 D$  un  $+5,00 D$ .

Mērījumu veikšanas laikā tika novērots, ka, ja lēcu stiprumi bija  $> \pm 2,50 D$ , sāk parādīties vizuāli redzami acs zīlītes izmēra palielinājuma (plus lēcām) vai samazinājuma (mīnus lēcām) efekti. Tā kā tika izmantota konstanta 5 mm apertūra, tad teorētiski iekārtas nomērītajam zīlītes diametram būtu jābūt konstantam, nemainīgam un 5 mm lielam. Trīs dalībniekiem, kuriem bija iespējams veikt mērījumus pilnā lēcu diapazonā no  $-5,00 D$  līdz  $+5,00 D$  tika izanalizēti arī atbilstošie zīlītes izmēri ar katru no pieliktajām lēcām. Apkopotie rezultāti (skat. 5. att.) parāda, ka plus lēcām ir tendence dot

palielinājumu, kas attiecīgi ietekmē nomērīto zīlītes izmēru, tomēr šī izmaiņa ir relatīvi maza. Ar +5,00 D lēcu nomērītais zīlītes izmērs bija  $5,27 \text{ mm} \pm 0,09 \text{ mm}$ , kas ir par 0,27 mm vairāk nekā izmantotās apertūras izmērs. Mīnus lēcas radīja samazinājuma efektu, kas ar -5,00 D lēcu bija  $4,86 \text{ mm} \pm 0,08 \text{ mm}$ , kas ir par 0,14 mm mazāk nekā izmantotās apertūras lielums. Neskatoties uz to, ka relatīvi šie lēcu radītie palielinājuma un samazinājuma efekti ir nelieli, ja salīdzinām plus un mīnus lēcu radīto efektu apjomu, tad pozitīvās lēcas radījušas 2x lielāku izmēra izmaiņu, salīdzinot ar negatīvajām lēcām. Kopējais diapazons zīlītes izmēra mērījumu neprecizitātei nepārsniedza 0,5 mm, kas 10,00 D lēcu diapazona izmaiņām vērtējams kā apmierinošs rādītājs.

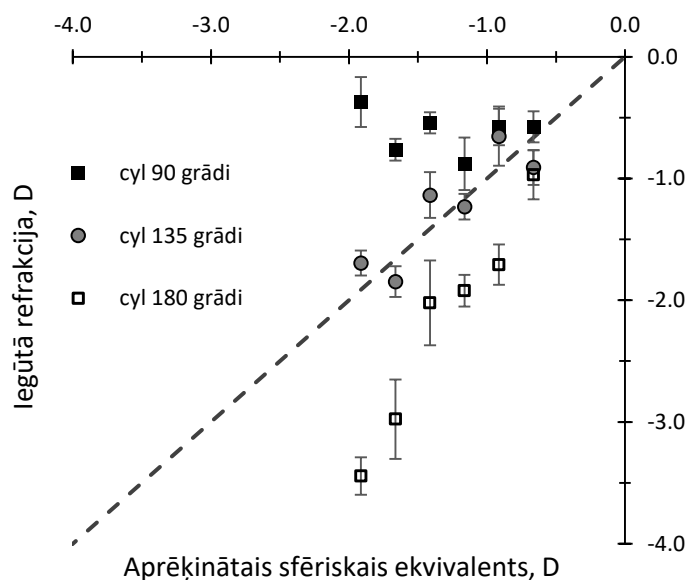


4. att. *PowerRef3* kalibrēšanas līkne vienam dalībniekam ar un bez 5 mm apertūras. Sarkanā raustītā līnija raksturo “neķeres” zonu.



5. att. Nomērītais zīlītes izmērs ( $n = 3$ ) ar fiksētu 5 mm apertūru atkarībā no pieliktās provē lēcas stipruma (diapazons no -5,00 D līdz +5,00 D, solis 0,25 D). Ar raustīto horizontālo līniju atzīmēts teorētiski sagaidāmais 5 mm zīlītes izmērs.

Trīs dalībniekiem tika apkopoti dati par astigmātisma izraisītas refrakcijas kļūdas inducēšanu. Šai pētījuma daļai tika izmantotas tikai pozitīvas jeb plus cilindra lēcas no +0,50 D līdz +3,00 D ar soli 0,50 D. Iegūtie rezultāti (skat. 6. att.) prezentēti kā trīs dalībnieku vidējie dati. Kā teorētiski sagaidāmais lielums tika noteikts sfēriskais ekvivalents (SE) jeb refrakcijas lielums ar *planum* lēcu, kam pieskaitīta puse no pieliktās cilindra lēcas stipruma. Kā redzams, tad cilindrs slīpās asīs vistuvāk atspoguļo SE, cilindriskā lēca 90 grādos maz maina nomērīto refrakciju, savukārt, cilindriskā lēca 180 grādos būtiski maina refrakciju. No iegūtajiem rezultātiem varam secināt, ka iekārta *PowerRef3* pamatā mēra vertikālā meridiānā un nav piemērota astigmātiskas refrakcijas kļūdas mērīšanai.



6. att. *PowerRef3* astigmātiskas refrakcijas kļūdas noteikšanas precizitāte ( $n = 3$ ) un saistība ar sfēriskā ekvivalenta vērtību atkarībā no galvenā meridiāna ( $90^\circ$ ,  $135^\circ$  un  $180^\circ$ ).

## Datu apstrāde

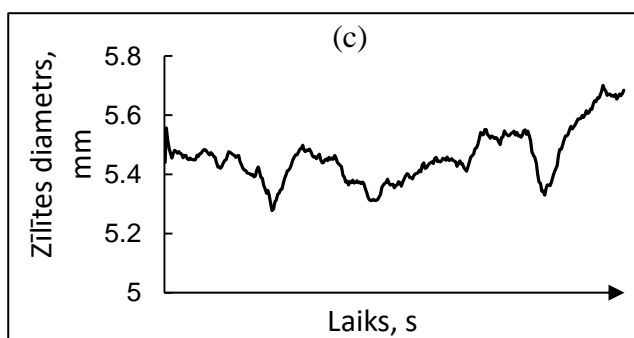
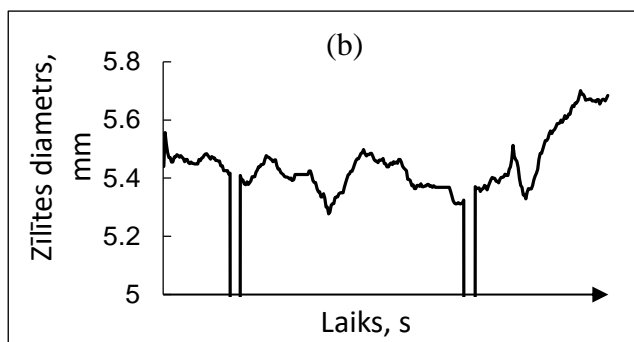
Gan akomodācijas, gan acs zīlītes mērījumi tiek ietekmēti acu mirkšķināšanas dēļ, kuru laikā mērījumu dati netiek iegūti. Atsevišķi analizējot acu plakstiņa aizvēršanos, tā aizņem līdz 150 ms un atvēršanās līdz 250 ms (*Espinosa et al.*, 2018), kopējais mirkšķināšanas ilgums ir vidēji ap 100-200 ms (*Wang et al.*, 2011). Ņemot vērā, ka *PowerRef3* iekārta mēra ar 50 Hz frekvenci, katras 20 ms tiek iegūts mērījums, kas nozīmē, ka teorētiski katra mirkšķināšana iegūtajā datu kopā dod vidēji no 5 līdz 10 nulles vērtībām, kurās dati netiek iegūti. Praktiski novērotās nulles vērtības ir vidēji no 10 līdz 15 reizes. Šo datu pareiza izgriešana no datu kopas ir būtiska, lai korekti interpretētu iegūtos rezultātus. Iekārtas ražotāja algoritms paredz, ka mirkšķināšanas brīdis datu kopā pie *PupilFound* tiek kodēts ar 0 un 1, kur 1 nozīmē, ka signāls (tīklenes reflekss zīlītes plaknē) ir saņemts, savukārt, 0 nozīmē, ka signāls nav saņemts un acis ir aizvērtas. Ražotāja algoritms paredz, ka, ja *PupilFound* vietā ir 0, tad zīlītes diametra vērtība ir 0, savukārt, refrakcijas lieluma vietā tiek nokopēta vērtība, kāda bija pie pēdējā *PupilFound* 1 (skat. 7.a att.). Abos gadījumos, ja šie dati netiek korekti izņemti no kopējās datu kopas, tie būtiski ietekmē vidējos rezultātus.



Mirkšķināšanas datu apstrāde var tikt veikta manuāli vai izmantojot *Microsoft Excel macro* programmēšanas iespējas. Rekomendējamo mirkšķināšanas datu apstrādes procesu ir aprakstījuši *Horwood & Riddell* (2008), kur vērā tiek ņemti arī dati pirms un pēc mirkšķināšanas 0,2 sekundes. Grafiski atspoguļoti acs zīlītes diametra dati pirms (skat. 7.b att.) un pēc (skat. 7.c att.) mirkšķināšanas datu apstrādes uzskatāmi parāda nepieciešamību veikt mirkšķināšanas datu apstrādi pirms rezultātu analīzes. Sagaidāmais dabiskais intervāls starp mirkšķināšanas reizēm ir vidēji 5-6 sekundes (*Uchino et al.*, 2018), savukārt, maksimālais intervāls ir  $14,4 \pm 8,9$  sekundes (*Inomata et al.*, 2018), kas nozīmē, ka standarta programmas mērījumus, kas ilgst 10 sekundes, ir iespējams veikt bez nevienas mirkšķināšanas, ja pētījuma dalībniekam tiek lūgts mērījuma laikā nemirkšķināt.

Time [ms]	PupilFound(L)	PupilDiameter MM(L)	GetAverage Refraction(L)
7100	1	5,73435	0,06061
7120	1	5,73435	0,06464
7140	1	5,73435	0,07698
7160	1	5,73435	0,07653
7180	1	5,39665	<b>0,06669</b>
7200	0	0	0,06669
7220	0	0	0,06669
7240	0	0	0,06669
7260	0	0	0,06669
7280	0	0	0,06669
7300	0	0	0,06669
7320	0	0	0,06669
7340	0	0	0,06669
7360	0	0	0,06669
7380	1	5,28539	0,07967
7400	1	5,50987	0,07959
7420	1	5,73435	0,08739
7440	1	5,73435	0,08085
7460	1	5,73435	0,06667
7480	1	5,73435	0,05464

(a)



**7. att.** Fragments no *PowerRef3* iegūtajiem mērījumiem, kur mirkšķināšanas brīdis *PupilFound* datu kopā attēlojas kā nulles vērtības, savukārt, *GetAverage Refraction* datu kopā iekopējas pēdējā derīgā refrakcijas vērtība (iekrāsots sarkans) (a); acs zīlītes diametra izmaiņas un svārstības laikā, kur redzami divi iztrūkstošu datu posmi, kad notikusi mirkšķināšana (b); acs zīlītes diametra izmaiņas un svārstības laikā pēc mirkšķināšanas datu dzēšanas algoritma pielietošanas (c).

### Citi būtiski apsvērumi darbā ar iekārtu *PowerRef3*

Ražotāja nodefinētais zīlītes diametrs, kura gadījumā var veikt kvalitatīvus mērījumus, ir 4-8 mm, kas nozīmē, ka, plānojot pētījumu, jāņem vērā, ka gados vecākiem cilvēkiem acs zīlītes izmērs ir mazāks (*Kasthurirangan & Glasser*, 2006) un iekārtas pielietojums presbiopijas vecuma dalībniekiem būs ierobežots, it īpaši, fotopiskos un mezopiskos apstākļos. Gados jaunāku dalībnieku acu zīlītes skotopiskos un mezopiskos apstākļos vairumā gadījumu būs pietiekami lielas, lai veiktu mērījumus, bet fotopiskos apstākļos bieži vien mērījumi nebūs iespējami arī gados jauniem dalībniekiem. Skotopiskos apstākļos gados jaunākiem dalībniekiem acs zīlītes izmērs var būt arī lielāks par 8 mm, kas attiecīgi atkal ierobežos mērījumu iespējas. Tāpat arī gadījumos, kad mērījumus paredzēts veikt cikloplēģijā – zīlītes izmērs mēdz pārsniegt 8 mm. Šādos gadījumos rekomendējam izmantot mākslīgās zīlītes apertūru, kuru var iestiprināt proves ietvarā. Jāņem vērā arī to, ka dalībniekiem ar hipermetropiju ir mazāks zīlītes izmērs kā dalībniekiem ar emetropiju, savukārt,



dalībniekiem ar miopiju ir lielāks zīlītes izmērs salīdzinājumā ar dalībniekiem, kam ir emetropija vai hipermetropija (Guillon *et al.*, 2016). Nozīmīgs ir arī plānotais attālums, kādā mērījumi tiks veikti, jo tuvuma triādes reflekss paredz tiešu sakarību starp skatīšanās attālumu un zīlītes izmēru, kas tuvākos attālumos samazinās. Ja tiek izmantota spoguļu sistēma, jāreķinās, ka stimula novietošanas attālums nevar būt mazāks par 10 cm, jo to nepieļauj spoguļa slīpais novietojums. Praktiski novērotais apgaismojums, kurā var veikt akomodācijas mērījumus 30 cm attālumā, saglabājot zīlītes izmēru >4 mm, jaunu dalībnieku grupā ir ap 15-20 lx. Jāatzīst, ka šādā apgaismojumā, kas definējams kā mezopiski apstākļi, akomodācijas atbilde ir samazināta un tiek novērota lielāka akomodācijas atpalikšana, salīdzinot ar MEM retinoskopijā iegūtajiem rezultātiem. Apkopojot 10 dalībnieku ar emetropiju (vid. vecums, gadi  $\pm$  SD,  $24 \pm 2$ ) akomodācijas atpalikšanas rezultātus 30 cm attālumā ar *PowerRef3* tika iegūtas būtiski lielākas akomodācijas atpalikšanas vērtības (binokulāri  $1,76 \text{ D} \pm 0,31 \text{ D}$ ; monokulāri  $1,59 \text{ D} \pm 0,67 \text{ D}$ ) salīdzinājumā ar MEM ( $0,38 \text{ D} \pm 0,39 \text{ D}$ ) un Nott ( $0,39 \text{ D} \pm 0,16 \text{ D}$ ) retinoskopijas rezultātiem. Papildu iepriekšminētajam, jāņem vērā, ka iekārtas kontroles monitors arī izstaro gaismu un to jānovieto tā, lai tas neietekmētu pētījuma dalībnieka acs zīlīšu izmērus. Lai iegūtu simetrisku akomodācijas atbildi, svarīgi sekot līdzi, lai izmantotais stimulants ir novietots tieši perpendikulāri dalībnieka acīm un dalībnieka pierē stingri piespiesta pieres balstam, neradot iespēju, ka labā un kreisā acs atrodas asimetriskā attālumā no stimula, kas attiecīgi var radīt atšķirīgu acs akomodācijas pieprasījumu. Iespējamā asimetriskā galvas novietojuma ietekme uz akomodācijas atbildi kļūst nozīmīgāka tuvākos skatīšanās attālumos. Veicot teorētiskus aprēķinus, 5 mm liela attāluma asimetrija 40 cm attālumā radītu ap 0,03 D lielas atšķirības starp labās un kreisās acs akomodācijas pieprasījumu, 30 cm attālumā ap 0,05 D un 20 cm attālumā ap 0,12 D.

## Secinājums

Ekscentriskā fotorefraktometrijas iekārta *PowerRef3* ir pielietojama redzes zinātnes un redzes ergonomikas pētījumos. Pamata pētījumu virzienus iespējams attīstīt saistībā ar acs akomodācijas, acs zīlītes, mirkšķināšanas un vergences mērījumiem.

## Pateicības

Metode un pētījums izstrādāti LU Bāzes un Snieguma projektu, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 ietvaros. Paldies studentēm Žaklīnai Hermanei, Vitai Štokmanei un Annai Valainei par dalību datu ievākšanas procesā.

## Literatūra

- Anderson, H. A., & Stuebing, K. K. (2014). Subjective versus objective accommodative amplitude: Preschool to presbyopia. *Optometry and Vision Science*, *91*(11), 1290–1301.
- Argilés, M., Cardona, G., Pérez-Cabré, E., & Rodríguez, M. (2015). Blink rate and incomplete blinks in six different controlled hard-copy and electronic reading conditions. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *56*(11), 6679-6685.
- Bobier, W. R., Campbell, M. C. W., McCreary, C. R., Power, A. M., & Yang, K. C. (1992). Coaxial photorefractive methods: an optical analysis. *Applied Optics*, *31*(19), 3601-3615.
- Campbell, M. C., Bobier, W. R., & Roorda, A. (1995). Effect of monochromatic aberrations on photorefractive patterns. *Journal of the Optical Society of America*, *12*(8), 1637-1646.
- Chen, Y.-L., Tan, B., & Lewis, J. (2003). Simulation of eccentric photorefractive images. *Optics Express*, *11*(14), 1628-1642.
- Dušek, J., & Dostálek, M. (2004). Image Analysis of Eccentric Photorefractive. *Acta Polytechnica*, *44*(2), 68-71.
- Espinosa, J., Domenech, B., Vázquez, C., Pérez, J., & Mas, D. (2018). Blinking characterization from high speed video records. Application to biometric authentication. *PLOS ONE*, *13*(5), article No e0196125.
- Gray, L. S., Winn, B., & Gilmartin, B. (1993). Effect of target luminance on microfluctuations of accommodation. *Ophthalmic & Physiological Optics*, *13*(3), 258-265.
- Guillon, M., Dumbleton, K., Theodoratos, P., Gobbe, M., Wooley, C. B., & Moody, K. (2016). The effects of age, refractive status, and luminance on pupil size. *Optometry and Vision Science*, *93*(9), 1093-1100.
- Harb, E., Thorn, F., & Troilo, D. (2006). Characteristics of accommodative behavior during sustained reading

- in emmetropes and myopes. *Vision Research*, 46(16), 2581-2592.
- Haro, C., Poulain, I., & Drobe, B. (2000). Investigation of working distance in myopic and nonmyopic children. *Optometry and Vision Science*, 77(Supplement), 189.
- Hartwig, A., Charman, W. N., & Radhakrishnan, H. (2011). Accommodative response to peripheral stimuli in myopes and emmetropes. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 31(1), 91-99.
- Hartwig, A., Gowen, E., Neil Charman, W., & Radhakrishnan, H. (2011). Analysis of head position used by myopes and emmetropes when performing a near-vision reading task. *Vision Research*, 51(14), 1712-1717.
- Horwood, A. M., & Riddell, P. M. (2008). The use of cues to convergence and accommodation in naïve, uninstructed participants. *Vision Research*, 48(15), 1613-1624.
- Howland, H. C. (2009). Photorefractive of eyes: History and future prospects. *Optometry and Vision Science*, 86(6), 603-606.
- Howland, H. C., Braddick, O., Atkinson, J., & Howland, B. (1983). Optics of photorefractive: orthogonal and isotropic methods. *Journal of the Optical Society of America*, 73(12), 1701-1708.
- Hunt, O. A., Wolffsohn, J. S., & Gilmartin, B. (2003). Evaluation of the measurement of refractive error by the PowerRefractor: A remote, continuous and binocular measurement system of oculomotor function. *British Journal of Ophthalmology*, 87(12), 1504-1508.
- Inomata, T., Iwagami, M., Hiratsuka, Y., Fujimoto, K., Okumura, Y., Shiang, T., & Murakami, A. (2018). Maximum blink interval is associated with tear film breakup time: A new simple, screening test for dry eye disease. *Scientific Reports*, 8(1), 13443.
- Jainta, S., Hoormann, J., & Jaschinski, W. (2008). Ocular accommodation and cognitive demand: An additional indicator besides pupil size and cardiovascular measures? *Journal of Negative Results in BioMedicine*, 7(1), 1-14.
- Jainta, S., Jaschinski, W., & Hoormann, J. (2004). Measurement of refractive error and accommodation with the photorefractor PowerRef II. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 24(6), 520-527.
- Jiang, B. C., Gish, K. W., & Leibowitz, H. W. (1991). Effect of luminance on the relation between accommodation and convergence. *Optometry and Vision Science : Official Publication of the American Academy of Optometry*, 68(3), 220-225.
- Kaakinen, K., & Tommila, V. (1979). A clinical study on the detection of strabismus, anisometropia or ametropia of children by simultaneous photography of the corneal and the fundus reflexes. *Acta Ophthalmologica*, 57(4), 600-611.
- Kasthurirangan, S., & Glasser, A. (2006). Age related changes in the characteristics of the near pupil response. *Vision Research*, 46(8-9), 1393-1403.
- Olavi, P., & Kauppinen, M. (2016). Associations of reading posture , gaze angle and reading distance with myopia and myopic progression, (2013), 775-779.
- Otero, C., Aldaba, M., Vera-Diaz, F. A., & Pujol, J. (2017). Effect of experimental conditions in the accommodation response in myopia. *Optometry and Vision Science*, 94(12), 1120-1128.
- Pärssinen, O., Hemminki, E., & Klemetti, A. (1989). Effect of spectacle use and accommodation on myopic progression: final results of a three-year randomised clinical trial among schoolchildren. *The British Journal of Ophthalmology*, 73(7), 547-551.
- Roorda, A., Bobier, W. R., & Campbell, M. C. W. (1998). An infrared eccentric photo-optometer. *Vision Research*, 38(13), 1913-1924.
- Rosenfield, M., Jahan, S., Nunez, K., & Chan, K. (2015). Cognitive demand, digital screens and blink rate. *Computers in Human Behavior*, 51, 403-406.
- Rosenfield, M., Logan, N., & Edwards, K. & Keith H. (2009). Optometry: science techniques and clinical management. In *Optometry: science techniques and clinical management* (2nd ed., p. 555). Butterworth Heinemann Elsevier.
- Schaeffel, F., Wilhelm, H., & Zrenner, E. (1993). Inter-individual variability in the dynamics of natural accommodation in humans: relation to age and refractive errors. *Journal of Physiology*, 32(461), 301-320.
- Skotte, J. H., Nøjgaard, J. K., Jørgensen, L. V., Christensen, K. B., & Sjøgaard, G. (2006). Eye blink frequency during different computer tasks quantified by electrooculography. *European Journal of Applied Physiology*, 99(2), 113-119.
- Sravani, N. G., Nilagiri, V. K., & Bharadwaj, S. R. (2015). Photorefractive estimates of refractive power varies with the ethnic origin of human eyes. *Scientific Reports*, 5, 1-8.
- Stern, J. A., Boyer, D., & Schroeder, D. (1994). Blink Rate: A Possible Measure of Fatigue. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 36(2), 285-297.

- Suryakumar, R., Kwok, D., Fernandez, S., & Bobier, W. R. (2009). Dynamic photorefractive system: An offline application for the dynamic analysis of ocular focus and pupil size from photorefractive images. *Computers in Biology and Medicine*, 39(3), 195-205.
- Suryakumar, R., Meyers, J. P., Irving, E. L., & Bobier, W. R. (2007). Application of video-based technology for the simultaneous measurement of accommodation and vergence. *Vision Research*, 47(2), 260-268.
- Toomingas, A. (2014). A definition of visual ergonomics. *Applied Ergonomics*, 45(4), 1263-1264.
- Uchino, M., Kawashima, M., Uchino, Y., Tsubota, K., & Yokoi, N. (2018). Association between tear film break up time and blink interval in visual display terminal users. *International Journal of Ophthalmology*, 11(10), 1691-1697.
- Wang, Y., Toor, S. S., Gautam, R., & Henson, D. B. (2011). Blink frequency and duration during perimetry and their relationship to test-retest threshold variability. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(7), 4546.
- Wold, J. E., Hu, A., Chen, S., & Glasser, A. (2003). Subjective and objective measurement of human accommodative amplitude. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 29(10), 1878-1888.
- Yao, P., Lin, H., Huang, J., Chu, R., & Jiang, B. (2010). Objective depth-of-focus is different from subjective depth-of-focus and correlated with accommodative microfluctuations. *Vision Research*, 50(13), 1266-1273.

# Brīļu aditīva pielietojums akomodācijas un binokulārās redzes traucējumu kompensēšanā

Evita Kassaliete un Aiga Švede  
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
evita.kassaliete@lu.lv

## Anotācija

Modernās sabiedrības dzīve arvien vairāk tiek pakļauta digitalizācijai. Apmēram 83 %, vecuma grupā no 10-74 gadiem, lieto digitālās ierīces (Molina, 2017). Tas būtiski palielina pavadīto laiku tuva darba attāluma apstākļos. Pieaugot tuvo attālumu aktivitātēm, izmantojot viedtālruņus un citas digitālās viedierīces, palielinās to cilvēku skaits, kas sūdzas par noguruma sindromu jeb digitalizācijas acs piepūli, akomodācijas un vergēnces traucējumiem un sauso aci (publikācijās dati variē no 32-88 %) (Molina, 2017). Redzes speciālistiem ir jāsaikojas ar šo izaicinājumu, piedāvājot risinājumus reālajā dzīvē. Nelielas refrakcijas kļūdas korekcija un papildus aditīva piemērošana ir viens no speciālistu risinājumiem. Simptomu kopuma un izmeklēšanas metožu pārzināšana un analīze sniedz optometristam nepieciešamo informāciju par korekcijas veida izvēli. Pārskatā apzināsim aditīva piemērošanas metodes, balstoties uz klīniskajām atradnēm. Klīniskie risinājumi var būt dažādi, taču gala aditīva lielumu nosaka pacienta subjektīvās izjūtas un ieguvums.

## Atslēgas vārdi:

Brīļu aditīva lēcas, akomodācija, binokulārās funkcijas, korekcijas iespējas

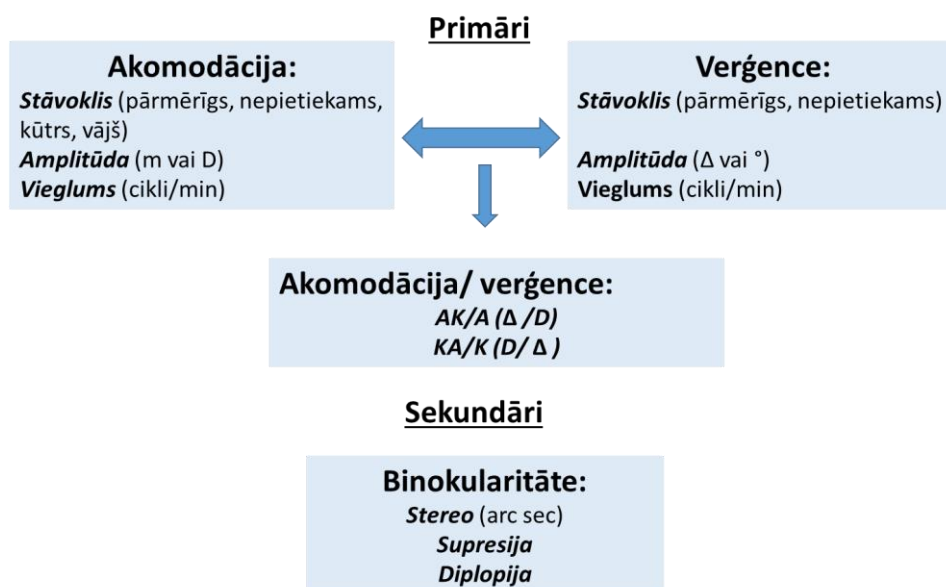
## Literatūras pārskats

Vidēji 80 % jeb 1,3 miljoni Latvijas iedzīvotāju mērķgrupā no 15 līdz 74 gadiem internetu lieto regulāri – katru dienu. Vecuma grupas no 15 līdz 39 gadiem iedzīvotāji to lieto gandrīz 100 % (KantarTNS, 2018). Regulārie interneta lietotāji – katru dienu lieto internetu vismaz reizi dienā. Internets ir pieejams gandrīz visās mājāsaimniecībās ar bērniem – 98,1 %, bet retāk mājāsaimniecībās bez bērniem – 76,4 %, visretāk - vienas personas mājāsaimniecībās – 64,9 %, savukārt visbiežāk tas ir pieejams mājāsaimniecībās, kurās ir divi pieaugušie ar bērniem – 98,6 % (CSP, 2018). Ienākot jaunajām tehnoloģijām, kas provocē ilgstošu redzes slodzi tuvā darba attālumā, arī Latvijā lietotājus noved pie acs piepūles, kas saistīta ar digitalizāciju, acu akomodācijas un vergēnces traucējumiem un sausās acs simptomātikas un sūdzībām. Svarīgi ir saprast, ka ne tikai redzes asums nodrošina veiksmīgu kognitīvo procesu veidošanos, bet ļoti būtiska ir acu kustību un akomodācijas darbība un kopējās uztveres spējas, ko ietekmē pacienta atmiņa, uzmanība, uzvedība un uzbudinātība.

Raksturīgos simptomus var iedalīt divās kategorijās. Redzes simptomi kā miglošanās tuvumā, miglošanās tālumā pēc tuvuma darba, grūtības nofokusēt skatu, pārejoša dubultošanās, izmaiņas krāsu uztverē, kontrastredzē un žilbšana tiek saistīti ar binokulāro disfunkciju kā akomodācijas ekscess, nepietiekamība un vājums, konverģences ekscess vai nepietiekamība. Savukārt, otrās kārtas simptomi ir astenopijas - acu sāpes, galvassāpes, sausums, nogurums, asarošana un iekaisuša acis, kas asociējas ar izmaiņām anatomiskajās struktūrās vai nozīmīgu refraktīvo kļūdu (Sheedy, 2014).

Aditīva nozīmēšana var tikt attiecināma gan skolas vecuma bērniem gan jauniem cilvēkiem, gan pre-presbiopijas vecuma pacientiem. Sūdzību apjomu un atbilstošo korekcijas veidu ietekmē akomodācijas amplitūda, kas mazinās ar vecumu, nestabila binokularitāte, nediagnostisēti raksturīgi binokulārie traucējumi (konverģences ekscess, diverģences ekscess, akomodācijas ekscess; konverģences nepietiekamība, diverģences nepietiekamība, akomodācijas nepietiekamība) un neizkorigēta ametropija (hipermetropija vai slīpais stigmātisms). Akomodācijas un vergēnces izvērtēšanas parametri – stāvoklis, amplitūda un vieglums un savstarpējās sadarbības novērtēšana ar akomodatīvās vergēnces izmaiņu, aktivizējot vai relaksējot akomodāciju jeb AK/A un konverģentās

akomodācijas izmaiņu, pie piespiedu konverģences jeb KA/K, ko klīniskos apstākļos ir grūti novērtēt (skat. 1. att.).



**1. att.** Binokulāro funkciju komponentes – akomodācija un vergence. Akomodācijas un vergences izvērtēšanas parametri un savstarpējās sadarbības novērtēšanas iespējas. Traucējumi primārajās funkcijās var ietekmēt sekundāro funkciju atbildes kvalitāti un veidu.

Binokulāro disfunkciju veidi un to sastopamības biežums ir apkopots 1. tabulā (*Cacho-Martinez, Garcia-Munoz, & Ruiz-Cantero, 2010*). Apskata rakstā tiek parādīta neviennozīmīga izpratne par traucējumu diagnostiku un pielietotajiem kritērijiem.

**1. tabula**

Binokulāro disfunkciju veidi un to sastopamības biežums  
(*Cacho-Martinez, Garcia-Munoz, & Ruiz-Cantero, 2010*).

	<b>Akomodācija</b>		<b>Vergence</b>
Nepietiekamība	2,0-61,7 %	Konverģences nepietiekamība	2,2-33,0 %
Vājums	N	Konverģences ekscess	1,5-15,0 %
Kūtrums	0,4-5,0 %	Diverģences nepietiekamība	0,1-0,7 %
Ekscess	1,8-10,8 %	Diverģences ekscess	0,8 %
Spazma	N	Fuzionālās vergences traucējumi	0,4-1,5 %
Paralīze	N	Pamata ezoforija	0,6-9,0 %
		Pamata eksoforija	0,3-3,1 %
		Vertikālā forija	0,2 %

Lai diferencētu tradicionālos binokulo disfunkciju stāvokļus, būtiski redzes pārbaudē ir atrast un novērtēt:

1. Pilno refrakciju tūlumā un secīgi arī darba attālumā (parasti 40 cm).
2. Novērtēt dinamisko retinoskopiju ar MEM (parasti 40 cm attālumā) (**DR**).
3. Forijas lielumu darba attālumā (parasti 40 cm) un tūlumā ar aizklāšanas testu (**AT**).
4. Akomodācijas amplitūdu vadošajai acij (**AA**).
5. AK/A novērtējumu pamatā ar gradienta metodi un ar aprēķina jeb heteroforiju metodi (**AK/A**).
6. Negatīvās relatīvās akomodācijas rezerves (**NAR**) un pozitīvās relatīvās akomodācijas rezerves (**PAR**).
7. Akomodācijas vieglumu ar  $\pm 2,00$  D fliperu binokulāros un monokulāros apstākļos (**BAV** un **MAV**)

8. Konverģences tuvuma punktu (**KTP**) un arī konverģences atjaunošanās punktu (**KAP**), mērot ar *Push up* metodi.
9. Verģences amplitūdu (**Fūzijas**) pamatā darba attālumā (parasti 40 cm) un tālumā.
10. Verģences vieglumu ar  $3\Delta BI/12\Delta B\bar{A}$  fliperu (**VV**).

**2. tabula**

Testa rezultāti katram binokulārās disfunkcijas veidam (Scheiman & Wick, 2008)..

Stāvoklis	AT	AK/A	KTP	Fūzija	VV	AA	BAV	MAV	NAR/ PAR	DR (MEM)
Akomodācijas nepietiekamība	Dažāds			BĀ miglošanās var būt zema tuv		Attālināts	+/-	+/-	PAR/ NAR	Augsts
Akomodācijas vājums	Dažāds			BĀ miglošanās var būt zema tuv			-	-	PAR	Augsts
Akomodācijas kūtums	Dažāds			BĀ un BI miglošanās var būt zema tuv			+/-	+/-	PAR/ NAR	
Akomodācijas ekscess	Dažāds			BI miglošanās var būt zema tuv			+	+	NAR	Zems
Konverģences nepietiekamība	Ekso>tuv	Zems	Attālināts	Zemas BĀ	Zemas BĀ		+		NAR	Zems
Konverģences ekscess	Eso>tuv	Augsts		Zemas BIE	Zemas BIE		-		PAR	Augsts
Diverģences nepietiekamība	Eso> tāl	Zems		Zemas BIE tāl	Zemas BIE tāl					
Diverģences ekscess	Ekso>tāl	Augsts		Zemas BĀ tāl BIE tuv	Zemas BĀ tāl BIE tuv					
Fuzionālās verģences disfunkcija	Mazas Eso vai Ekso			Zemas BĀ/BIE	Zemas BĀ/BIE		+/-		PAR/ NAR	
Pamata esoforija	Eso tāl=tuv			Zemas BIE tāl/tuv	Zemas BIE tāl/tuv		-		PAR	Augsts
Pamata eksoforija	Ekso tāl=tuv			Zemas BĀ tāl/tuv	Zemas BĀ tāl/tuv		+		NAR	Zems

Jebkuru astenopisko sūdzību gadījumā kā pirmais risinājums tiek piedāvāta pilna ametropijas korekcija, īpaši hipermetropijas, apgrieztā un slīpā astigmātisma un anizotropijas gadījumos. Par

nozīmīgu refrakcijas kļūdu tiek uzskatīta hipermetropija sākot no +1,50 D, miopija, astigmātisms un anizotropija no 1,00 D (Scheiman & Wick, 2008). Neizkorigēta ametropija var novest pie nepilnīgas vai pārmērīgas akomodācijas darbības, kas rezultējas augstākas pakāpes forijā un neraksturīgā pozitīvās un negatīvās fūzijas darbībā. Tas binokulārajā sistēmā ienes nestabilitāti, kas samazina fūziju spējas un tam sekojošo stereo redzes kvalitāti.

Lai veiktu diferenciāldiagnostiku starp akomodācijas un vergēnces traucējumiem, būtiski ir novērtēt atbilstošo funkciju darbības kvalitāti un apjomu ar norādīto testu palīdzību. 2. tabulā atainoti testa rezultāti katram binokulārās disfunkcijas veidam. 3. tabulā ir norādītas akomodācijas un vergēnces funkciju darbības normas un standartkļūda atbilstošos testos.

**3. tabula**

Akomodācijas un vergēnces funkciju darbības normas un standartkļūda atbilstošos testos (Scheiman & Wick, 2008).

AT ( $\Delta$ )	AK/A ( $\Delta$ ) gradienta metode	KTP (cm) akomodatīvs stimuls	FŪZIJA ( $\Delta$ )	VV (c/min) 12 $\Delta$ BO/3 $\Delta$ BI	AA(D) 18-1/3* (gadi) $\pm$ 2	BAF (c/min)	MAF (c/min)	NAR/PAR(D) binokulāri	DR (MEM) (D)
Tālums: Exo 1 $\pm$ 2 Tuvums: Exo 3 $\pm$ 3	4:1 $\pm$ 2	KTP 5 $\pm$ 2,5 KAP 7 $\pm$ 3,0	Tālums BĀ 9/19/10 ( $\pm$ 4/ $\pm$ 8/ $\pm$ 4) BI -7/7/4 ( $\pm$ 3/ $\pm$ 2) Tuvums BĀ 17/21/11 ( $\pm$ 5/ $\pm$ 6/ $\pm$ 7) BI 13/21/13 ( $\pm$ 4/ $\pm$ 4/ $\pm$ 5)	15 $\pm$ 3		10 $\pm$ 5	11 $\pm$ 5	NAR +2,0 $\pm$ 0,5 PAR -2,37 $\pm$ 1,0	0,5 $\pm$ 0,25

Par papildus pozitīva stipruma lēcu nozīmēšanu domā, diagnosticējot augstu AK/A mērījumu, hipermetropiju, ezoforiju, samazinātas pozitīvās relatīvās rezerves, augstu akomodācijas atpalikšanu un grūtības ar negatīvā stipruma flipera izpildi. Rezultātā visas šīs atradnes atbilst konverģences ekscesa, akomodācijas nepietiekamības un vājuma gadījumiem. Savukārt negatīva stipruma lēcu nozīmē diverģences ekscesa gadījumā, kad atrod augstu AK/A, eksoforiju un grūtības ar pozitīvā stipruma flipera izpildi (Scheiman & Wick, 2008).

Kāda stipruma aditīvu nozīmēt?

Literatūrā var atrast četras nostājas. Akomodācijas traucējumu gadījumā papildus aditīvs tiek nozīmēts balstotie uz dinamiskās retinoskopijas datiem. Akomodācijas atpalikšana 40 cm attālumā atbilst +0,50  $\pm$  0,25 D, vērtējot ar MEM. Atrodot akomodācijas atpalikšanu virs 0,75 D, kad rezultātu interpretē kā augstu atpalikšanu, aditīva stiprums atbilst starpībai starp atrasto lielumu un attālumam raksturīgo normu. Piemēram, akomodācijas atpalikšana atbilst +1,25 D, bet norma ir 0,50 D, tad izrakstāmais aditīva lielums sastāda 0,75 D. Dinamiskās retinoskopijas dati var mainīties, mainot testēšanas distanci. Tāpēc to veic pacienta ierastajā darba attālumā. Otra iespēja ir izvērtē binokulāros apstākļos pozitīvo un negatīvo akomodācijas rezervju (PAR/NAR) rezultātu atšķirību: piemēram, +2,25/-1,75 D norāda uz 0,40-0,50 D aditīva nepieciešamību un +2,50/-1,50 D uz 0,85-1,00 D aditīvu (Molina, 2017).

Vergēnces traucējumu gadījumos efektīvi var palīdzēt spēcīgā saistība starp akomodāciju un vergēnci. Tad tuvuma aditīva lielumu nosaka heteroforijas lielums un akomodācijas ietekme uz vergēnces sistēmu jeb AK/A. Akomodatīvo konverģenci var novērtēt ar matemātisko aprēķinu, kur sakarībā tiek ņemts vērā pacienta starpzīlīšu attālums  $AK/A = PD(\text{cm}) + d(\text{m}) * (H_n - H_f)$ , kur PD starpzīlīšu attālums tūlumā, d – darba attālums,  $H_n$  - heteroforija tuvumā,  $H_f$  – heteroforija tūlumā, “exo” lieluma vērtība ir negatīva un “eso” – pozitīva. Atbilstošos apstākļos, atrodot augstu AK/A

attiecību, lielāku par 7, tiek nozīmēts +1,25 D liels aditīvs, neraugoties uz heretoforijas gala lielumu (Scheiman & Wick, 2008).

Savukārt ceturtais veids ir balstīties uz gradienta AK/A novērtēšanas metodi, kur attiecība virs 4 tiek uzskatīta par augstu. Ieteicams, novērtējot AK/A ar gardienta metodi, lietot pozitīva stipruma aditīvu (+1,00 D vai +2,00 D) pie eksoforijas un negatīva stipruma aditīvu (-1,00 D vai -2,00 D) izvērtējot ezoforijas izmaiņas. Aditīva lielumu nosaka tāluma heteroforijas un tuvuma heteroforijas atšķirības uzturēšana, tā saucamais Morgana kritērijs. Populācijā tāluma forija atbilst 1 eksoforija  $\pm 1 \Delta$ , bet tuvumā 3 eksoforija  $\pm 3 \Delta$ . Tātad mazākā atšķirība ir 0, bet lielākā 6  $\Delta$  eksoforijas virzienā. Aditīva stiprums tiek nozīmēts pēc gradienta AK/A, lai saglabātu šo atšķirību, neraugoties uz heteroforijas pamata lielumu. Piemēram, tuvuma ezoforija atbilst 10  $\Delta$ , tūlītējā – 2  $\Delta$  ezoforija, bet AK/A pēc gradienta metodes atbilst 6/1. Lai saglabātu mazāko atšķirību, jāpanāk 2  $\Delta$  ezoforija tuvumā. To nodrošina +1,25 vai +1,50 D aditīvs pie pilnīgi izkorigētas tāluma refrakcijas (Griffin & Grisham, 1998).

#### 4. tabula

Binokulāro disfunkciju primārie un sekundārie risinājumi (Scheiman & Wick, 2008).

Problēma	Primārais risinājums	Sekundārais risinājums
Akomodācijas paralīze	<b>ADD; Prizmas</b>	Miotiķi Redzes terapija neefektīva!
Akomodācijas nepietiekamība	<b>ADD</b>	Redzes terapija
Akomodācijas vājums	<b>ADD</b>	Redzes terapija
Akomodācijas kūtrums	Redzes terapija	
Akomodācijas ekscess	Redzes terapija	
Akomodācijas spazma	<b>ADD</b>	Midriātiķi Redzes terapija (šād tad)
<b>Vergēnces traucējumi ar zemu AK/A</b>		
Konverģences nepietiekamība	Redzes terapija	Prizmas (BI)
Diverģences nepietiekamība	Prizmas (BĀ)	Redzes terapija ( <b>grūti!</b> )
<b>Vergēnces traucējumi ar augstu AK/A</b>		
Konverģences ekscess	<b>ADD</b>	Redzes terapija
Diverģences ekscess	Redzes terapija	<b>ADD</b> (MINUS tāl: PLUS tuv)
<b>Vergēnces traucējumi ar normālu AK/A</b>		
Pamata eksoforija	Redzes terapija	<b>ADD (Minus)</b> Prizmas (BI)
Pamata esoforija	Prizmas (BĀ)	Redzes terapija <b>ADD (Plus)</b>
Fuzionālās vergēnces disfunkcija	Redzes terapija	
Vertikālā forija	Prizmas	Redzes terapija



Bērniem, nozīmējot aditīvu brillēs, rekomendē korekciju ievietot bifokālā tipa lēcās ar T28 vai T35 taisnas līnijas segmentu. Līnijas augstumu centrē atkarībā no bērna vecuma un skata virziena veicot aktivitātes tuvumā:

- zīlītes centrā – bērniem jaunākiem par 5 gadi,
- līdz ar apakšējo zīlītes malu – bērniem vecuma grupā no 5 līdz 8 gadi,
- vecākiem par 8 gadiem – līdz ar apakšējā plaksta malu.

Savukārt nozīmējot multifokālās lēcas, tāluma zonas centrs atrodas 4 mm virs zīlītes centra bērniem jaunākiem par 8 gadiem un 2 mm virs zīlītes centra bērniem vecākiem par 8 gadiem.

Lai mazinātu pacientu astenopiskās sūdzības, kas saistītas ar aktīvu darbošanos tuvumā pie viedierīcēm, ne tikai aditīva nozīmēšana risina sūdzību kopumu. Ieteicams ir ierobežot zili-violeto gaismu, kā arī nozīmēt redzes terapiju un informēt par ergonomiski pareizi iekārtotu darba vidi (apgaisojumu, darba attālumu, pareizu ķermeņa pozu, kakla, acu, skata leņķi un ekrāna leņķi). 4. tabulā parādīti binokulāro disfunkciju primārie un sekundārie risinājumi.

Optometristiem izvērtējot pacientus ir jāapzinās, ka redzes asuma kvalitāte vien nenorāda uz veiksmīgu korekcijas risinājumu pacientiem, kas lieto viedierīces. Būtiski ir izprat akomodācijas un vergēnces savstarpējo sadarbību un traucējumu gadījumā atbilstoši nozīmēt nepieciešamo risinājumu – akomodācijas nepietiekamības, vājuma, konverģences ekscesa gadījumos piedāvājot papildu aditīva lielumu.

## Literatūra

- Cacho-Martinez, P., Garcia-Munoz, A., & Ruiz-Cantero, M. T. (2010). Do we really know the prevalence of accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions? *Journal of Optometry*, 3(4); 185-197.
- CSP, C. s. (2018. gada 31. 10). 98 % mājsaimniecību ar bērniem pieejams internets. Ielādēts no <https://www.csb.gov.lv>: <https://www.csb.gov.lv/lv/statistika/statistikas-temas/zinatne-ikt/datori-internets/meklet-tema/2410-iedzivotaju-interneta-lietosanas-paradumi>
- Griffin, J., & Grisham, D. (1998). *Binocular anomalies: Diagnosis and vision therapy*. Amsterdam: Butterworth Heinemann.
- KantarTNS, D. B. (2018. gada 18. 05). *Pētījums: interneta lietotāju skaits Latvijā pieaug līdz 1,4 miljoniem*. Ielādēts no [www.delfi.lv](http://www.delfi.lv): <https://www.delfi.lv/business/tehnologijas/petijums-interneta-lietotaju-skaits-latvija-pieaug-lidz-1-4-miljoniem.d?id=50043043>
- Molina, V. J. (2017). Single vision lenses with additional near-power: meeting the visual challenge of the digital age. *International Review of Ophthalmic Optics*, 1-9.
- Scheiman, M., & Wick, B. (2008). *Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative and eye movement disorders*. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.
- Sheedy, J. (2014). Visual fatigue. *International Review of Ophthalmic Optics*.

# Redzes ergonomikas ierīces ofisa darbiniekiem

Renārs Trukša, Sergejs Fomins un Gunta Krūmiņa  
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,  
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija  
sergejs.fomins@lu.lv

## Anotācija

Šajā pētījumā apskatīti tehniskie risinājumi gaismas intensitātes un kolorimetriskā sastāva monitorēšanai redzes ergonomikas vajadzībām. Pateicoties tam, ka mūsdienās ir pieejami miniatūri gaismas sensori ar zemu elektroenerģijas patēriņu gaismas sensorus ir iespējams integrēt tādās mobilajās ierīcēs kā viedtelefoni un viedpulksteņi. Pētījuma autori ierosina integrēt gaismas sensorus brillu ietvarā ar mērķi monitorēt cirkadiānam ritmam svarīgus gaismas parametrus un darba attālumu ofisa darbiniekiem.

## Atslēgas vārdi:

Diennakts ritmi, gaismas intensitāte, cirkadiādas gaismas monitorings, redzes ergonomika

## Literatūras pārskats

Mūsdienu vide un dienas režīms ir būtiski mainījies pēdējos 100 gados sakarā ar elektrības un elektriskā apgaismojuma plašajiem pielietojumiem ikdienā. Elektronisko ierīču plašā pieejamība pēdējās desmitgadēs ir ievērojami mainījusi darba vides apstākļus, mācību procesu, veidus kā cilvēki socializējas un pavada brīvo laiku. Kompānijas *Nielsen* pētījuma rezultāti liecina, ka cilvēki ASV vidēji pavada līdz 10,5 stundām dienā skatoties uz elektronisko ierīču displejiem, kas ir ievērojami vairāk kā 5 vai 10 gadus iepriekš. Cilvēku miegā pavadīts stundu skaits ir ievērojami sarucis, jo nomoda laiks ir ievērojami pagarināts pateicoties mākslīgajiem apgaismojuma avotiem, kam ilgtermiņa var būt kaitīga ietekme uz veselību. Nereti netiek ievērots, ka fizioloģiskie procesi, kas nodrošina mūsu organisma funkcionēšanu ir attīstījušies miljoniem gadu garā evolūcijas procesā, savukārt mūsu ikdienas paradumi un dienas režīms ir krasi mainījies tikai pēdējos 100-120 gados. Ir apstiprināts, ka fizioloģisko procesu intensitāte diennakts ietvaros variē atkarībā no diennakts stundas, proti, fizioloģisko procesu intensitāte cikliski mainās, kur viena cikla garums ir aptuveni 24 stundas jeb viena diennakts (*Saini, et al., 2015*).

Sākotnēji tika uzskatīts, ka tīklenes fotoreceptorās šūnas – nūjiņas un vāļītes nodrošina ne tikai attēla veidošanas funkciju, bet arī atgriezenisko saiti diennakts ritmu sinhronizācijai ar gaismas un tumsas periodiem. Minēto hipotēzi var noraidīt, jo daļai aklu cilvēku bez funkcionējošām nūjiņām un vāļītēm var konstatēt zīlītes refleksu, ko nevarētu novērot, ja tīklenē nebūtu citu fotoreceptoru šūnu izņemot nūjiņas un vāļītes (*Czeisler, et al., 1995*). Ir apstiprināts, ka daļai aklu cilvēku, neskatoties uz iztrūkstošu vizuālo pieredzi par apkārtējo pasauli, saglabājas zīlītes refleksa funkcija un normai atbilstošs cirkadiāno ritmu periodisms (*Hull, et al., 2018*). Pētījumos ir iegūti novērojami, kas ir pretrunā ar mūsdienu izpratni par cirkadiāno ritmu regulāciju, proti, ir konstatēti gadījumi, kad cilvēkiem ar iztrūkstošu zīlītes refleksa funkciju nav sūdzību par miega kvalitāti, kā arī šo personu cirkadiāno ritmu sinhronizācija ar tumsas un gaismas periodiem ir atbilstoša normai (*Hull, et al., 2018*). Ir apstiprināts, ka aptuveni 1-2 % no tīklenes ganglionārajām šūnām (*instructly photosensitive retinal ganglionar cells – ipRGC*) satur fotopigmentu melanopsīnu, kas nodrošina gaismas absorbciju redzamās gaismas īso un vidējo viļņu spektra diapazonā, t.i., daļa ganglionāro šūnu tīklenē tieši reaģē uz gaismas stimuliem (*Pickard & Sollars, 2011*). Analizējot cilvēku zīlītes refleksu atbildes reakcijas uz dažādiem gaismas stimuliem redzamās gaismas spektra daļā ir apstiprināts, ka *ipRGC* ganglionārās šūnas piedalās spožuma un hromatiskās adaptācijas procesos, kā arī tām ir būtiska loma, lai nodrošinātu zīlītes refleksa funkciju (*Barrionuevo, & Cao, 2016*). Pētījumu rezultāti liecina, ka palielinoties gaismas absorbcijai *ipRGC* ganglionārajās šūnās tiek kavēta melatonīna sekrēcija

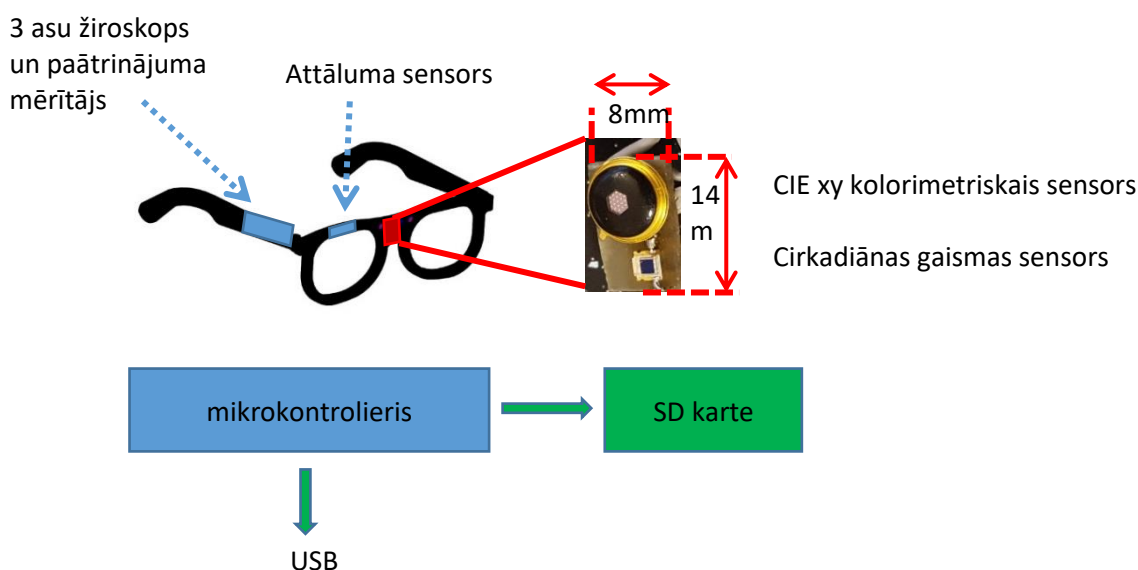
epifīzē, kas stimulē organisma atrašanos nomoda stāvoklī, tiesa, apgalvojums ir korekts attiecībā uz dzīvniekiem, kas atrodas nomodā diennakts gaišajās stundās un cilvēkiem (*Hatori & Panda, 2010*). Analizējot hormonu un to vielmaiņas blakusproduktu koncentrācijas izmaiņas cilvēku ķermeņa šķidrumos, ir apstiprināts, ka cirkadiāno ritmu periods redzošiem cilvēkiem ir aptuveni 24 stundas (*Pagani, et al., 2010*), savukārt akliem cilvēkiem vidējais cirkadiāno ritmu periods ir 24,5 stundas, kas vairumā gadījumu rezultējas ar miega traucējumiem (*Sack, et al., 2000*). Redzošiem cilvēkiem cirkadiāno ritmu sinhronizācija tiek panākta analizējot gaismas intensitātes spožumu nomoda stundās, savukārt aklu cilvēku diennakts ritmu periodismu nodrošina galvenokārt SCN kodols hipotālāmā. Melatonīna loma cirkadiāno ritmu regulācijā uzskatāmi tiek demonstrēta pētījumā ar akliem cilvēkiem, kurā ar pierādīts, ka ar atbilstošu melatonīna medikamentozu terapiju, var panākt cirkadiāno ritmu sinhronizāciju ar tumsas un gaismas periodiem (*Sack, et al., 2000*).

Pētījumu rezultāti liecina, ka nepamatoti garas nomoda stundas un cirkadiāno ciklu traucējumi veicina diabēta, aptaukošanās, vēža saslimšanu risku (*Stevens, et al., 2007*), garīgās veselības traucējumus kā depresija (*Srinivasan, et al., 2006*), kā arī samazina darba un koncentrēšanās spējas (*Alhola & Polo-Kantola, 2007*). Diennakts ritmu regulācijai ir novērojams sezonāls raksturs (*Nelson, 2004*), sakarā dienas garuma izmaiņām. Balstoties uz to, ka daudzām saslimšanām ir novērojams sezonāls raksturs ir izvirzīta hipotēze, ka melatonīnam ir imunitāti modulējoša funkcija, proti, pieņem, ka paaugstināta melatonīna koncentrācija ziemas mēnešos nodrošina spēcīgāku imunitāti. Pētījumos ar grauzējiem ir apstiprināts, ka melatonīns aizkavē audzēju veidošanos (*Fu, et al., 2002*), tiesa, vai šie novērojumi specifiski grauzējiem vai visiem zīdītājiem nav viennozīmīgi apstiprināts (*Anisimov, 2002*). Apkopojot visu augstāk minēto var secināt, ka būtiskākais elektronisko ierīču trūkums nav meklējams elektroniskajās ierīcēs, bet cilvēku elektronisko ierīču lietošanas paradumos. Līdzīgi secinājumi iegūti pētījumā, kurā apskatīta ietekme uz e-grāmatu lietošanu vēlu vakarā uz uzmanību un darba spējām nākamajā dienā, proti, ir apstiprināts, lietot elektroniskos displejus dažas stundas pirms gulēt iešanas nav ieteicams, jo to izstarotās gaismas spektrs aizkavē melatonīna sekrēciju, kas izjauc diennakts ritmu periodismu (*Chang, et al., 2015*).

## Metodika

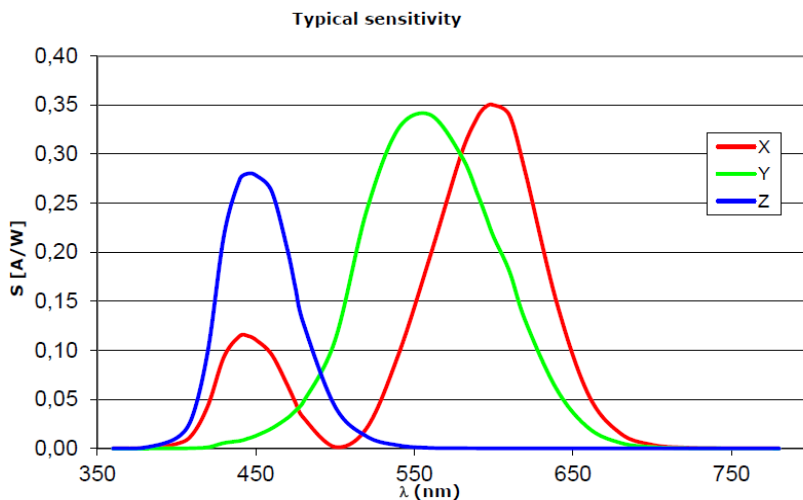
### Brīļu ietvars – sensoru platforma

Šī pētījuma ietvaros ir izveidots brīļu ietvars, kam ir paredzēti tehniskie atvērumi, lai nodrošinātu iespēju nostiprināt gaismas, attāluma un nolieces sensorus (skat. 1. att.).



1. att. Brīļu ietvars ar iezīmētām sensoru stiprināšanas vietām. Brīļu kajā tiek ielikts 3 asu žiroskops ar paātrinājuma sensoru. Ietvara augšējā frontālā pārliktnī ir iestrādāts attāluma sensors.

Brīļļu ietvaram ir izveidotas pilnībā funkcionējošas kājiņas, tomēr patreizējais brīļļu ietvara risinājums neparedz iespēju iestrādāt redzes refraktīvo defektu koriģējošās lēcas. Nākamajos modeļos šāda funkcija tiks paredzēta. Brīļļu ietvara centrā ir paredzēti tehniskie atvērumi, lai nostiprinātu gaismas un attāluma sensorus. Gaismas kolorimetriskā sastāva un intensitātes reģistrēšanai tiek izmantots gaismas sensors *Mazet TO39*, kas satur 57 heksagonālus segmentus, no kuriem pa 19 segmentiem ir paredzēti, lai reģistrētu gaismas intensitāti īso, vidējo un garo gaismas viļņu spektra daļā CIE XYZ noteiktajā sistēmā (skat. 2. att.). Sakarā ar to ka sensors pārveido gaismas intensitāti elektriskajā jaudā (W), konvertēšanai par voltiem tiek izmantots *Mazet MCDC04* transimpedances pastiprinātājs, kas vienlaikus pastiprina sensora signālu ka arī konvertē tā signālu no strāvas stipruma uz strāvas spriegumu. Pēdējais solis ir svarīgs analoga signāla pārveidosānai digitālā, ko panāk ar *Atmel* mikrokontroliera palīdzību.



**2. att.** Kolorimetriskā sensora spektrālā jutība. Katra no 19 sensorām grupām atbilst X,Yvai Z tristimulu vērtībām pēc CIE sistēmas. Tas padara sensora signālu viegli tranformējamu par LMS vāļišu ierosinājumiem.

Nesktoties uz to ka prototips sastāv no vairākiem sensoru tipiēm, šajā apskatā ir parādīta tikai gaismas sensoru raksturošana (skat. 3. att.) un attāluma un pozīcijas sensoru darbība tiks apskatīta citos izdevumos.

## Rezultāti un to analīze

Lai pārveidotu nolasītus voltus par kolorimetriskām vērtībām ir nepieciešams veikt kalkulācijas ar kalibrēšanas datiem. Iedomāsimies ka visi ar sensoru nomērīti paraugi var tikt aprakstīti ar matricas  $S_{3 \times n}$  palīdzību. Šiem mērījumiem atbilstošos patiesos kolorimetriskos references mērījumus no spektrofotometra PR650 apzīmēsim ar matricu  $T_{3 \times n}$ .

$$T = \begin{bmatrix} X_1 & X_n \\ Y_1 & Y_n \\ Z_1 & Z_n \end{bmatrix}; S = \begin{bmatrix} x_{adc1} & x_{adc n} \\ y_{adc1} & y_{adc n} \\ z_{adc1} & z_{adc n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

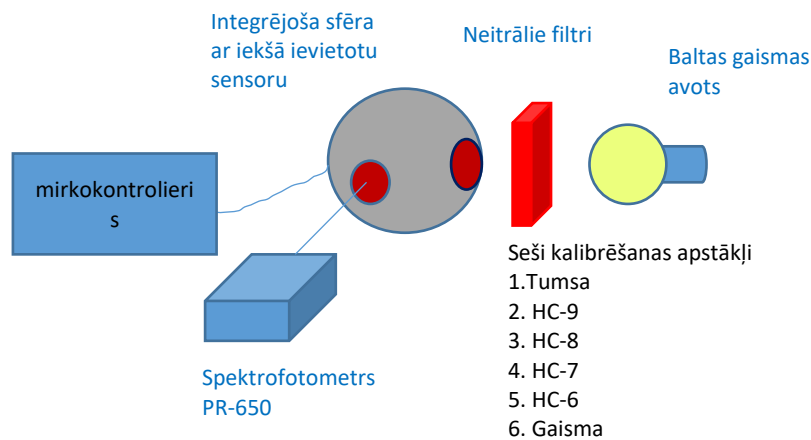
Šajā gadījumā matricu aprēķins palīdzēs noteikt kalibrēšanas koeficientu matricu  $K_{3 \times n}$

$$S = (T * S^T) * (S * S^T)^{-1} \quad (2)$$

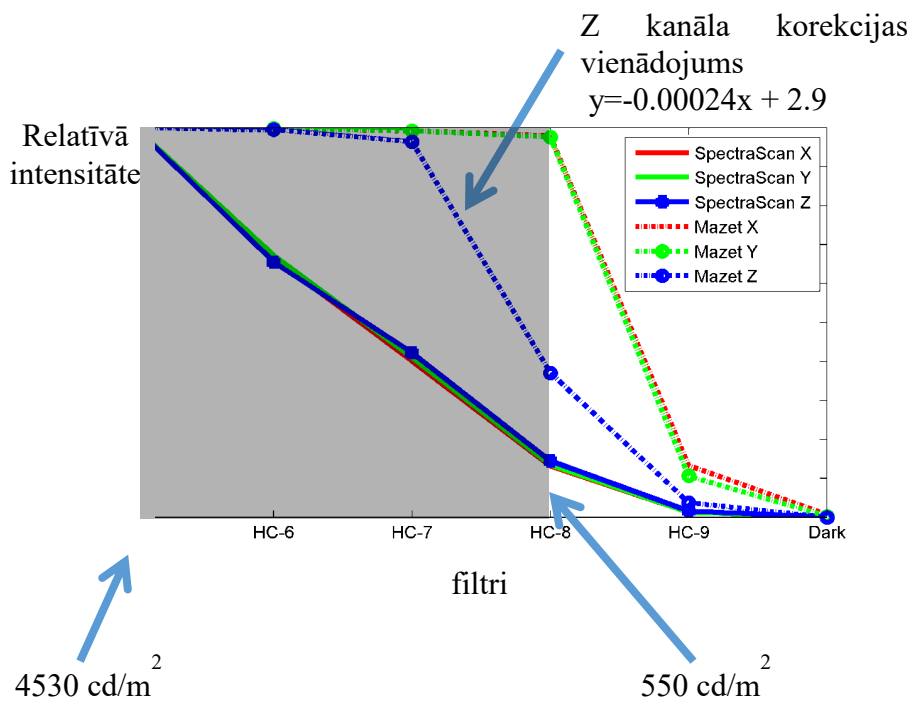
Pielietojot matricu K un sensora voltu mērījumus ir iespējams ticami noskaidrot patiesas XYZ vērtības.

$$K = \begin{bmatrix} xk_1 & xk_n \\ yk_1 & yk_n \\ zk_1 & xk_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} X_{\text{sensora}} \\ Y_{\text{sensora}} \\ Z_{\text{sensora}} \end{bmatrix} = K * \begin{bmatrix} X_{\text{adc}} \\ Y_{\text{adc}} \\ Z_{\text{adc}} \end{bmatrix} \quad (4)$$



**3. att.** Sensoru kalibrēšanas procesā iesastīta aprīkojuma shēma. Sensori ir ievietoti integrējošā sfērā un pasargāti no tiešajiem stariem ar aizsegu, tā lai tvertu tikai vienmērīgi izkliedētu gaismu.



**4. att.** Normalizēti mērījumi ar sensoru un spektrofotometru 6 gaismas intensitāšu gadījumā.

Kā redzams 4. attēlā, līdzīgas ir X un Y tristimulus vērtības, kuras uzrāda straujāku pieaugumu salīdzinājumā ar Z kanālu. La izlabotu Z tristimulu kanāla uzvedību, tika ipemeklēts sekojošais vienādojums

$$y = -0,00024x + 2,9 \quad (5)$$

Kolorimetriskā sensora darbības diapazons ir samērā ierobežots un acīmredzot ir paredzēts mēreniem apgaismojuma apstākļiem. Iegūto datu diapazonā tie būtu apstākļi no tumsas līdz objektiem ar spožumu 550 cd/m<sup>2</sup> apgaismojumam, kas labi atbilst ofisa apstākļiem.

## Diskusija

Izgatavotā monitoringa platforma ietver sensoru skaitu, lai novērtētu vidi apkārt biroja darbiniekiem. Ierīce ir uzstādīta uz viegla 3D drukāta brīļļu ietvara. Mēs nodrošinājām CIE trīstimulusa sensora kalibrēšanu, lai varētu novērtēt biroja vidē esošo signālu proporciju salīdzināšanai ar citām darba telpām. Nākotnes darbs tiks veltīts precīzai visu sensoru ierīču savstarpējai savienošanai ilgtermiņā ergonomiski atbilstoši datu iegūšanai.

Pēdējos simt gados ir konstatējamas būtiskas dzīves ritma un režīma izmaiņas sakarā ar plašu elektriskā apgaismojuma pieaugumu ikdienā. Šī pētījuma mērķis ir izveidot ierīci, kas nodrošina objektīvu atgriezenisko saiti, kas nav pakļauta cilvēka gribai, lai konstatētu nomodā pavadīto stundu skaitu, apgaismojuma intensitāti un spektrālo sastāvu. Pētījuma autori paredz, ka ir iespējams izveidot programmatūru, kas analizējot sensoru informāciju var konstatēt cik daudz laika tiek pavadīts skatoties uz elektronisko ierīču displejiem, cik daudz laika tiek pavadīts telpās ar mākslīgo apgaismojumu, cik daudz laika ir pavadīts telpās. Ievērojot faktu, ka mākslīgajiem gaismas avotiem – dienas gaismas lampām, LED lampām, datoru un monitoru ekrāniem var konstatēt spožuma fluktuācijas laikā, var izveidot algoritmus, kas spēj identificēt mākslīgos gaismas avotus, kā arī to spektrālo sastāvu un skaitu. Ievērojot, ka mikroprocesoru jauda un energoefektivitāte uzlabojas no gada uz gadu, var pieņemt, ka brīļļu ietvaros būs iespējams integrēt sensorus, mikroprocesorus, mikrokontrolierus, risinājumus informācijas saglabāšanai un bezvadu pārvadei, enerģijas avotus, lai analizētu gaismas sastāvu reālajā laikā tā arī dienas, nedēļas, mēnešu ietvaros. Analizējot sensoru informāciju dažādos laika intervālos (dienas, nedēļas, mēnešu) ir iespējams nodrošināt objektīvu atgriezenisko saiti par nepieciešamību veikt korekcijas dienas režīmā, elektronisko ierīču lietošanas paradumos, ikdienas fiziskajās aktivitātēs. Papildus gaismas sensoriem šī pētījuma autori ierosina integrēt distances un nolieces leņķa sensorus, kas dod iespēju konstatēt vai persona veic tuvuma darbu, kā arī vai tiek ievērots saudzīgs tuvuma darba režīms. Pētījuma autori pieņem, ka nākamajā desmitgadē daļā optisko brīļļu ietvaros būs integrēti sensori biometrisko datu monitorēšanai ar mērķi saudzēt cilvēku acu un organisma veselību.

## Pateicības

Metode un pētījums izstrādāti LU Bāzes un Snieguma projektu, LU Fonda un SIA "Mikrotīkls" projekta Nr. 2184 ietvaros.

## Literatūra

- Alhola, P., & Polo-Kantola, P. (2007). Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 3(5), 553–567.
- Anisimov, V. N. (2002). The light-dark regimen and cancer development. *Neuro Endocrinology Letters*, 2, 28–36
- Barrionuevo, P. A., & Cao, D. (2016). Luminance and chromatic signals interact differently with melanopsin activation to control the pupil light response. *Journal of vision*, 16(11), 1-17.
- Chang, A.M., Aeschbach, D., Duffy, J.F., & Czeisler, C.A. (2015). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(4), 1232–1237.
- Czeisler, C.A., Shanahan, T.L., Klerman, E.B., Martens, H., Brotman, D.J., Emens, J.S., Klein, T., & Rizzo, J.F. (1995). Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light. *New England Journal of Medicine*, 332(1), 6-11.
- Fu, L., Pelicano, H., Liu, J., Huang, P., & Lee, C. (2002). The circadian gene *Period2* plays an important role in tumor suppression and DNA damage response in vivo. *Cell*, 111, 41-50.
- Hatori, M., & Panda, S. (2010). The emerging roles of melanopsin in behavioral adaptation to light. *Trends in molecular medicine*, 16(10), 435–446.
- Hull, T.J., Czeisler, C.A., & Lockley, S.W. (2018). Suppression of Melatonin Secretion in Totally Visually Blind People by Ocular Exposure to White Light: Clinical Characteristics. *Ophthalmology*, 125(8), 1160-1171
- Nelson, R. J. (2004). Seasonal immune function and sickness responses. *Trends Immunology*, 25(4), 187-92

- Pagani, L., Semenova, E. A., Moriggi, E., Revell, V. L., Hack, L. M., Lockley, S. W., & Brown, S. A. (2010). The physiological period length of the human circadian clock in vivo is directly proportional to period in human fibroblasts. *PloS one*, *5*(10), 1-7.
- Pickard, G.E., & Sollars, P.J. (2011). Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, *162*, 59-90.
- Sack RL, Brandes RW, Kendall AR, & Lewy AJ. (2000). Entrainment of free-running circadian rhythms by melatonin in blind people. *New England Journal of Medicine*, *343*(15), 1070-1077.
- Saini, C., Brown, S. A., & Dibner, C. (2015). Human peripheral clocks: applications for studying circadian phenotypes in physiology and pathophysiology. *Frontiers in neurology*, *6*, 1-8.
- Srinivasan, V., Smits, M., Spence, W., Lowe, A.D., Kayumov, L., & Pandi-Perumal, S.R., (2006). Melatonin in mood disorders. *The World Journal of Biological Psychiatry*, *7*(3), 138–151.
- Stevens, R.G., Blask, D.E., Brainard, G.C., Hansen, J., Lockley, S.W., Provencio, I., Rea, M. S., & Reinlib, L. (2007). Meeting report: the role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases. *Environmental Health Perspectives*, *115*(9), 1357-1362.

# Latviešu vēsturisko tekstiliju izpēte

Valda Valkovska<sup>1</sup>, Sergejs Fomins<sup>2</sup> un Liāna Orola<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvijas Universitāte, Ķīmijas fakultāte, Fizikālās ķīmijas katedra, Rīga, Latvija

<sup>2</sup>Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts, Redzes uztveres laboratorija, Rīga, Latvija  
valda.valkovska@lu.lv

## Anotācija

Vēsturisko tekstiliju pigmentu pētījumi ļoti cieši saistīti ar apģērba vēstures izpēti Latvijas teritorijā. Agrāk krāsošanai izmantoja dažādus savvaļas kultūraugus, taču 19. gs. parādotes sintētiskajām krāsvielām, dabas krāsvielu izmantošana samazinājās. Lietojot dažādus kodinātājus (organiskus un neorganiskus savienojumus), dzijas krāsošanas procesā ar vienu krāsaugu var iegūt vairākas krāsas ar līdz pat 20 toņu niansēm. Lai raksturotu tekstiliju krāsu un to ķīmisko sastāvu, izmanto dažādas analītiskas metodes, kas ļauj izpētīt kultūras mantojumu. Veicot pētījumus šajā jomā, tiks veicināta Latvijas vēsturisko tekstiliju izpēte, tādējādi sekmējot kultūrvēsturiskā mantojuma saglabāšanu.

Sadarbojoties ar Etniskā kultūras centru "Suiti", šī pētījuma ietvaros raksturoti vēsturiskie tekstiliju dzijas paraugi (18. gs. – 20. gs.), kas ņemti no zeķes, pirkstaiņa, Alsungas tipa jostas, suitu tradicionālā brunču ņieburu daļām, svārku daļām un villainēm. Paraugi analizēti ar nesagraujošām metodēm: atstarošanas spektrometriju un rentgenfluorescences spektrometriju.

## Atslēgas vārdi:

Dabas krāsvielas, kodinātāji, atstarošanas spektrometrija, rentgenfluorescences spektrometrija

## Literatūras pārskats

Pētījumu aktualitāte par augu valsts krāsvielu izmantošanu tekstiliju darināšanā ar katru gadu pieaug līdz ar sabiedrības ieinteresētību savu tradīciju izpētē, vēstures izziņāšanā un apkārtējās vides saglabāšanā – ilgtspējīga attīstība atjaunojamo dabas resursu kontekstā. Tekstilrūpniecībā ~1 % no krāsvielu pieprasījuma nodrošina dabas krāsvielas. Neskatoties uz šo mazo apjomu, visā pasaulē dabisko krāsu izmantošana galvenokārt ir saistīta ar tradīciju turpināšanu, kā arī amatniekiem, māksliniekiem, mazu krāsošanas darbnīcu īpašniekiem, kuri nodarbojas ar augstvērtīgu, videi draudzīgu tekstilizstrādājumu ražošanu un pārdošanu (Saxena & Raja, 2014).

Krāsošanā parasti izmanto dažādas gan svaigas, gan žāvētas augu daļas – saknes, mizas, lakstus, lapas, ziedus, augļus u.c. Lai nokrāsotu 100 g dzijas, nepieciešami 4–5 litri krāsas ekstrakta, kas iepriekš pagatavots, karstā ūdenī iemērcot apmēram puskilogramu žāvētu vai kilogramu svaigu augu. Pirms krāsošanas augus sasmalcina, lai no tiem efektīvāk izdalītos pigmenti. Krāsojot dziju, iegūto augu ekstraktu karsē līdz 80° C temperatūrai, nevārot iztur tajā līdz pat stundai, ļauj atdzist un vairākas reizes dziju noskalo (Vankar, 2017; Vaivare, 2018). Lai dzija būtu noturīga pret nomazgāšanos un izbalēšanu, kā arī, lai iegūtu plašāku toņu daudzveidību, plaši izmanto neorganiskos un organiskos kodinātājus. Kopš 19. gs. vidus dabiskos kodinātājus (pelnu sārms, purva rāva, ieskābušas sulas, alus, virca, urīns u.c.) papildina ķīmiskie kodinātāji:  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ ,  $K_2CO_3$ , vīnskābe, etiķskābe (Saxena & Raja, 2014; Vaivare, 2018). Tā kā vēsturisko paraugu ķīmisko profilu laika gaitā ietekmē ķīmiskā degradācija, oksidēšanās, gaisma, ūdens un citi faktori, tādēļ būtisks nosacījums, analizējot paraugus, ir atrast efektīvākās ekstrakcijas metodes (Surowiec, Quye & Trojanowicz, 2006).

Tekstilšķiedru krāsu un pigmentu izpētē izmanto gan nesagraujošās (spektrometriskās: XRF, SEM-EDX, difūzās izkliedes UV/VIS, IR, Ramana u.c.), gan sagraujošās (hromatogrāfiskās) metodes. Izmantojot abas šīs metožu grupas var iegūt pilnīgāku informāciju par pētāmo paraugu. Uzsākot pigmentu un krāsoto tekstiliju pētījumus, noderīgu informāciju par krāsu spektru sniedz redzamās gaismas spektroskopiskās metodes. Citas nesagraujošās analīzes metodes, kas balstās uz ultravioletā un infrasarkanā starojuma ierosināto elektronu pāreju un saišu vibrāciju molekulās, ļauj



noteikt krāsoto paraugu kvalitatīvo un kvantitatīvo sastāvu (*Maynez-Rojas, Casanova-González & Ruvalcaba-Sil, 2017; Gulmini et al., 2013*). Redzamās gaismas spektrometrijas trūkums tekstiliju izpētē ir platas joslas, kas komponentu maisījuma gadījumā sarežģī krāsvielu identificēšanu. Augstāku identificēšanas potenciālu uzrāda jau iepriekš pieminētās FTIR un Ramana spektrometrijas metodes (*Ferri et al., 2018*). Pie nesagraujošām analīzes metodēm pieder arī SEM-EDX un XRF, kuras īpaši noder ar neorganiskiem savienojumiem kodinātu dziju analīzē, nosakot to kvalitatīvo un kvantitatīvo elementsastāvu (*Karadag & Torgan, 2016*).

Tā kā lielu daļu savienojumu nav iespējams identificēt ar iepriekš minētajām metodēm, tad lietderīgi izmantot hromatogrāfisko analīzi, kas ļauj veikt vairāku savienojumu atdalīšanu un tai sekojošu raksturošanu ar UV un/vai MS metodēm viena mērījuma ietvaros, tā iegūstot informāciju par kvantitatīvo un/vai kvalitatīvo saturu. Jāatzīmē, ka MS metodes izmantošana šajā analīzē dod iespēju noskaidrot arī savienojumu uzbūvi, nosakot m/z vērtības fragmenta joniem, kas atvieglo identifikācijas procesu, ja nav pieejamas standartvielas (*Ye et al., 2007; Gulmini et al., 2013*).

Pasaulē vēsturisko tekstiliju un to darināšanā izmantoto augu valsts krāsvielu pētījumi tiek plaši veikti, taču Latvijā līdz šim plaša izpēte, ieskaitot vēsturisko krāsoto tekstiliju fizikālķīmisko īpašību un sastāva raksturošanu, nav veikta. Lai gūtu priekšstatu par krāsu dažādību latviešu vēsturiskajās tekstilijās un iespējamo krāsošanas procesa ietekmi uz toņa veidošanos, tika izvirzīts pētījuma mērķis – raksturot dzijas krāsu komponentes un tās kodināšanai izmantotās vielas.

## Metodika

Pētījuma ietvaros analizēti dziju paraugi no vēsturiskajām tekstilijām (18. gs. – 20. gs.), kas saņemti no EKC “Suiti”. Paraugu atstarošanas spektrus uzņēma, izmantojot optisko shēmu – spektrometru USB2000+ (*Ocean Optics*), A tipa filtrēto gaismas avotu un dubulto optisko šķiedru (*Ocean Optics*). Dzijas paraugu novietoja uz melnas, matētas plaknes. Pa optiskas šķiedras sešiem ārpusējiem kanāliem apstaroja paraugu, no kura atstarotā gaisma caur optiskas šķiedras centrālo kanālu nonāca spektrometrā. Iegūtos spektrus apstrādāja ar *SpectraSuite, MS Excel 2016* un *MatLab R2015a* programmās. Iegūtos spektrus attiecīnāja pret references balto un tumšo mērījumiem. Lab kolorimetriskos aprēķinos izmantoja standarta apgaismojumu D65 – mākoņaina diena Eiropas ziemeļos (*CIE D65 illuminant data*).

Dziju paraugu elementu kvalitatīvo sastāvu noteica ar viļņu dispersijas rentgenfluorescences spektrometru *S8 TIGER (Bruker)*. Parauga turētājā ( $\varnothing = 5$  mm) iestiprināja polipropilēna plēvi, kuras biezums ir 5  $\mu\text{m}$ , ievietoja dzijas paraugu un to piespieda ar ogleis references materiālu (BR RW1711/14). Parauga turētāju ievietoja spektrometrā, kura darbības režīms bija: atmosfēras spiediens, He atmosfēra, noteikšanas režīms – *Best detection*, rentgenlampas anoda materiāls – rodījs, 0,2  $\mu\text{m}$  biezs Cu filtrs primārā rentgenstarojuma atdalīšanai. Datu apstrādei izmantoja programmu *Eval 2*.

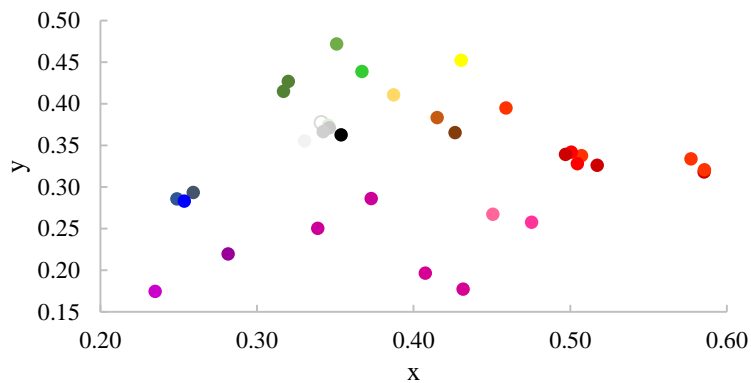
## Rezultāti un to analīze

Pētījumā analizētās vēsturiskās tekstilijas atšķiras ar krāsu un toņu dažādību (skat. 1. att.). Redzams, ka vēsturiskajām tekstilijām raksturīgas košas un spilgtas krāsas, tajās pārsvarā dominē sarkanie, brūnie, violette, zilie un dzeltenie toņi. Literatūrā (*Vaivare, 2018*) minēts, ka 19. gs. darinātajās jostās iztika bez zaļās krāsas un nav atrodamas konkrētas norādes par tās piepulcēšanos rotājošo krāsu trijniekam: zilajai, sarkanai un dzeltenajai. Tikai vēlāk zaļā krāsa ieguva pastāvīgu vietu rotājošā rakstā, veidojot stabilu krāsu četrinieku: sarkanais, zilais, dzeltenais un zaļais.

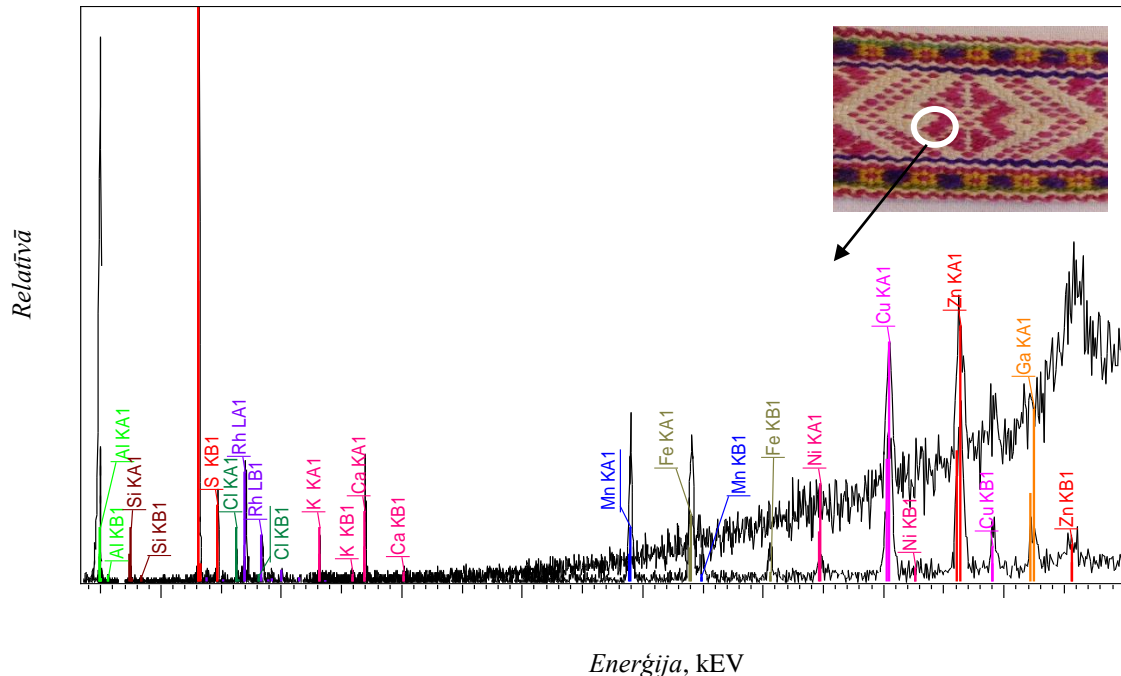
Lai raksturotu vēsturisko tekstiliju krāsu parametrus, no tām paņēma 35 dažādu krāsu dzijas gabalus un uzņēma atstarošanas redzamas gaismas spektrus. Izmantojot iegūtos spektrus, aprēķināja krāsu komponentes ( $L^*a^*b^*$ ) un xy koordinātes CIE krāsu diagrammā (skat. 2. att.). No iegūtajiem datiem var redzēt, ka etnogrāfisko tekstiliju paraugos dominējošās krāsas ir sarkana, violeta, dzeltena, zaļa un zila. Vairākiem paraugiem no dažādiem apģērbiem ir sakrītošas CIE xy koordinātes, taču tiem veiktā XRF analīze uzrādīja elementsastāva atšķirības, kas norāda uz atšķirīgu krāsvielas avotu.



1. att. Vēsturisko tekstiliju paraugi (A – rakstains pirkstainis, B – suitu tradicionālo brunču ņiebura daļa, C – suitu tradicionālā tērpa villaine "Trakā drāna", D – zeķe ar rakstainu vaļņa daļu, E – suitu tradicionālo brunču ņiebura daļa, F – Alsungas tipa josta, G – suitu tradicionālo brunču svārku daļa, H – suitu tradicionālo brunču ņiebura daļa).



2. att. Vēsturisko dziju paraugu krāsas CIE xy koordinātēs.

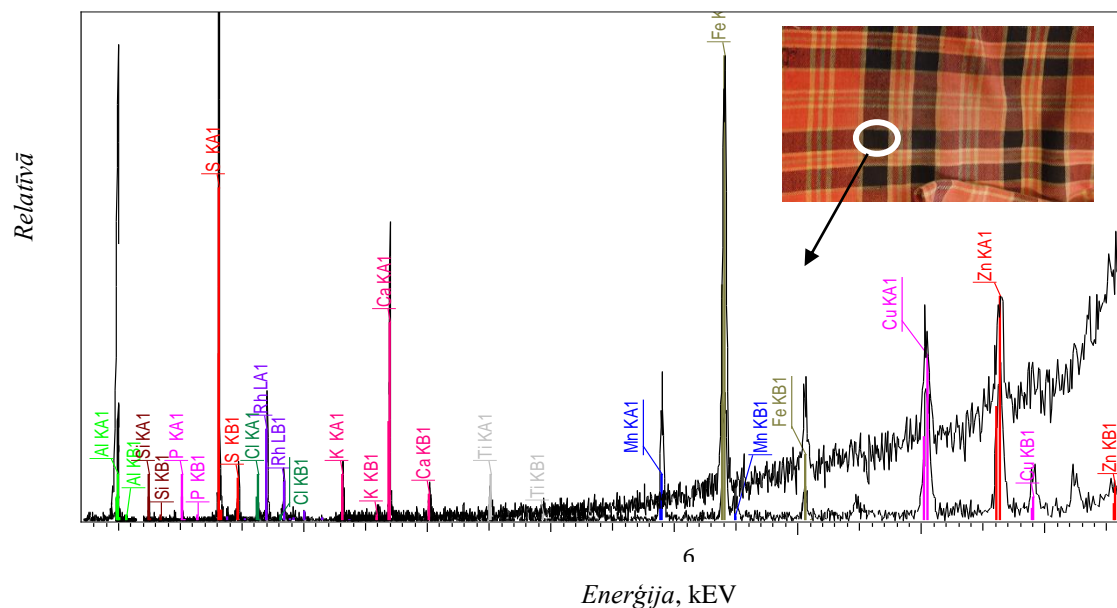


3. att. Alsungas tipa jostas vilnas velku rentgenspektri: A – paraugs; B – parauga turētājs.

Visu darbā apskatīto vēsturisko tekstiliju dziju paraugu XRF rezultāti parāda, ka tajos visos ir sērs, taču tā saturs ir atšķirīgs. Tas skaidrojams ar to, ka vilna ir dabiska šķiedra, kuras sastāvā ietilpst sēru saturošas aminoskābes (Sabatini et al., 2018), kuru saturs ir atkarīgs no vilnas izcelsmes un dzijas krāsošanā izmantotā kodinātāja (Sahoo & Soren, 2011). Lielākajai daļai no analizētajiem paraugiem rentgenspektra profils (skat. 3. att.) ir līdzīgs, atšķiras tikai Al un K daudzums, kas norāda uz

neorganisko savienojumu izmantošanu dzijas kodināšanai. Visticamāk kā kodinātājs šajos gadījumos izmantots kālija alumīnija alauns ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ). Visos dzijas paraugos konstatēja silīciju; tā klātbūtne norāda uz paraugu piesārņojumu ar dabiskajiem aerosoliem, galvenokārt smilšu un augsnes putekļiem (Denjean *et al.*, 2016). Visos rentgenspektros vērojamas instrumenta līnijas (Al, Rh, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn un Ga), kas rodas no rentgenlampas, Cu filtra, parauga turētāja un ogles references materiāla.

Tumšo dziju paraugu rentgenspektros (skat. 4. att.), it īpaši, melno redzamas Fe  $K_{\alpha 1}$  un Fe  $K_{\beta 1}$  līnijas, kuru intensitāte ievērojami pārsniedz attiecīgu Fe instrumenta līniju intensitāti. Tas norāda, ka kodinātāja sastāvā viens no pamatelementiem ir dzelzs. Visplašāk izmantotais dzelzi saturošs kodinātājs ir dzelzs sulfāts ( $FeSO_4$ ), kas ne tikai maina dzijas krāsu uz tumšākiem un vēsākiem toņiem, bet arī padara šķiedru raupjāku (Saxena & Raja, 2014).



4. att. Suitu tradicionālā tērpa villaines “Trakā drāna” vilnas dzijas audu rentgenspektri: A – paraugs; B – parauga turētājs.

Pētījumā iegūtie dati liecina, ka vēsturisko tekstiliju no Etniskā kultūras centra “Suiti” krāsas avots ir dažādie krāsaugi vai sintētiskās krāsvielas, nevis viens krāsaugs un atšķirīgie kodinātāji. Starp analizētajiem paraugiem nav novērota liela kodinātāju daudzveidība, galvenokārt to sastāvā ir Al, K vai Fe, kas visticamāk atbilst kālija alumīnija alaunam un dzelzs(II) sulfātam. Tā kā šajā gadījumā dzijas krāsu nosaka izmantotās krāsvielas, būtu nepieciešams veikt papildus izpēti ar hromatogrāfijas un masspektrometrijas metodēm, lai raksturotu un identificētu vēsturisko dziju ekstraktos esošos krāsu pigmentus. Tādējādi varēs gūt plašāku priekšstatu par tradicionālo krāsaugu lietojumu dzijas krāsošanā.

## Pateicības

Paldies Dacei Martinovai biedrības EKC “Suiti” priekšsēdētājai un Anetei Karlsonai Latvijas vēstures institūta vadošajai pētniecei par vēsturiskajiem paraugiem, to aprakstiem un bildēm.

## Literatūra

- Denjean, C., Cassola, F., Mazzino, A., Triquet, S., Chevaillier, S., Grand, N., Bourriane, T., Momboisee, G., Sellegri, K., Schwarzenbock, A., Freney, E., Mallet, M., & Formenti, P. (2016). Size distribution and optical properties of mineral dust aerosols transported in the Western Mediterranean. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 1081-1104.
- Ferri, L., Tripodi, R., Martignon, A., Ferrari, E. S., Lagrutta-Diaz, A. C., Vallotto, D., & Pojana, G. (2018). Non-invasive study of natural dyes on historical textiles from the collection of Michelangelo Guggenheim. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 204, 548-567.

- Gulmini, M., Idone, A., Diana, E., Gastaldi, D., Vaudan, D., & Aceto, M. (2013). Identification of dyestuffs in historical textiles: Strong and weak points of a non-invasive approach. *Dyes and Pigments*, 98(1), 136-145.
- Karadag, R., & Torgan, E. (2016). Advantages and importance of natural dyes in the restoration of textile cultural heritage. *International Journal of Conservation Science*, 7(1), 357-366.
- Maynez-Rojas, M. A., Casanova-González, E., & Ruvalcaba-Sil, J. L. (2017). Identification of natural red and purple dyes on textiles by Fiber-optics Reflectance Spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 178(2017), 239-250.
- Sabatini, F., Nacci, T., Degano, I., & Colombini, M. P. (2018). Investigating the composition and degradation of wool through EGA/MS and Py-GC/MS. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 135, 111-121.
- Sahoo, A., & Soren, N. M. (2011). Nutrition for wool production. *Webmed Central Nutrition*, 2(10), 1-11.
- Saxena, S., & Raja, A. S. M. (2014). *Natural dyes: sources, chemistry, application and sustainability issues*. Singapore: Springer.
- Surowiec, I., Quye, A., & Trojanowicz, M. (2006). Liquid chromatography determination of natural dyes in extracts from historical Scottish textiles excavated from peat bogs. *Journal of Chromatography A*, 1112(1), 209-217.
- Vaivare, B. (2018). *Daba krāso dzilna auž*. Jelgava:Jelgavas tipogrāfija.
- Vankar, P. S. (2017). *Natural dyes for textiles. Sources, chemistry and application*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Ye, M., Han, J., Chen, H., Zheng, J., & Guo, D. (2007) Analysis of phenolic compounds in rhubarbs using liquid chromatography coupled with electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 18(1), 82-91.
- CIE D65 illuminant data. Pieejams: <https://docs.r4photobiology.info/photobiology/reference/D65.illuminant.spct.html>

# Termogrāfijas izmantošana sepses pacientu monitoringam

A.Caica<sup>1</sup>, Z.Marcinkevičs<sup>1</sup>, U.Rubīns<sup>2</sup>, A.Grabovskis<sup>2</sup> un S.Kazūne<sup>3</sup>

Latvijas Universitāte, Bioloģijas fakultāte, Dzīvnieka un cilvēka fizioloģijas katedra, Rīga, Latvija<sup>1</sup>

Latvijas Universitāte, Atomfizikas un spektroskopijas institūts, Rīga, Latvija<sup>2</sup>

Traumatoloģijas un ortopēdijas slimnīca, Rīga, Latvija<sup>3</sup>

zbigis@latnet.lv

## Ievads

Sepsi parasti definē kā organisma pārmērīgu atbildes reakciju uz infekciozu procesu, kas manifestējas ar audu bojājumiem un orgānu mazspēju. Nekontrolētas slimības gaitā un komplikāciju gadījumā pastāv septiska šoka risks. Šis šoka stāvoklis raksturojas ar spēcīgiem kardiovaskulārās sistēmas un šūnu vielmaiņas traucējumiem (*Fan, Miller, Lee, & Remick, 2016*). Tas arī ir viens no senākajiem medicīnas problēmjautājumiem, kurš līdz pat mūsdienām nav zaudējis savu aktualitāti, jo sepses saslimšanas gadījumi samērā bieži rezultējas ar pacienta nāvi, īpaši letāli ir septiska šoka gadījumi. Līdz ar to ārstiem ir nepieciešamas agrīnas diagnostikas metodes korektai terapijas vadībai, jo uz do to brīdi neviens laboratorisks izmeklējums agrīni neapstiprina sepsi (*Cawcutt & Peters, 2014*).

Atskatoties uz vēsturi, viens no diagnostikas paņēmieniem ko izmanto, ir pacienta ādas vizuāls novērtējums. Medicīnas vadlīnijās pastāv standartizētas skalas pēc kurām novērtē, piemēram, ādas marmorizācijas pakāpi (*Ait-Oufella et al., 2011*). Kā zināms, tad āda ir lielākais orgāns cilvēka ķermenī, kas veic neskaitāmas svarīgas funkcijas un tiek lēsts, ka ādas mikroperfūzija atspoguļo vispārējo sistēmisko asinsvadu un orgānu funkcionālos traucējumus (*Humeau-Heurtier, Mahé, & Abraham, 2015*). Pētījumos vizuālu ādas izvērtējumu veic arī fiziski veselām personām, izmantojot dažādas provokācijas metodes, tādējādi validējot izmeklējumu iekārtās un metodiku izmantošanai klīnikā. Viens no piemēriem ir arteriālā oklūzija, jeb asins apgādes un atces ierobežošana ko mēdz dēvēt arī par audu išēmizāciju (*Mcmahan, 2010*). Oklūzijas laikā veselām personām lielākoties var novērot sepses slimniekiem raksturīgo marmorizāciju, līdz ar to šis provokācijas modelis ir ļoti parocīgs metodikas pilnveidošanai. Taču jāņem vērā aspekts, ka marmorizācija ir oklūzijas sekas, turpretī sepses slimnieku gadījumā ir būtiski izprast tās etioloģiju, kas bieži vien ir cieši saistītas ar endotēlija funkcionāliem traucējumiem (*De Backer et al., 2013*).

Līdz ar to, ādas vizuāla diagnostikas metode ir samērā pievilcīga ar savu vienkāršību, taču pastāv limitējošs faktors, cilvēka acs spēj sniegt tikai subjektīvu izvērtējumu. Lai atrisinātu šo problēmu, ādas izvērtējums septiskiem pacientiem, tika veikts ar termogrāfijas attēlveidi.

**Darba mērķis:** izvērtēt septisko pacientu mikroperfūzijas stāvokli un tā ietekmi uz turpmāko atveseļošanās gaitu balstoties uz termogrāfiskajiem datiem.

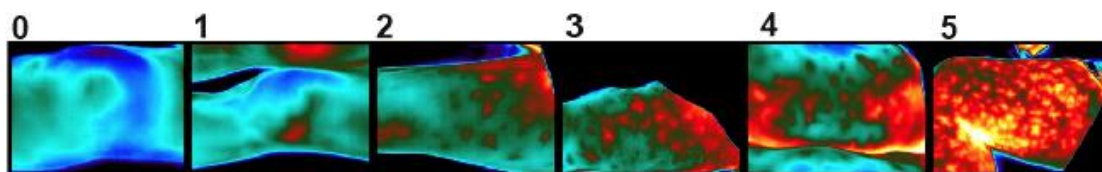
## Metode

Pētījumā tika iekļauti 10, Sepses un Toksikoloģijas klīnikas intensīvās terapijas, pacienti. Pirms izmeklējuma procedūras veikšanas, izmeklējamās personas vai to piederīgie, sniedza rakstisku piekrišanu dalībai pētījumā.

Termogrāfijas video iegūšanai tika izmantota termālās attēlveides kamera FLIR A655sc, kuras izšķirtspēja ir ar 17 mikronu pikseliem. Spēj veikt līdz pat 50 kadriem sekundē, kameras precizitāte:  $\pm 2^\circ \text{C}$  vai  $\pm 2\%$ .

Ar termogrāfijas palīdzību tika vizualizēti ādas reģioni, kur ir izteiktāka mikroperfūzija, tas izpaudās kā krass temperatūras pieaugums nelielā reģionā, veidojot tā saucamos “karstos punktus” (hotspot) -heterogēnus temperatūras reģionus uz pacienta ādas. Izvērtējot “karsto punktu” daudzumu tika izmantota vērtējumu skala: 0-5, kur 0 nozīmē homogēnu temperatūras sadalījumu bez šādiem punktiem, savukārt 5, ir ļoti heterogēns temperatūras sadalījums ar lielu karsto punktu skaitu (skat. 1. att.). Mūsu pētījumi norāda ka izšķirošā nozīme ir tieši temperatūras gradientam, nevis absolūtai ādas virsmas temperatūrai.

Iegūtie video materiāli tika analizēti, un atkarībā no pacienta ķermeņa temperatūras, sadalīti divās grupās. Vienā grupā ietilpa pacienti, kuri iekļāvās temperatūras diapazonā no 30,5° līdz 36°, savukārt otrā grupā temperatūras diapazons bija no 33,5° līdz 39°. Lai arī absolūtajai temperatūrai šajā gadījumā nav nozīmes, ir būtiski izmantot vienotu skalu, lai efektīvāk veiktu turpmāku termogrāfijas datu vizuālu analīzi un salīdzināšanu.



**1. att.** Hotspotu vērtējuma skalas vizuāls piemērs (0-5). (0) – homogēns temperatūras sadalījums, (1-4) – nehomogēns temperatūras sadalījums ar hotspotu skaita pieaugumu, (5) – izteikti liels hotspotu daudzums plašā ķermeņa apgabalā.

## Rezultāti

Prelimināri izvērtējot desmit pacientu iegūtos datus, iezīmējās tendence, ka liels īpatsvars vizualizēto hotspotu korelē ar lielāku nāves gadījumu skaitu, turpretī pacientiem ar homogēnu temperatūru bija vērojama pozitīva atveseļošanās dinamika.

Izmeklējamie, kuriem tika konstatēts vērtējums 0 no iepriekš minētās skalas, izdzīvoja 90 % gadījumos, pie skalas vērtējuma 1 izdzīvoja 60 %, no 2 līdz 3 izdzīvojušo īpatsvars sastādīja vien 20 %. Savukārt, skalas galējās vērtības no 4 līdz 5 nav konstatētas nevienam izdzīvojušam pacientam. Tas varētu būt skaidrojams ar to, ka atveroties vairāku arteriolu lūmeniem (termogrāfijā vizualizējas perforējošās artērijas) dramatiski samazinās vidējais dinamiskai arteriālais spiediens (MAP), un vazopresoru terapija nesniedz vēlamu efektu. Kritiski zems MAP noved pie orgānu darbības apstāšanās un neatgriezeniskiem bojājumiem, kas arī bieži vien ir nāves cēlonis.

## Secinājumi

Termogrāfijas attēlveide potenciāli ir labs diagnostikas instruments, kas varētu sniegt informāciju par mikroperfūziju ādā, taču sepse ir multifaktoriāla saslimšana, tādējādi nepieciešami vairāki klīniskie diagnostikas parametri. Kā arī būtu vēlams iegūt vairāk termogrāfiskos datus, lai statistiski apstiprinātu iepriekš minēto tendenci- nehomogēns ādas temperatūras sadalījums korelē ar lielāku nāves gadījumu skaitu.

Būtisks aspekts ir heterogenitātes skalas noteikšanas metode. Šajā pētījumā tas tika veikts pētniekam vizuāli izvērtējot visu pacientu termogrāfijas attēlus, kas nav pilnīgi objektīvi. Turpmākai skalas diapazona identificēšanai būtu nepieciešams izveidot algoritmu, kas automātiski vadās pēc hotspotu skaita un laukuma.

## Literatūra

- Ait-Oufella, H., Lemoine, S., Boelle, P. Y., Galbois, A., Baudel, J. L., Lemant, J., ... Offenstadt, G. (2011). Mottling score predicts survival in septic shock. *Intensive Care Medicine*, 37, 801–807.
- Cawcutt, K. A., & Peters, S. G. (2014). Severe sepsis and septic shock: Clinical overview and update on management. *Mayo Clinic Proceedings*, 89(11), 1572–1578.
- De Backer, D., Donadello, K., Sakr, Y., Ospina-Tascon, G., Salgado, D., Scolletta, S., & Vincent, J.-L. (2013). Microcirculatory alterations in patients with severe sepsis: impact of time of assessment and relationship with outcome. *Critical Care Medicine*, 41(3), 791–9.
- Fan, S. L., Miller, N. S., Lee, J., & Remick, D. G. (2016). Diagnosing sepsis – The role of laboratory medicine. *Clinica Chimica Acta*, 460, 203–210.
- Humeau-Heurtier, A., Mahé, G., & Abraham, P. (2015). Microvascular blood flow monitoring with laser speckle contrast imaging using the generalized differences algorithm. *Microvascular Research*.
- Mcmahan, Z. H. (2010). Raynaud's phenomenon and digital ischemia: a practical approach to risk stratification, diagnosis and management R review, 5, 355–370.



# Augstas izšķirtspējas attēlveides fotopletizmogrāfijas izmantošanas iespējas ādas mikrocirkulācijas pētīšanā

Z.Marcinkevičs<sup>1</sup>, U.Rubīns<sup>2</sup>, T.Karaja<sup>1</sup> un K.Volčeka<sup>1</sup>

Latvijas Universitāte, Bioloģijas fakultāte, Dzīvnieka un cilvēka fizioloģijas katedra, Rīga, Latvija<sup>1</sup>

Latvijas Universitāte, Atomfizikas un spektroskopijas institūts, Rīga, Latvija<sup>2</sup>

zbigis@latnet.lv

## Ievads

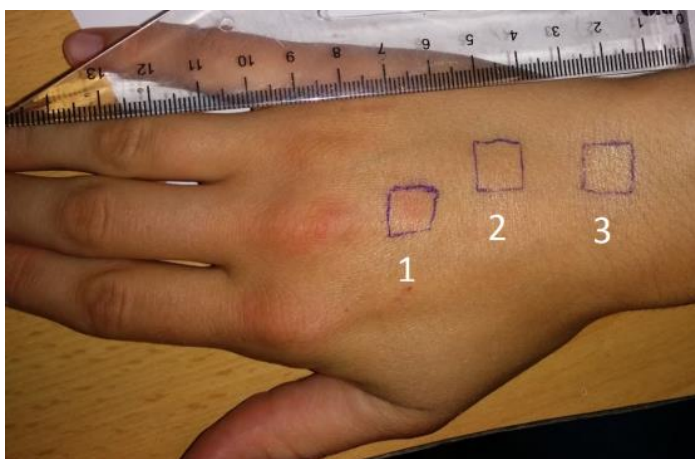
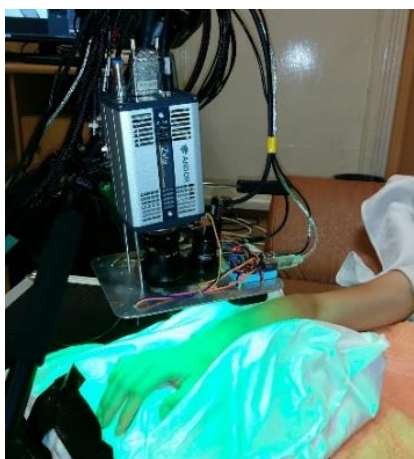
Āda ir unikāls orgāns ar sarežģītu struktūru un lokālu neuro-imuno-endokrīno sistēmu, spēj atspoguļot situāciju organismā reaģējot uz dažādām saslimšanām (aknu slimības, vairogdziedzera slimības, diabēts, gremošanas sistēmas slimības, u.c.) jau to agrīnā attīstības stadijā, kad pārējās saslimšanas pazīmes vēl nav izteiktas. Ņemot vērā ādas līdzdalību daudzās organisma norisēs, kā arī tās pieejamību dažādām neinvazīvām optiskām metodēm, pēdējā laikā pētniekiem ir radusies pastiprināta interese bez-kontakta diagnostisko metožu izstrādes jomā, ar mērķi novērtēt ādas strukturālo un funkcionālo stāvokli.

Pietiekami informatīvs un relatīvi viegli nosakāms parametrs ir ādas mikrocirkulācijas gultnes perfūzija, ko tradicionāli nosaka ar lāzera Doplera attēlveides metodi (LDI), vai lāzera speķu kontrast attēlveidi (LASCA). Šo metožu trūkums ir perfūzijas noteikšana, vienīgi noteiktā dziļumā esošos asinsvados, kas ņemot vērā, ādas daudzslāņaino asinsvadu tīklojumu nav pietiekami informatīvi. Mūsu grupas iepriekšējos pētījumos tika demonstrētas bi-spektrālās attēlveides fotopletizmogrāfijas iespējas, reģistrējot perfūziju ādas divos atšķirīgos dziļumos esošiem asinsvadu pinumiem.

Turpinot attīstīt aizsākto ideju, šī pētījuma mērķis bija noskaidrot kameras parametru ietekmi uz mikrocirkulācijas perfūzijas signāla kvalitāti, reģistrējot to, no atšķirīgos dziļumos esošiem asinsvadu pinumiem.

## Metode

Lai noskaidrotu kameras ietekmi uz perfūzijas signālu matainajā ādā, vienlaicīgi tika veikts ieraksts ar zinātnisko ultra-zemo trokšņu kameru (Andor Zyla 4.2, cooled sCMOS, ADC 16-bits) un kompakto industriālo kameru (Ximea xiQ, CMOSIS, ADC 8-bits) (skat. 1.A att.).



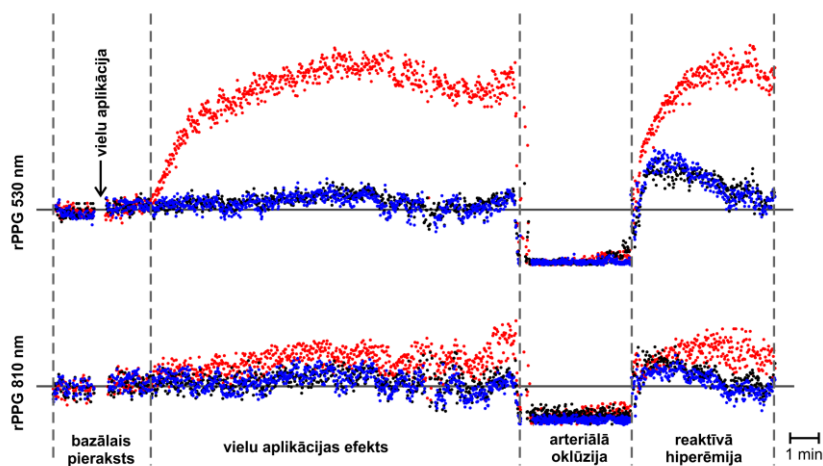
**1. att.** Pētījuma gaitā izvietotā aparatūra (A) un vielu aplikācijas vietas uz ādas (B); 1-niacīns, 2-olīveļļa kā kontrole, 3- mentola eļļa.

Ieraksta laikā (50 fps) āda tika secīgi apgaismota ar diviem atšķirīgiem gaismas avotiem (530 nm un 810 nm), sasinchronizējot tos ar kadru ierakstu (secīgi zaļie un infrasarkanie kadri).

Pētījumā piedalījās 7 jaunas un veselas izmeklējamās personas (3 vīrieši, 4 sievietes), pirms pētījuma personas iepazinās ar protokola gaitu un brīvprātīgi piekrita dalībai. Protokols ilga 25 minūtes: 1 minūtes bazālais pieraksts, tam sekoja 15 min. triju vielu aplikācija- niacīna ziede (1), olīveļļa-kontrolei (2) un mentola eļļa (3), katra viela savā ādas apvidū (skat. 1.B att.). Pēc tam tika veikta arteriālā oklūzijas (4 min ilgums), kam sekoja 5 min. reaktīvās hiperēmijas pieraksts. No iegūtā signāla tika izdalīta PPG mainīkomponente (AC) un līdzkomponente (DC) un izrēķināts perfūzijas indekss ( $P = rPPGAC / rPPGDC$ ). Dati tika apstrādāti izmantojot īpašu Matlab vidē izstrādātu programnodrošinājumu (U.Rubīns).

## Rezultāti

Pēc vielu aplikācijas uz ādas tika novērotas tipiskās reakcijas, līdzīgi, kā mūsu iepriekšējā pētījumā (skat. 2. att.). Salīdzinot abu kameru signālus, tika konstatēts, ka ultra-zemo trokšņu kameras signālam ir lielāka amplitūda nekā kompaktajai kamerai, gan zaļajā ( $1,68 \pm 0,59$  reizes), gan infrasarkanajā kanālā ( $1,78 \pm 0,66$  reizes). Taču vielu iedarbības laikā, salīdzinot reālos perfūziju signālus no 1cmx1cm ādas reģiona, būtiskas atšķirības netika novērotas. Šī fenomena skaidrojums ir signāla iegūšana vidējojot pikseļus no relatīvi liela ādas apgabala, kā arī AC signāla digitālā filtrēšana.



**2. att.** Nematinās ādas perfūzijas izmaiņas fizioloģisko provokāciju laikā visos trijos ādas apgabalos; ar sarkaniem punktiem apzīmēts niacīns, melniem punktiem-olīveļļa, ziliem punktiem-mentola eļļa.

## Secinājumi

Iegūtie rezultāti apliecina kvalitatīva ādas perfūzijas signāla iegūšanu fotopletizmogrāfijas sistēmā izmantojot industriālo 8 bitu kameru. Savukārt, ultra-zemo trokšņu 16 bitu kameras izmantošana būtiski neuzlaboja ādas perfūzijas signāla kvalitāti.

## Pateicības

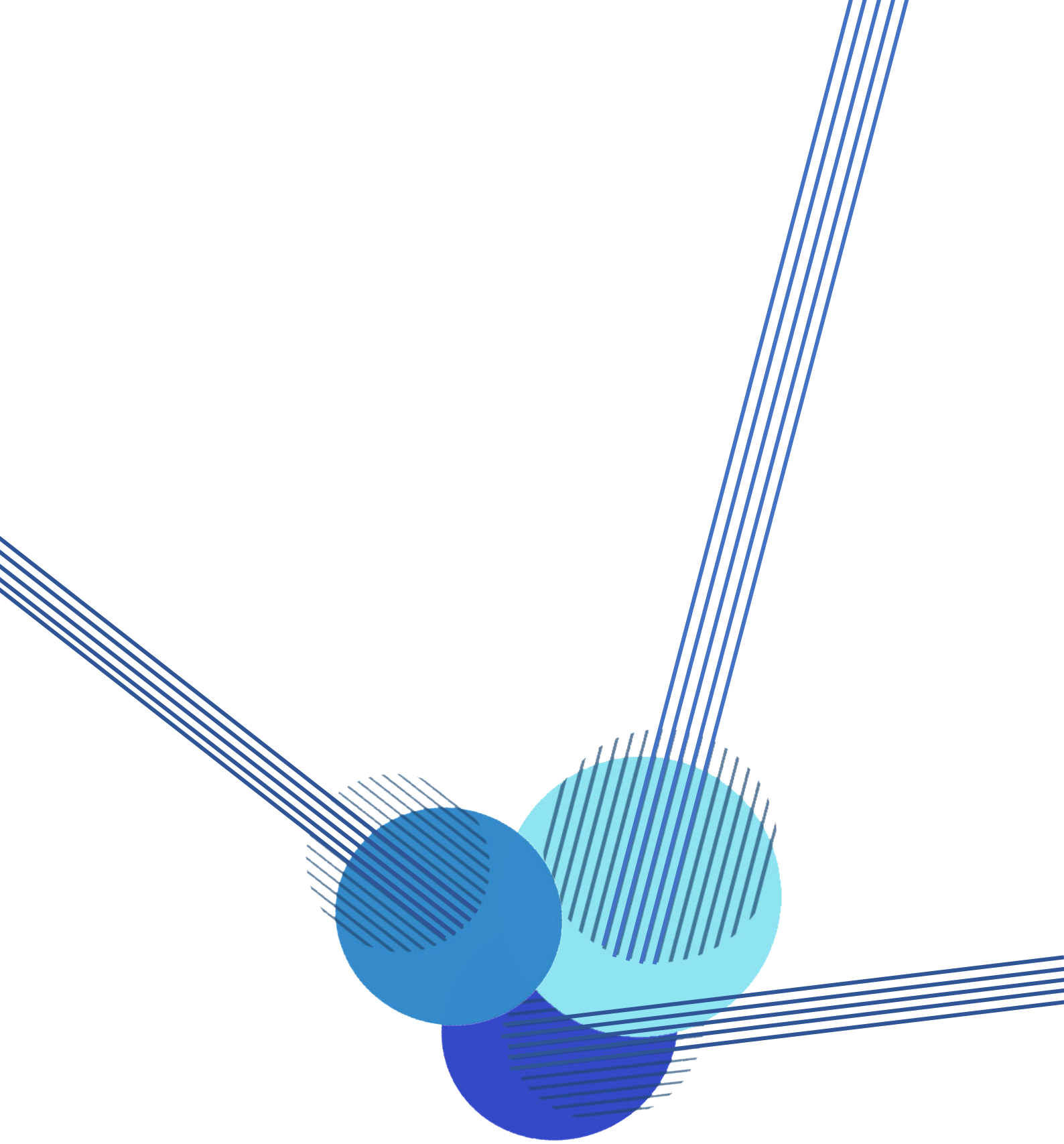
Pētījums tapis ar LU projekta Nr. AAP2016/B047 finansiālo atbalstu.

## Literatūra

- Verkruyse, W., Svaasand, L. O., & Nelson, J. S. (2008). Remote plethysmographic imaging using ambient light. *Optics Express*, 16(26), 21434–21445.
- Kumar, M., Veeraraghavan, A., & Sabharwal, A. (2015). DistancePPG: Robust non-contact vital signs monitoring using a camera. *Biomedical Optics Express*, 6(5), 1565–1588.
- Rubins, U., Upmalis, V., Rubenis, O., Jakovels, D., & Spigulis, J. (2011). Real-time photoplethysmography imaging system. *IFMBE Proceedings*, 34, 183–186.
- Spigulis, J. (2012). Biophotonic technologies for non-invasive assessment of skin condition and blood microcirculation. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 49(5), 63–80.



- Rubins, U., Miscuks, A., Rubenis, O., Ertis, R., & Grabovskis, A. (2010). The analysis of blood flow changes under local anesthetic input using non-contact technique. *Biomedical Engineering and Informatics (BMEI) 2010 3rd International Conference*, 2, 601-604.
- Rubins, U., Spigulis, J., & Miscuks, A. (2013). Application of colour magnification technique for revealing skin microcirculation changes under regional anaesthetic input. *SPIE Proceedings*, 9032, 1-5.
- Marcinkevics, Z., Rubins, U., Zaharans, J., Miscuks, A., Urtane, E., & Ozolina-Moll, L. (2016). Imaging photoplethysmography for clinical assessment of cutaneous microcirculation at two different depths. *Journal of Biomedical Optics*, 21(3), 35005.



**100**  **LATVIJAS  
UNIVERSITĀTE**  
ANNO 1919

RĪGA 2019