



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE

**CILVĒKA FIZIOLOĢIJAS UN UZTVERES
AKTUĀLIE PĒTĪJUMI
2021. GADĀ**

RAKSTU KRĀJUMS



RĪGA 2021

ISBN 978-9934-23-512-2

Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2021. gadā.

Šajā izdevumā apkopoti LU FMOF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas un tās sadarbības partneru aktuālie pētījumi par cilvēka fizioloģiju un uztveri 2021. gadā. Pētījumi ir saistīti ar redzes zinātni un klīnisko optometriju.

Current Research in Human Physiology and Perception 2021

This collection of publications consists of studies done in Department of Optometry and Vision Science, the Faculty of Physics, Mathematics and Optometry of the University of Latvia. Research topics are related to vision science and clinical optometry.

Rakstu krājums sagatavots LU FMOF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā, 2021
Redaktori: Gatis Ikaunieks, Gunta Krūmiņa, Aiga Švede un Karola Panke.

ISBN 978-9934-23-512-2

Saturs

Digitālo ceļa reklāmu spožuma novērtēšanas metodes izstrāde G. Krūmiņa, L. Volberga, G. Ikaunieks, L. Naumovs	1
Ceļu digitālo reklāmu spožuma mērījumi Rīgā L. Volberga, G. Krūmiņa, L. Naumovs	19
Redzes asuma attālinātās pārbaudes pielietojums K. Kalniča-Dorošenko, M. E. N. Hammare, A. Švede	27
Acs akomodācijas traucējumu paredzamība pēc ORZN izstrādātās manuālā redzes skrīninga metodes J. Slabcova, G. Krūmiņa	31
Datortomogrāfijas attēlu aplūkošana volumetriskajā daudzplakņu ekrānā R. Livitčuka, T. Pladere, V. Barkovska, G. Krūmiņa	39
Papildinātās realitātes attēlu attāluma novērtējums V. Barkovska, T. Pladere, R. Zabels, R. Smukulis, L. Krauze, A. Švede, G. Krūmiņa	44
Skata pārneses parametri vizuālajā meklēšanā uz daudzplakņu volumetriskā ekrāna L. Krauze, V. Konošonoka, K. Zizlāne, T. Pladere, G. Krūmiņa	49
Sintonikas ietekme uz acs akomodāciju E. Šerpa, G. Krūmiņa	56
Liela aditīva multifokālo kontaktlēcu ietekme uz akomodācijas atbildi un redzes asumu gados jauniem pieaugušajiem T. Rumjanceva, E. Kassaliete, L. Zitmane, K. Detkova	62
Pretnoguruma kontaktlēcu ietekme uz akomodācijas atbildi L. Zitmane, E. Kassaliete	66
Radzenes epitēlija biezuma kartējuma izmaiņas mīksto kontaktlēcu lietotājiem, izmantojot optiskās koherences tomogrāfiju I. Petroviča, A. Švede, L. Salmiņa	71

Digitālo ceļa reklāmu spožuma novērtēšanas metodes izstrāde

Gunta Krūmiņa¹, Līva Volberga¹, Gatis Ikaunieks¹ un Lauris Naumovs²

¹Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

²VSIA "Latvijas Valsts ceļi", Ceļu aprīkojuma un sistēmas daļa, Rīga, Latvija
Gunta.Krumina@lu.lv

Anotācija

Pasaulē arvien plašāk pieaug LED tehnoloģiju izmantošana dažādās jomās, tai skaitā arī reklāmas stendos. LED pielietojums ceļa reklāmas stendu veidošanā paver jaunas iespējas – reklāmās var ievietot ne tikai tekstu un grafisko attēlu, bet var ievietot arī animāciju un video, kas padara reklāmas stendus atraktīvākus un vairāk piesaista cilvēku uzmanību. Taču tajā pašā laikā spožais digitālais ekrāns var radīt autovadītājiem apžilbumu vai novērst viņa uzmanību no ceļa, kas savukārt var būt cēloņi ceļa satiksmes negadījumam. Digitālie ceļu reklāmas ekrāni ir daudzkārt spožāki kā mums pazīstamie tradicionālie reklāmas stendi, ko izgaismo no ārpusē vai iekšpusē jeb saucamās gaismas kastes. Digitālo ceļa reklāmu stendu skaits pasaulē strauji pieaug, taču vienotas starptautiskās vadlīnijas vai normatīvi nav izstrādāti un katra valsts izstrādā savas normas, kas regulētu digitālo ceļa reklāmu izvietojumu ceļa malās un uz ēkām.

Pēc VSIA "Latvijas Valsts ceļi" pasūtījuma, pētījuma mērķis bija izstrādāt digitālo ceļu reklāmas ekrānu spožuma novērtēšanas metodi, ko varētu piemērot uzraudzības iestādes, izmantojot budžetam draudzīgas ierīces, piemēram, luksmetrus, un ko varētu izmantot reklāmas rādīšanas laikā. Mēs veicām literatūras pētījumu par ekrāna spožuma novērtēšanas metodēm, kā arī pārbaudījām OAAA (*Outdoor Advertising Association of America*) ieteikto metodi. Secinājām, ka tā nav pielietojama lielajiem ceļu reklāmas stendiem (virs 25 m²) un to radītā apgaismojuma novērtēšanai Latvijas apstākļos, jo pie mums un Eiropā digitālo reklāmu spožuma normas ir zemākas kā ASV. Aprēķinātais mērīšanas attālums ir liels un luksmetra sensora jutība nebija piemērojama tik maza radītā apgaismojuma novērtēšanai. Papildus izpētījām dažādu valstu ekrāna spožuma normas, cilvēka apžilbšanu un balstoties uz šīm zināšanām izstrādājām jaunu metodi. Metodes izstrāde balstīta uz autovadītāja redzes diskomforta novērtēšanu, pielietojot De Boer lieluma aprēķinu. De Boer lielums palīdz noteikt, cik lielā mērā spožuma avots, šajā gadījumā digitālais ekrāns, var radīt redzes diskomfortu autovadītājiem un apkārt dzīvojošiem iedzīvotājiem. Jo mazāka ir De Boer vērtība, jo mazāks ir redzes diskomforts, ko izjūt autovadītājs. Jaunā metode ir pielietojama dažāda lieluma digitālo ceļa reklāmu spožuma novērtēšanai reklāmas rādīšanas laikā un pielietojot luksmetru, kas nav dārga ierīce.

Atslēgas vārdi: autovadītājs, spožums, diskomforta žilbšana, apgaismojums, De Boer lielums, fotometrs, luksmetrs

Literatūras pārskats

Vides reklāmas ir attīstījušās vienlaicīgi ar attēlu atveides tehnoloģiju attīstību. Sākot no zīmējumiem uz piramīdām un ēkām līdz papīra plakātiem, neona zīmēm, plastmasas paneļiem, vinila plakātiem un pavisam nesen – digitālajiem ekrāniem. Reklāmas ir stratēģiski izvietot vietās, kur apgrozās daudz cilvēku. To mērķis ir sazināties un izplatīt informāciju, izmantot kā vizuālās izteiksmes līdzekli, kā arī raisīt domas, idejas un nodrošināt izpratni (*Chien, 2011*). Tūkstošs gadu laikā reklāmas pasniegšanas veidi ir mainījušies, taču to būtība un mērķis, nodot informāciju sabiedrībai, ir saglabājusies.

Mūsdienās vides reklāmas atrodas it visur mums apkārt, ietverot arī milzīgos reklāmas standus. Jaunās tehnoloģijas ir devušas iespēju attēlot dažādus attēlus uz jebkādas virsmas. Mūsdienās gaismu emitējošo diožu (*light emitting diode* – LED) ekrāni aizvien plašāk tiek izmantoti dažādās ierīcēs un objektos, tai skaitā reklāmas standos. Galvenās LED displeju priekšrocības, salīdzinot ar iepriekšējo paaudžu ekrāniem, ir to energoefektivitāte un kompakturnums. LED pielietojums reklāmas standu veidošanā paver jaunas iespējas – reklāmās var ievietot ne tikai tekstu un grafisko attēlu, bet var ievietot arī animāciju un video, kas padara standus atraktīvākus un vairāk piesaista cilvēku uzmanību. LED reklāmas standos var ātri nomainīt saturu, kā arī tos var labi saskatīt dienas gaišajā un tumšajā laikā, attiecīgi uzstādot nepieciešamo spožumu.

Saistībā ar LED tehnoloģiju plašāku pielietošanu dažādās jomās un salīdzinot ar iepriekšējām gaismas tehnoloģijām ir izmainījušies divi aspekti: (1) ir pieaudzis gaismas piesārņojums; (2) ir izmainījusies apgaismojuma krāsu temperatūra – apgaismojums – nomainījies no balti dzeltenā uz balti zilganāku, ko īpaši mana pilsētas ielās. Agrāk reklāmās izmantoja dažādus gaismas avotus – fluorescējošās, halogēna, metāla halogenīda lampas. Ja reklāmas stenda virsma bija ap 5 m² liela, tad tā radīja salīdzinoši zemu apgaismojumu no 0,5 lx līdz 5 lx (*Domke et al., 2012*). Šobrīd reklāmas standi kļūst arvien lielāki, tajos sāk izmantot LED tehnoloģijas un mums jāņem vērā, ka šo ekrānu spožums kļūst daudzkārt lielāks, kas var ietekmēt ceļu autovadītājus un varbūt potenciāls drauds satiksmes drošībai (*Domke et al., 2011*).

LED reklāmas standi ir daudz spožāki kā tradicionālie un mums ikdienā ierastie no ārpuses izgaismotie reklāmas standi. Šobrīd tirgū piedāvātiem LED reklāmas stendiem maksimālais spožums baltai gaismai var sasniegt pat 7 000-8 300 cd/m² (*Zalesinska & Wandachowicz, 2012; Zalesinska, 2018*). LED ekrānu spožums ir daudz lielāks, salīdzinot ar tradicionālo no ārpuses izgaismoto reklāmas standu (7-67 cd/m²) (*Zalesinska, 2018*) un no iekšpuses izgaismoto ekrānu jeb gaismas kasti (106-360 cd/m²) (*Zalesinska & Wandachowicz, 2013*).

Taču šie ekrāni ir radījuši arī jaunas problēmas – tie ir salīdzinoši spoži, līdz ar to, ja LED displeji nav atbilstoši noregulēti, tie var radīt žilbšanu. Spožie, lieli un atraktīvie LED reklāmas ekrāni, īpaši dienas tumšajā laikā, var radīt redzes diskomfortu autovadītājiem, jo novērš viņu uzmanību (*Young et al., 2009*) vai pat traucē saskatīt uz ceļu notiekošo. Pētījumā (*Lee et al., 2007*) parādīts, ka autobraucējs naktī vairāk uzmanību pievērš digitālām reklāmām nekā ceļa zīmēm vai tradicionāliem reklāmas stendiem. Tā kā starptautiskas vienotas vadlīnijas vēl nav izstrādātas, tad svarīgi ikvienai valstij izstrādāt savas vadlīnijas un normatīvos aktus LED reklāmas standu uzstādīšanai, lai rūpētos par ceļu satiksmes drošību un cilvēku labsajūtu dzīvojot atraktīvā pilsētā.

Ceļu reklāmu galvenā būtība ir pievērst ceļu satiksmes dalībnieku uzmanību, jo īpaši līdzbraucēju. Taču nereti gadās, ka arī autovadītāju uzmanība tiek novērsta uz neilgu laiku (*Lee et al., 2007; Young et al., 2009*) un tas var radīt bīstamas situācijas uz ceļa. Pēc Pasaules Veselības organizācijas datiem, ik gadu satiksmes negadījumos pasaulē iet bojā ap 1,35 miljoni cilvēku (*WHO, 2018*). Naktī negadījumu skaits un sekas ir daudz vairāk ierobežotās redzamības dēļ (*Regev et al., 2018*). Liela daļa no satiksmes negadījumiem ir saistīti ar autovadītāju nepietiekamu uzmanību notiekošajam uz brauktuves. Piemēram, analizējot smagus auto negadījumus Austrālijā laika posmā no 2000. līdz 2011. gadam, vairāk kā puse no negadījumiem ir saistāmi ar vadītāju neuzmanību (*Beanland et al., 2013*).

Née et al. (2019) Francijā veica pētījumu, kurā iztaujāja pēc auto negadījumiem slimnīcā nokļuvušos autovadītājus. Cietušajiem autovadītājiem tika prasīts, vai auto avārija bija saistīta ar

neuzmanību un, ja atbilde bija apstiprinoša, tad vadītājam tika lūgts precizēts, tieši kas bija novērsis viņa uzmanību no auto vadīšanas. Visbiežāk dalībnieki minēja vizuālos uzmanību novērsošos faktorus (autovadītājs uz brīdi bija novērsis skatienu no ceļa). Citi pētījumi ir parādījuši, ka skatiena novēršana no ceļa palielina risku izbraukt ārā no savas braukšanas joslas (Peng et al., 2013) un aizkavēt reakciju uz negaidītiem notikumiem uz ceļa, piemēram, negaidīta priekšā braucošā auto bremzēšana vai gājēja parādīšanās uz ceļa (Dozza, 2013).

Kā jau minēts iepriekš, viens no vizuālajiem uzmanību novērsošajiem faktoriem autovadītājiem ir ceļa malās novietotie reklāmu ekrāni. Šiem digitālajiem reklāmas stendiem var būt divejāda negatīva ietekme uz autovadītāju:

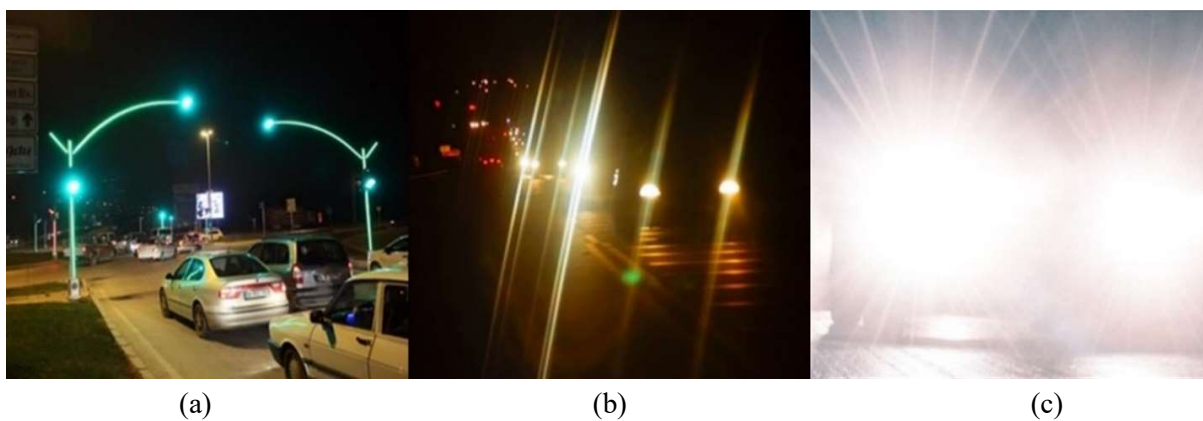
- digitālie reklāmas ekrāni novērš autovadītāju uzmanību vairāk nekā parastās ceļa zīmes (Dukic et al., 2013), tāpēc ir svarīgi izvērtēt reklāmas saturu un ekrāna atrašanās vietu ceļa malā;
- pārāk spožs reklāmas ekrāns var apžilbināt autovadītāju (Zalesinska, 2018).

Nemot vērā LED ekrānu lielo spožumu, daudzas valstis ir izstrādājušas regulas, kuras nosaka LED reklāmas displeju maksimāli pieļaujamo spožumu. Visbiežāk šajās regulās ir norādījumi uz LED reklāmas ekrānu maksimālo spožumu diennakts gaišajā un tumšajā laikā, dažās valstīs pieļaujama ekrāna spožums ir atkarīgs no tā, vai reklāma ir novietota apdzīvotā vietā vai ārpus tās. Tāpat tiek ierobežots arī tas, cik tuvu LED displejs ir novietots ceļam. Dažās valstīs tiek ierobežoti šo ekrānu maksimālie izmēri (Zalesinska, 2018).

Kā LED ekrānu spožums var ietekmēt autovadītājus? Pētījumi laboratorijas apstākļos ir parādījuši, ka, pieaugot perifērijā novietotu ekrānu spožumam, pieaug autovadītāju reakcijas laiks uz dažādiem simulētiem notikumiem uz ceļa (gājēja parādīšanās utt.), jo autovadītājam ir grūtāk saskatīt uz ceļa notiekošo (Zalesinska, 2018).

LED stendi autovadītāju var ne tikai apžilbināt, bet radīt diskomfortu jeb diskomforta žilbšanu. Taivānā zinātnieki veica pētījumu, kā vadītāju komforta sajūta mainās atkarībā no LED ekrāna leņķiskā izmēra, tā spožuma un attēla mirgošanas ātruma (Lin et al., 2014b). Mērījumi tika veikti laboratorijas apstākļos un tajā autovadītājiem subjektīvi bija jānovērtē savas sajūtas pie dažādiem mērījumu apstākļiem. Sajūtu novērtēšanai tika izmantota De Boer skala, kurā sajūtas ir uzskatāmas kā komfortablas, ja vērtējums tajā ir 5 punkti un vairāk. Šāds vērtējums dalībniekiem bija tikai pie zemākā mērījumos izmantotā LED ekrāna spožuma (505 cd/m^2) un mazākā ekrāna leņķiskā izmēra (9,2 grādi). Šāds leņķiskais izmērs ir ekrānam, kurš no novērotāja atrodas 30 m attālumā un tā platums ir ~5 m. Savukārt vislielākais diskomforts pētījuma dalībniekiem bija pie ekrāna mirgošanas ar frekvenci 16 Hz (periods 0,06 s). Līdz ar to ir svarīgi, rādot kustīgu reklāmu, pievērst uzmanību tam, ka tā nerada nepatīkamu gaismas mirgošanu. Lin et al. (2014b) pētījums parādīja, ka ir svarīgi LED ekrāna stendi ierobežot gan to maksimālo spožumu, to izmērus un animācijas kustības ātrumu.

Viens no negatīviem aspektiem, ko tieši rada LED reklāmu stendi, ir autovadītāju žilbšana. Arī Latvijā ir parādījušās šoferu sūdzības par LED reklāmas ekrānu radīto žilbšanu, sevišķi diennakts tumšajā laikā. Žilbšanu klasificē dažādi. Viens no dalījumiem ir pēc tā, vai tā pasliktina redzi vai tikai rada redzes diskomfortu (skat. 1.att.). Šos abus žilbšanas veidus apzīmē sekojoši (Vos, 2003; Schreuder, 2008): (1) diskomforta žilbšana (*discomfort glare*); (2) redzes funkcijas pasliktinošā žilbšana (*disability glare*) un (3) totāla apžilbšana (*dazzling glare* vai *blinding glare*). Visi trīs žilbšanas veidi ietekmē satiksmes drošību, sevišķi redzes funkcijas pasliktinošā žilbšana.



1.att. Cilvēka apžilbšanas piemēri – (a) diskomforta žilbšana; (b) redzes funkciju pasliktinošā žilbšana; (c) totālā žilbšana.

Diskomforta žilbšana

Diskomforta žilbšanu rada pārāk liels vai strauji mainīgs apgaismojums. Pie šī žilbšanas veida redzes funkcijas nav būtiski samazinātas. Diskomforta žilbšana rada cilvēkam nepatīkamas sajūtas, viņš var sākt miegt acis, biežāk tās mirkšķināt, var sākties asarošana. Diskomforta žilbšana var vājināt cilvēka koncentrēšanās spējas, tāpēc arī šo žilbšanas veidu ir svarīgi novērtēt autovadītājiem. Diskomforta žilbšanas stiprums ir atkarīgs no apgaismojuma acs plaknē, fona spožuma un leņķa, kādā gaismas avots atrodas no novērotāja (*Lin et al., 2014a*). Palielinot distanci un leņķi līdz diskomfortu izraisošajam gaismas avotam, būtiski samazinās autovadītāja diskomforta līmenis (*Mehri et al., 2017*).

Diskomforta žilbšana, tāpat arī redzes funkcijas pasliktinošā žilbšana, ir atkarīga no tā, kādiem apgaismojuma apstākļiem ir adaptējusies acs. Cilvēka žilbšanas sliekšnis ir atkarīgs no adaptācijas spožuma (*Schreuder, 2008*). Pētījumos tiek minēts, ka ieteicamajam reklāmas stendu spožumam būtu jābūt ne vairāk kā 10 līdz 40 reizu lielākam kā apkārtējā fona spožumam, lai tas nežilbinātu autovadītājus (*Oviedo-Trespalacios et al., 2019*).

Diskomforta žilbšanu ir grūtāk novērtēt kā redzes funkcijas pasliktinošo žilbšanu. Izplatītākais veids, kā tā tiek novērtēta, ir prasot cilvēkam viņa sajūtas un liekot diskomforta līmeni novērtēt pēc De Boer skalas (*Fekete et al., 2010*). Diskomforta stiprums šajā skalā tiek iedalīts no 1 līdz 9, kur 9 ir vismazākais diskomforta līmenis un 1 ir visspēcīgākais diskomforts. Diskomforta stiprumu uz gaismu dažkārt novērtē, liekot cilvēkam izvēlēties mazāko spožumu, pie kura viņam sāk rasties nepatīkamas sajūtas (*Zivcevska et al., 2018*).

Fekete et al. (2010) novērtēja diskomforta līmeni atkarībā no gaismas viļņa garuma daudz detalizētāk nekā iepriekš minētajā pētījumā pie dažādiem gaismas viļņa garumiem. Rezultāti parādīja, ka visspēcīgāko diskomfortu cilvēki izjuta pie viļņa garumiem ap 500 nm, ko vēl var uzskatīt par īsajiem gaismas viļņiem. Pētījumi (*Fekete et al., 2010; Zivcevska et al., 2018*) rāda, ka īsie gaismas viļņi rada spēcīgāku redzes diskomfortu kā garie gaismas viļņi. Līdz ar to LED displeji, izstarojot palielinātu zilās gaismas daudzumu, var pastiprināt žilbšanas sajūtu autovadītājiem.

Pieprasījums pēc šādiem ekrāniem reklāmas jomā pieaug, t.sk., arī Latvijā, un tiek prognozēts, ka to skaits strauji pieaugs līdz 2025. gadam (*Letang & Stillman, 2020; Stone, 2021*). Tas nozīmē, ka tie aizstās parastos no ārpuses izgaismotos stendus un radīs papildu traucēkļus autobraucējiem, īpaši tumšajā diennakts laikā. Tā kā Latvijā arvien vairāk tiek saņemtas sūdzības no autovadītājiem par ceļa malās uzstādītajām LED reklāmām, VSIA Latvijas valsts ceļi pasūtīja pētījumu, lai Latvijas Universitātes redzes pētnieku zinātniskā grupa izstrādā priekšlikumus Ministru kabineta noteikumu grozījumiem attiecībā uz digitālo reklāmas ekrānu spožuma normām, un projekta galvenais mērķis bija izstrādāt ekrāna parametru (spožuma vai radītā apgaismojuma) novērtēšanas metodi, ko varētu pielietot uzraugošās iestādes, pielietojot nedārgas ierīces, piemēram, luksmetru vai telefonos iebūvētās iespējas radītā apgaismojuma novērtēšanai. Šajā aprakstā aplūkosim tikai metodes izstrādi.

Metode

Pētījuma metode ir iedalāma četros posmos: (1) citu valstu vadlīniju un reglamentējošo normatīvu izpēte attiecībā uz ekrāna spožuma normām; (2) literatūras izpēte par cilvēka diskomforta žilbšanu un kā to ietekmē liela izmēra ekrāni vai gaismas objekti, piemēram, ceļu reklāmas; (3) spožuma un radītā apgaismojuma novērtēšanas metodiku izpēte un atbilstošākās metodes testēšana; (4) ja attiecīgā metode nav pielāgojama, izstrādāt jaunu pieeju ekrāna radītā apgaismojuma novērtēšanai ceļa reklāmas darbība laikā (šis uzdevums tika izveidots papildu pētījuma laikā, jo tika konstatēts, ka (3) uzdevumu nav iespējams pielietot Latvijas apstākļiem).

Ir apskatīti starptautiskā tīmekļa vidē pieejamie materiāli par 23 valstu vadlīnijām vai normatīvajiem aktiem, kas apraksta un regulē ceļa reklāmu izvietojumu, dažādus parametrus, tai skaitā arī reklāmas ekrānu spožuma maksimālās pieļaujamās normas. *Boets et al.* (2016) projektā tika apkopoti 18 Eiropas valstu, Austrālijas un Jaunzēlandes vadlīnijas un likumi par digitālo reklāmu izvietojumu, tehniskiem parametriem, t.sk. arī spožuma normām. *Mississauga* (2017) aprakstā ir apkopotas vadlīnijas par Kanādas pilsētas Misisogas reklāmas ieteikumiem un *OMA* (2014) dokumentā – par ASV štatiem. Vadlīnijas un likumi tikai strukturēti un iedalīti, balstoties pēc *Roberts et al.* (2013) izvietojuma un reklāmas dizaina kritērijiem, lai varētu sagatavot priekšlikumus MK noteikumiem attiecībā uz digitālo ekrānu parametriem un reklāmas rādīšanu.

Gaismas avotu izraisītās diskomforta žilbšanas novērtēšana

Diskomforta žilbšanas novērtējums ir salīdzinoši sarežģīts process. Vislabāk to var novērot, aptaujājot lielu skaitu dalībnieku un liekot novērtēt savu diskomforta žilbšanas stiprumu pēc kādas no izstrādātajām diskomforta žilbšanas skalām. Viena no zināmākajām ir De Boer skala (*De Boer*, 1967). Šajā skalā diskomforta stiprums ir iedalīts no 1 līdz 9, kur 9 ir vismazākais diskomforta līmenis un 1 ir visspēcīgākais diskomforts (*De Boer*, 1967). Tomēr šādām skalām ir vairāki trūkumi, jo gaismas avotu radītā diskomforta žilbšana var mainīties atkarībā no tā, cik sarežģīti ir braukšana apstākļi un cik labi ir izveidota ceļu infrastruktūra. Līdz ar to šīs skalas ne vienmēr precīzi raksturo to, cik traucējošu var būt gaismas avoti, kuri atrodas auto vadītāja redzes laukā (*Theeuwes et al.*, 2002).

Literatūrā ir atrodami vairāki modeļi, ar kuru palīdzību ir iespējams aprēķināt, cik lielu diskomforta žilbšanu pēc De Boer skalas var radīt gaismas avots. Vienu no šādiem modeļiem piedāvā *Bullough et al.* (2008) un *Bullough & Hickcox* (2012):

$$DG = \log(E_L + E_S) + 0,6 * \log \left[\frac{E_L}{E_S} \right] - 0,5 * \log(E_A), \quad [1]$$

kur DG – diskomforta žilbšanu raksturojošs lielums; E_L – gaismas avota radītais apgaismojums (lx); E_S – ap gaismas avotu esošā fona apgaismojums (lx); E_A – apkārtnes apgaismojums (lx). Šajā modelī, zinot lielumu DG , ir iespējams aprēķināt diskomforta žilbšanu pēc De Boer skalas (DB):

$$DB = 6,6 - 6,4 * \log(DG). \quad [2]$$

Ar reāli iegūtiem De Boer skalas vērtējumiem šis modelis uzrāda korelāciju $R=0,84$ (*Lin et al.*, 2014b).

Specifisks aprēķins, ko izmanto cilvēka žilbšanas aprēķinam no ceļa reklāmām, nav literatūrā atrodams, jo agrāk lietotie dažādie aprēķini ir balstīti uz punktveida gaismas avotiem. Ceļu reklāmas ir ekrāni, kuri nav pielīdzināmi punktveida gaismas avotam, taču tā kopējais spožums (cd) ir pietiekami liels, lai žilbinātu cilvēku ar savu lielo, spožo laukuma vienību.

Izvērtējām pielietot arī citus žilbšanas aprēķinus, piemēram, gaismas objektu radīto žilbšanu iekštelpās. Šeit tiek raksturota gaismas avota radītā žilbšana pielietojot unificēto žilbšanas parametru UGR (*Unified Glare Rating*) un to arī varētu daļēji pielietot cilvēka žilbšanas novērtēšanai autobraucējiem, jo tiek ņemts vērā gaismas avota lielums, tiesa gan steradiānos (sr), ko var aprēķināt, ja zina gaismas objekta laukumu. Tas tiek aprēķināts pēc sekojošas formulas:

$$UGR = 8 * \log \left[\frac{0,25}{L_B} * \sum \frac{L^2 * \omega}{P^2} \right], \quad [3]$$

kur L_B – fona spožums (cd/m^2); L – gaismas avota spožums (cd/m^2), P – Guth jeb pozīcijas indekss, kas raksturo gaismas avota novietojumu attiecībā pret novērotāju; ω – gaismas avota telpiskais leņķis (sr), noteikts no novērotāja pozīcijas (Sawicki & Wolska, 2016). Ofisa telpās rekomendējamais UGR lielums ir mazāks kā 16, savukārt kāpņu telpās mazāks kā 25. Par pamanāmu žilbšanu jau uzskata, ja aprēķinātais UGR lielums ir 19.

Literatūrā ir atrodamī arī modeļi, kuri ir pielāgoti gaismu emitējošo diožu LED radītā diskomforta žilbšanas novērtējumam (Lin et al., 2014b):

$$DB = 3,45 - \log \left[\frac{(L * \omega)^{2,21}}{L_B^{1,02} * \theta^{1,62}} \right], \quad [4]$$

kur DB – diskomforta žilbšanas stiprums De Boer skalā, L – gaismas avota spožums (cd/m^2), L_B – fona spožums (cd/m^2), ω – gaismas avota telpiskais leņķis (sr), noteikts no novērotāja pozīcijas, θ – leņķis starp gaismas avotu un novērotāju (grādi).

Šī modeļa izstrādātāji salīdzināja reāli nomērītās De Boer vērtības dažādiem gaismas avotiem ar teorētiski izrēķinātajām vērtībām, izmantojot formulu [4]. Rezultāti uzrādīja Pīrsona korelāciju $R=0,87$ (Lin et al., 2014b).

Rezultāti

Digitālo ceļa reklāmas ekrānu parametru noteikšanas metodes

Šajā nodaļā ir aprakstītas trīs metodes, kuras var pielietot, lai novērtētu ceļa reklāmas stendu spožumu. Ar fotometru veic visprecīzākos mērījumus un šo metodi mēs iesakām kā pamata metodi, kā arī fotometru var izmantot dienas laikā. Savukārt pārējās divas metodes tiek veiktas ar luksmetru un tikai tumšajā diennakts laikā. To precizitāte ir mazāka, taču metodes var pielietot, lai novērtētu konkrēto situāciju, ja gadījumā ir ienākušas sūdzības no apkārt dzīvojošiem cilvēkiem vai autobraucējiem. Katrai metodei ir uzskaitītas gan priekšrocības, gan trūkumi, ar ko jāreķinās reklāmas stendu spožuma novērtēšanas speciālistiem.

Pirmās divas metodes vairāk piemērotas, uzstādot digitālos reklāmas stendus un gaismas objektus, savukārt ekrāna spožuma kontroles nolūkos var pielietot trešo metodi.

Metode Nr.1: Ekrāna spožuma novērtēšana ar fotometru

Fotometrijas metode ir visprecīzākā, lai novērtētu ekrāna spožumu. Fotometru darbības diapazons, to mērījumu precizitāte un kvalitāte ir atkarīga no ražotāja. Par labākām fotometra ierīcēm tiek uzskatītas *Konica Minolta LS-100/110, LS-150/160* (Japāna), kuras ir kalibrētas balstoties uz CIE standartiem. Ierīces ir rokās turamas, vienkārši lietojamas un izmantojamas arī ārā no 0°C līdz 40°C temperatūrai, vēlams pie mitruma ne vairāk kā 80 %.

Tā kā apžilbšana autobraucējiem var rasties no spožas reklāmas, tad svarīgi ir novērtēt maksimālo ekrāna spožumu un attiecīgi to pieregulēt pēc izstrādātām vadlīnijām vai normatīviem aktiem. Pieregulēšanu būtu jāveic, uzstādot LED reklāmas ekrānu, un vismaz reizi pusgadā jāpārlicinās, vai tīrās baltās krāsas spožums nepārsniedz noteiktās normas. Veicot testēšanu ar fotometru, ekrānam spožumu var mērīt gan gaišajā, gan tumšajā diennakts laikā. Fotometra mērījumus ļoti maz ietekmē apkārtējais fona apgaismojums.

Lai pareizi novērtētu ekrāna maksimālo spožumu, tad uz ekrāna jābūt tīra baltā krāsa (R 255, G 255, B 255) un jāieslēdz maksimālais ekrāna spožums. Ja ekrāna spožums pārsniedz vadlīnijās vai normatīvos noteiktās normas, tad ekrāna spožums jāsamazina tik tālu līdz tas atbilst noteiktajiem lielumiem.

Ar fotometru iegūtie mērījumi visprecīzāk raksturo ekrāna spožumu cd/m^2 . Taču jāatceras, jo lielāks ekrāns, jo kopējais ekrāna spožums (cd) būs daudzārt lielāks nekā maza ekrāna izmēra gadījumā. Līdz ar to pie viena un tā paša spožuma uz kvadrātmetru lielākais ekrāns vairāk žilbinās autobraucēju nekā mazais ekrāns. Tādēļ ierosinām iestrādāt vadlīnijās un normatīvos aktos ekrāna spožuma maksimālās vērtības atkarībā no ekrāna lieluma un apkārtējās vides apgaismojuma līmeņa.

Metodes Nr.1 Priekšrocības

- Mērījumus var veikt jebkurā diennakts laikā.
- Uzreiz tiek novērtēts ekrāna spožums (cd/m^2), kas ir noteikts vadlīnijās un normatīvos aktos.
- Nav jāveic specifiski aprēķini.
- Var mērīt dažādos attālumos, atkarīgs no mērierīces ieteicamā attāluma un vēlams pēc iespējams perpendikulāri ekrāna virsmai.

Metodes Nr.1 Trūkumi

- Ja mērījumus veic reklāmas rādīšanas brīdī, tad ir grūti notvert mirkli, kurā ir redzama tīri balta krāsa, lai arī ar aci skatoties mums šķitīs, ka tā ir maksimāli spožākā krāsa.
- Ja ierīcei nav iespējams mainīt mērīšanas laiku, tad var neiekļauties baltās krāsas rādīšanas laikā un samērīt vairāku krāsu vidējo intensitāti.
- Mērīšanas mērķis atrodas nelielā kustībā, ja fokusē uz ekrānu no paliela attāluma un bez ierīces statīva izmantošanas.

Metode Nr.2: Ekrāna radītā apgaismojuma novērtēšana ar luksmetru (OAAA metode)

Amerikas Ārtelpu reklāmu asociācija (*Outdoor Advertising Association of America – OAAA*) un Starptautiskā ceļa zīmju asociācija (*International Sign Association Association – ISA*) ir izstrādājušas un publicējušas metodes. Šo metodes pielieto ASV elektronisko ziņojumu centru (*Electronic message centres – EMC*) spožuma novērtēšanai, izmantojot luksmetru. Ziemeļamerikas inženiertehniskās apvienības (*Illuminating Engineering Society of North America – IES*) bijušais valdes loceklis I.Levins (*I.Lewin*) savā laikā izstrādāja šo metodes un normas. Pēdējā vienošanās bija par īstenojamu un saprātīgāku pieeju, lai EMC būtu pietiekami pamanāmi, bet ne pārāk spoži un lai netraucētu ceļu satiksmei. EMC ir ieteicams būt ne spožākiem kā 0,3 kandelas uz pēdu (*foot-candles*) jeb ~3,2 luksi virs apkārtējā vides apgaismojuma līmeņa. Mērījumi tiek veikti ieteicamajā attālumā, kas noteikti, ņemot vērā reklāmas stenda laukumu (*Lewin, Nedatēts; Wachtel, 2014; ISA, 2016*). Lai iegūtu mērījumus, ir jāveic šādi pasākumi:

- Digitālā reklāmas stenda radītā apgaismojuma daudzumu mēra ar luksmetru, kura mērskala ir kandelas uz pēdu un ar precizitāti līdz divām zīmēm aiz komata. Mērījumus jāveic tumšajā diennakts laikā.
- Sākumā mērījumus veic ar izslēgtu digitālo reklāmas ekrānu (melns ekrāns) un pēc tam ieslēgtu ekrānu, kas projicē tikai baltu krāsu un ar ieslēgtu maksimālo ekrāna spožumu.
- Nosaka reklāmas izgaismotās daļas laukumu, reizinot augstumu ar platumu. Mērījumus veic pēdās.
- Nosaka attālumu, kurā veiks mērījumus ar luksmetru, izmantojot formulu:

$$\text{distance [ft]} = \sqrt{S * 100} \quad [5]$$

kur S ir ekrāna laukums (kvadrātpēdās – *sq.ft.*).

- Attālumu mēra cik vien iespējams perpendikulāri reklāmas stenda virsmai. Lāzera mērītājs vai specifiskas viedtālruņa aplikācijas pielietošana ir labākais veids kā noteikt precīzu attālumu. Var izmantot arī citus attāluma noteicējus.
- Radītā apgaismojuma mērījumus veic atkārtoti, ieslēdzot balto gaismu un izslēdzot pavisam ekrānu. Katru reizi tiek novērtēta starpība starp balto un melno ekrānu. Ja noteiktā starpība nav lielāka par 0,3 kandelām uz pēdu, tad ekrānam ir atbilstošs spožums attiecīgajā vidē. Ja tomēr starpība starp balto un melno ekrānu ir lielāka, tad veic baltās gaismas spožuma samazināšanu un mērījumus veic atkārtoti, līdz tiek sasniegts apgaismojuma starpības sliksnis.

- Ja kontroles dienestam nav pieeja vai sadarbība ar ekrāna uzstādītājiem un ekrānu nevar izslēgt un nodrošināt maksimālo balto krāsu, tad var veikt aptuvenus mērījumus un tos veic ar asistenta piesaisti.
- Asistents apmēram 7 līdz 10 pēdu attālumā no luksmetra tur melnu plāksni. Tai jānosedz visa no reklāmas ekrāna nākošā spožā gaisma, proti, nedrīkst pa malām redzēt, kas ir atspoguļots uz ekrāna. Taču apkārt esošo vides apgaismojumu šai plāksnei nevajadzētu bloķēt.
- Mērierīci tur 5 pēdu augstumā, kas aptuveni atbilst cilvēka acu augstumam. Mērierīces sensors jātur perpendikulāri pret reklāmas stenda virsmu paralēli, lai iegūtu maksimālo sensora izgaismojumu. Kritiski jānovērtē, vai blakus esošais apgaismojums (laternas, citi reklāmas stendi) netraucē veikt mērījumus.
- Veic apkārtējās vides apgaismojuma mērījumu. Pēc tam plāksni noņem un tieši tajā pašā pozīcijā veic otru mērījumu, kas ietver arī reklāmas radīto apgaismojuma daudzumu. Starpība starp fona apgaismojumu un reklāmas radīto apgaismojumu nedrīkst pārsniegt 0,3 kandelas uz pēdu.

Asociācija ir izstrādājusi arī ieteicamās apkārtējās vides apgaismojuma normas atbilstoši vides zonējumam (skat. 1.tab.). Lai noteiktu ekrāna maksimālo vidējo spožumu radīto iespaidu uz cilvēka redzi jeb radīto apgaismojumu acu līmenī (*eye illuminance* – E_V), tad to var aprēķināt pēc sekojošas formulas:

$$L_{max} [cd/m^2] = \frac{d^2 * E_V}{S} \quad [6]$$

kur d – attālums no mērījuma veicēja acu plaknes līdz reklāmas stendam (m); E_V – apgaismojuma līmenis mērītāja acu līmenī (skat. 1.tabulu); S – reklāmas stenda laukums (m^2).

1. tabula

Četras dažādas acu apgaismojuma robežas atkarībā no vides zonām, sākot no ļoti zemas izgaismotas apkārtējās vides zonas līdz daudz izgaismotai apkārtējai videi.

Zona	Acu apgaismojuma normas	
	(fc)	(lx)
E1	0,1	1,1
E2	0,3	3,2
E3	0,8	8,6
E4	1,5	16,2

Metodes Nr.2 Priekšrocības

- Luksmetra cena salīdzinot ar fotometru ir mazāka.
- Pie izslēgta ekrāna ir iespējams precīzāk novērtēt apkārtējās vides radīto apgaismojuma līmeni.

Metodes Nr.2 Trūkumi

- Metode ir neprecīza, jo netiek noteikts spožuma līmenis (cd/m^2), bet tiek noteikts radītā apgaismojuma līmenis, kas ir atkarīgs no mērīšanas attāluma.
- Jāveic specifiski aprēķini: (1) jānosaka precīzi ekrāna laukums, (2) jāaprēķina mērīšanas attālums.
- Luksmetrs jāuzstāda uz stabilas virsmas, jo rokas nelielās kustības ietekmē mērījumu iegūšanu.

- Ja mērījumus veic reklāmas rādīšanas brīdī, tad ir grūti notvert mirkli, kurā ir redzama visspožākā reklāma un mērījumi būs atkarīgi no reklāmas krāsu kompozīcijas.
- Ja ierīcei nav iespējams mainīt mērīšanas laiku, tad var neieklāties visgaišākās reklāmas rādīšanas laikā un samērīt vairāku krāsu vidējo intensitāti.
- Mērīšanas mērķis atrodas nelielā kustībā, ja fokusē uz ekrānu no paliela attāluma un bez ierīces statīva izmantošanas.
- Mērīšanas apstākļus ietekmē blakus esošie gaismas objekti, piemēram, laternas.

Metode Nr.3: Ekrāna radītā apgaismojuma novērtēšana ar luksmetru (mūsu izstrādātā)

Izvērtējot gan praktiski, veicot mērījumus ar Pierīgas lielajām reklāmām (virs 50 m²), gan arī veicot teorētiskos aprēķinus, nonācām pie secinājuma, ka OAAA metodei ir arī savi trūkumi no teorētiskā pamatojuma puses. Proti, aprēķinot mērīšanas attālumus vadoties no ekrāna laukuma (skat. formulu [5]), tas katrai reklāmai ir atšķirīgs. Savukārt aprēķinot kādam būtu jābūt ekrāna spožumam, lai attiecīgā attālumā novērtējot ekrāna radītā apgaismojuma un apkārtējā fona atšķirību tā nepārsniegtu 0,3 kandelas uz pēdu, tas ir konstants un nav atkarīgs no ekrāna lieluma. Teorētiskais maksimālais pieļaujamais ekrāna spožums ir 820 cd/m² (skat. 2.tabulu), ja reklāmas ekrāns tiek uzstādīts E4 jeb izgaismotā pilsētas vidē (pieņemot, ka fona apgaismojums ir 5 lx tumšajā diennakts laikā).

2.tabula



Apdzīvotās vides zonu iedalījums, noteiktais maksimālais ekrāna spožums (L) pēc OAAA izstrādātās metodes, aptuvenais zonas apgaismojums tumšajā diennakts laikā (E).

Zona	L (cd/m ²)	E (lx)
E1 (daba)	320	5
E2 (ciems)	420	2
E3 (piepilsēta)	520	1
E4 (pilsēta)	820	0

Jo lielāks ir reklāmas stenda laukums, jo tas vairāk žilbina cilvēku, ja spožums paliek konstants. Līdz ar to šo metodi mēs nesaskatām par piemērotu Latvijas apstākļiem, kurā tumšais diennakts laiks ziemas periodā sasniedz pat 18 stundas. Zināšanas par redzes sistēmu palīdzēja izstrādāt jaunu pieeju gan reklāmas ekrāna spožuma (cd/m²) normu izstrādei, gan radītā apgaismojuma noteikšanai ar luksmetru.

Apkārtējās vides apgaismojuma līmenis veido reklāmas stendam apkārtējo fonu. Reklāmas stenda apkārt esošo apgaismojumu ietekmē lampu izvietojums ceļa malās, apkārtējo ēku izgaismojums. Jo būs tumšāka apkārtnē, jo reklāmas stenda nelielais spožums būs labāk pamanāms un arī var vairāk pievērst autobraucēju uzmanību. Ieteicamais apkārtējās vides iedalījums¹ pēc apgaismojuma līmeņa atspoguļots 2.attēlā.

¹ Eiropas standarti EN 12464-2 – regula attiecībā uz gaismas ‘piesārņojumu’ jeb uzmācīgo gaismu

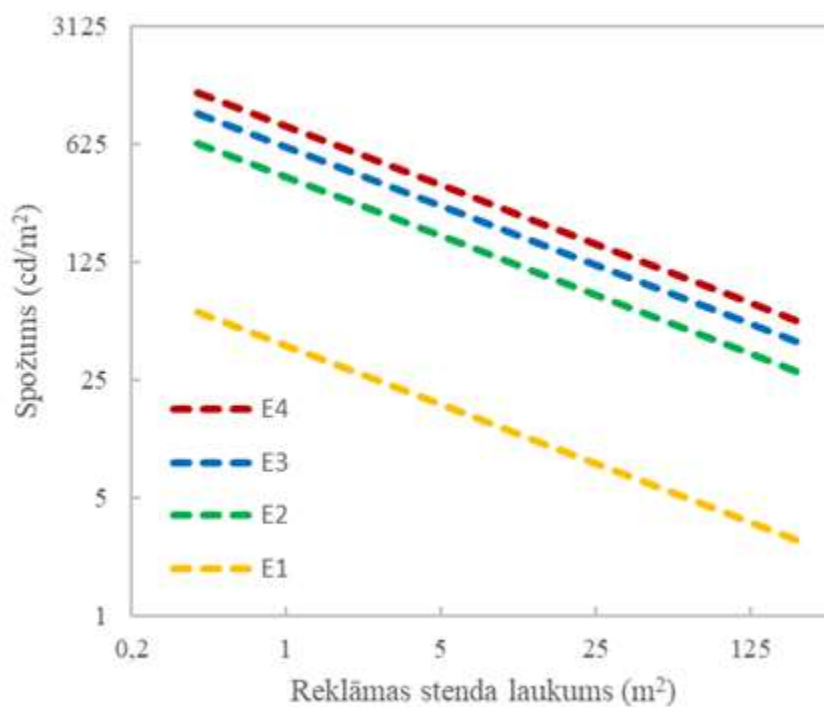
Zona	Apkārtne	Apgaismojums	Piemēri
E1	Daba	Pilnīgi tumšs	
E2	Ciems	Ļoti vājš	
E3	Piepilsēta	Vidējs	
E4	Pilsēta	Liels	

2.att. Apkārtējās vides apgaismojuma līmeņa iedalījums un piemēri.

Pirms metodes eksperimentālās pārbaudes veicām arī teorētiskos aprēķinus. Par pamatu izmantojām Nīderlandes pieeju, taču ekrāna laukuma un spožuma sakarības izveidojām balstoties uz matemātiskiem aprēķiniem (skat. 3.att.):

$$L [cd/m^2] = k/\sqrt{S}, \quad [7]$$

kur L ir ekrāna spožums (cd/m^2), k – attiecīgās apkārtējās vides koeficients (skat. 3.tab.), S – ekrāna laukums (m^2).



3.att. Teorētiskais aprēķins reklāmas ekrānu spožumam atbilstoši apkārtējās vides zonai. Rezultātu labākai atspoguļošanai izmantotas logaritmiskās skalas (x un y) pie bāzes 5.

Teorētisko aprēķinu koeficienti attiecīgajai apdzīvojamās vietas specifikai.

Zona	k
E1	40
E2	400
E3	600
E4	800

Lai pārbaudītu, vai aprēķinātie spožuma līmeņi vismaz teorētiski neradītu diskomforta žilbšanu, tad novērtējām kritiskiem attālumiem arī de Boer lielumu, pielietojot [1] un [2] formulu. De Boer lielums bija 4,7-4,9, kas ir tuvu robežai starp netraucējošu un traucējošu žilbšanu un ko ir savā laikā izstrādājuši un ieviesuši vairāki pētnieki, nedefinējot, ka “5-tikko traucējošs apžilbums” pēc de Boer skalas (*Sammarco et al.*, 2010; *Lin et al.*, 2014a). Pieņemot, ka uz piepilsētas ceļiem reklāma stends (50 m²) atrodas 15-17 m no ceļa malas un tas ir vistuvākais attālums, kad autobraucējam tā būs redzes perifērijā. Lai arī gaismas objekts projicējas tīklenes perifērijā, vienalga tas rada tīklenes apgaismojumu un šajā gadījumā de Boer lielums būs 5.1, ja autobraucējs brauks pa E3 zonu (fona apgaismojums 2 lx, reklāmas spožums 75 cd/m²). Savukārt pilsētā de Boer koeficients ir kritiski zems, jo attālumi, kuros var atrasties reklāmas, ir daudz tuvāk autobraucēja redzes plaknei. Līdz ar to liela izmēra reklāmas stendi būtu jānovieto virs autobraucēju skata leņķi lai, tuvojoties tiem, mašīnas karkass tos piesegtu un nežilbinātu autovadītāju.

Jauno izstrādāto metodi var pielietot reklāmas ekrānu aptuvenai spožuma novērtēšanai reklāmas darbības laikā un kā mērāmo lielumu izmanto ekrāna radītā apgaismojuma lielumu attiecīgā attālumā. Metode nav tik precīza kā novērtējot spožumu ar fotometru, taču ar to var izvērtēt, vai tiek kādā brīdī pārsniegtas noteiktās normas un var pārbaudīt vai sūdzības par ekrāna spožumu ir pamatotas.

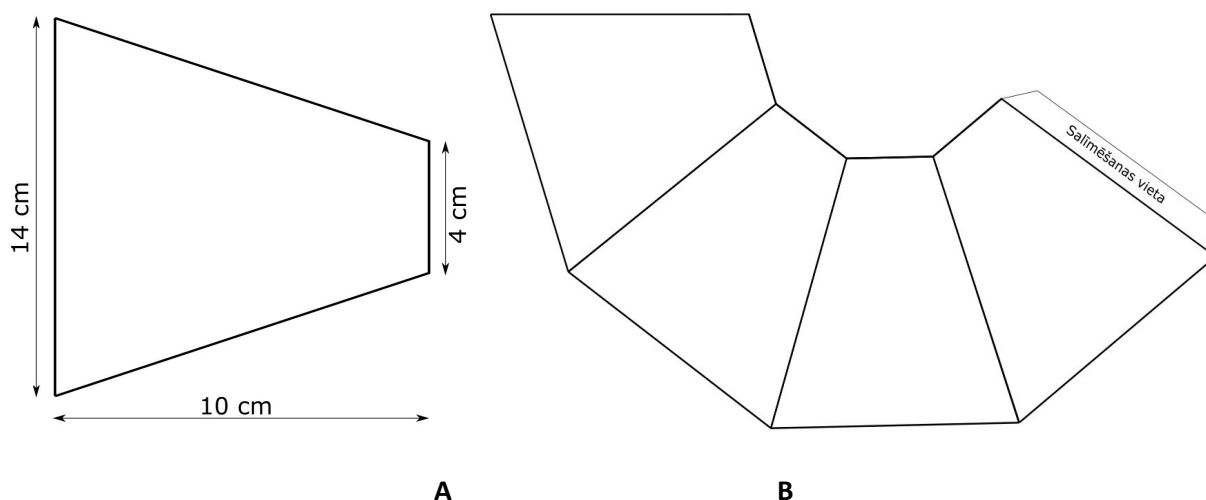
Lai veiktu mērījumus, vispirms jāveic sagatavošanās darbi. Jāizgatavo neliela konusveida tūta (paraugu skat. 4.att.) no melna, necaurspīdīga, matēta materiāla. Vēlams ūdensizturīga, lai nesamirktu lietus laikā. Tā kā mērījumus veic reklāmas rādīšanas laikā, tad noteikt radīto ekrāna maksimālo apgaismojumu varēs tikai pie reklāmām, kurām ir pēc iespējams vairāk baltās krāsas. Līdz ar to mērījums būs aptuvenš, jo tas ir atkarīgs arī no gaišākās reklāmas rādīšanas ilguma un vai var paspēt nomērīt apgaismojumu.

Lai noteiktu LED reklāmas ekrāna radīto apgaismojumu mērījumu, veic sekojošus soļus:

1. Mērījumus veic tikai diennakts tumšajā laikā vienu stundu pēc astronomiskā kalendārā atzīmētā saulrieta vai vienu stundu pirms saullēkta.
2. Pirms apgaismojuma mērījumiem jānomēra reklāmas stenda augstums un platums, lietojot lāzera tālmēru vai citu piemērotu ierīci. Aprēķina reklāmas stenda laukumu:

$$S [m^2] = b * c, \quad [8]$$

kur S – ekrāna laukums (m^2), b – platums (m) un c – augstums (m).



4.att. Konusveida tūtas izveide. A – vienas malas parametri. B – kopējās sagataves piemērs. Sagatave ir atbilstoša ceļu reklāmām, kas nepārsniedz 12 m augstumā vai platumā.

3. Tā kā apgaismojums mainās atkarībā no mērīšanas attāluma, tad ir svarīgi noteikt atbilstošo attālumu, kurā notiks apgaismojuma mērījumi. To aprēķina pēc formulas:

$$d [m] = 4 * \sqrt[4]{S}, \quad [9]$$

kur d ir mērīšanas attālums (m), S – ekrāna laukums (m^2).

4. Skatoties cauri izgatavotai konusveida tūtai, jāiegūst aina, kurā ir novērsti apkārt tieši pretī spīdošie gaismas elementi, piemēram, laternas, kas atrodas tuvāk kā reklāmas ekrāns vai virs mērītāja galvas, pretim braucošo automašīnu lukturi. Caur nelielo lodziņu jāpanāk vienmērīgs fons, kurā ir redzams tikai ieslēgtais reklāmas ekrāns un izgaismotais fons.
5. Pirms mērījumu veikšanas luksmetra sensoru novieto pēc iespējas paralēli ekrāna virsmai un konusveida tūtas mazajā lodziņā. Ar savu aci apskatīties, vai tūtas redzes laukā neiespīd sānos esošs gaismas objekts, piemēram, laterna, automašīnu lukturi. Ja ir iespējams, tad luksmetra sensoru vai ierīci novieto uz statīva vai stabilas virsmas, lai var veikt mērījumus un arī redzēt iegūtos skaitļus. Vēlams acu augstumā vai 1,5 m no zemes (skat. 5.att.).
6. Jāieslēdz ierīce un jāskatās uz skaitļiem, kas mainās dažādu reklāmas saturu rādīšanas laikā. Jāpiefiksē lielākais skaitlis, kas tiek uzrādīts luksos. Mērīšanu veic vismaz 2-5 minūtes, taču jāpiefiksē, vai šajā laikā nomainās visas reklāmas un tās tiktu rādītas no jauna.



5.att. Mērījumu iegūšana: mērījuma iegūšana ar konusveida tūtu un luksmetru – reklāmas radītais apgaismojums un fons.

7. Pieraksta luksmetra lielāko skaitli, kas tika iegūts (E_{BB} , lx).
8. Pēc tam apgriežas par 180 grādiem uz riņķi un ar tūtas palīdzību nomēra apkārt esošo apgaismojumu, cenšoties izvairīties no gaismas objektu nokļūšanas tūtas atverē. Šo lielumu piefiksē (E_B , lx). Aptuveni sagaidāmās apgaismojuma robežas atspoguļotas 4.tabulā.

4.tabula

Aptuveni sagaidāmie apgaismojuma līmeņi dažādās apdzīvotās vietās (*IESNA*, 1999; *IESNA*, 2000).

	E1 zona	E2 zona	E3 zona	E4 zona
Krēslas stunda*	2 lx	5 lx	10 lx	25 lx
Tumsa**	0 lx	1 lx	2 lx	5 lx
E_{BB} (max)	3 lx	25 lx	38 lx	50 lx

* Krēslas stunda – aptuveni vienu stundu pirms saulrieta vai vienu stundu pēc saullēkta

** Vienu stundu pēc saulrieta vai vienu stundu pirms saullēkta skatoties pēc astronomiskā kalendāra

Iegūtiem mērījumiem ar luksmetru ieteicamās maksimālās robežas atspoguļotas 4.tabulā, atbilstošiem apkārtējās vides apgaismojuma līmeņiem.

Veicot mērījumus ar luksmetru, sensoram jābūt novietotam pēc iespējas paralēli reklāmas virsmai, lai varētu iegūt maksimāli lielāko sensora izgaismojumu. Derīgus mērījumus var iegūt arī atrodoties dažādos leņķos no reklāmas stenda, taču precizitāte samazināsies.

Metodes Nr.3 Priekšrocības

- Luksmetra cena salīdzinot ar fotometru, ir mazāka.
- Iespējams novērtēt gaišākās reklāmas radīto apgaismojumu.
- Konstantāka gaismas iedarbība uz acs tīkleni, neatkarīgi no ekrāna lieluma.

Metodes Nr.3 Trūkumi

- Metode ir neprecīza, jo netiek noteikts spožuma līmenis (cd/m^2), bet tiek noteikts radītā apgaismojuma līmenis, kas ir atkarīgs no mērīšanas attāluma.
- Jāveic specifiski aprēķini: (1) jānosaka precīzi ekrāna laukums, (2) jāaprēķina mērīšanas attālums.
- Iepriekš jāizveido papildmateriāli – melns, necaurspīdīgs, matēts konuss.
- Luksmetrs jāuzstāda uz stabilas virsmas, jo rokas nelielās kustības ietekmē mērījumu iegūšanu.
- Ja mērījumus veic reklāmas rādīšanas brīdī, tad ir grūti notvert mirkli, kurā ir redzama visspožākā reklāma, un mērījumi būs atkarīgi no reklāmas krāsu kompozīcijas.

Varētu nelietot konusveida tūtu, taču tad kritiski jāizvērtē, vai blakus neatrodas laternas un vai mērījumus netraucē iegūt automašīnu lukturi, kuru gaismas ir ļoti spožas, salīdzinot ar ceļa reklāmu stendu radīto apgaismoju attiecīgajā attālumā.

Nemot vērā teorētiskos aspektus un veiktos mērījumus, esam izstrādājuši arī ieteicamās digitālo ceļa reklāmu spožuma normas, kas balstītas gan uz cilvēka redzes fizioloģijas īpatnībām, gan arī novērtējot de Boer lielumu kritiskajām situācijām, kad ekrāns atrodas vistuvāk autovadītāja acīm un var radīt diskomforta žilbšanu.

Diskusija

Izstrādātās ceļu reklāmas spožuma normas un radītā apgaismojuma novērtēšanas metode balstīta uz cilvēka redzes uztveres īpatnībām. Ceļu reklāmas nedrīkst novērst autobraucēju uzmanību no ceļa, nedrīkst apžilbināt, it īpaši tumšajā diennakts laikā, kā arī ņemot vērā dažāda vecuma autobraucēju redzes fizioloģiskos parametrus, kas ir aprakstīti iepriekšējās nodaļās. Ekrāna spožuma maksimālās robežas noteikšanai ir ņemti vērā standarti attiecībā uz redzes komfortu/diskomfortu, redzes funkciju pasliktinošo apžilbumu un spīdošo elementu radīto žilbumu jeb De Boer izstrādātie un piedāvātie De Boer lielumi, kā arī UGR lielumu (*Unified Glare Rating*), kas tiek ņemts vērā, iekārtojot cilvēku darba vietas, publiskās vietas, un arī tiek domāts par gaismas objektu spožumu un izvietojumu, lai neradītu cilvēkam redzes diskomfortu.

Digitālo reklāmas stendu viens no galvenajiem raksturojošiem parametriem ir spožums. Izstarotajam spožumam ir būtiska loma tam, kā reklāmas stendi ietekmēs apkārtējo vidi, it īpaši autovadītāju redzi, kā arī apkārt dzīvojošo cilvēku nakts mieru. Dienas gaišajā laikā reklāmas stendu izstarotais spožuma līmenis var būt daudz lielāks nekā diennakts tumšajā laikā. Tumšajā laikā starp izstaroto un apkārtējās vides spožumu būs liela atšķirība, kā rezultātā var radīt autovadītāju uzmanības novēršanu vai miega traucējumus cilvēkiem, kuru logos spīd reklāmas.

Braukšana ir sarežģīts uzdevums, kas ietver plašu mijiedarbību starp satiksmes dalībniekiem un citām transporta sistēmas sastāvdaļām, piemēram, vadītāju, transportlīdzekli un ceļu satiksmes vidi. Pētījumi (*Oviedo-Trespalacios et al., 2019*) parāda, ka digitālās ceļu reklāmas ietekmē autovadītāju uzvedību un satiksmes drošību. Autovadītāju sniegumu ietekmē plašs faktoru klāsts, tostarp nogurums (*Filtness et al., 2012*), uzmanības novēršana uz citām lietām (*Regan et al., 2011*), garstāvoklis (*Rhodes et al., 2015*) u.c. Tumšajās diennakts stundās spilgtais ekrāns ir ievērojams redzes traucēklis autobraucējiem, jo īpaši gados vecākiem, jo ir izmainīta acs optisko struktūru caurspīdība, kas rada lielāku žilbumu cilvēka redzes laukā (*van den Berg et al., 2009; van der Berg et al., 2010*). Pētījumi parāda, ja cilvēka redzes laukā atrodas kāds spožāks objekts, tad uzmanība tiks pievērsta šim objektam. Lai neradītu draudus cilvēku drošībai, diennakts tumšajā laikā būtu ieteicams reklāmas stendi samazināt spožuma līmeni (*Illinois Coalition for Responsible Outdoor Lighting, 2010*) vai pat tos izslēgt.

Aplūkojot *Roberts et al. (2013)* apkopoto informāciju par dažādu valstu vadlīnijām un likumiem, var secināt, ka viens no svarīgiem reklāmas izveidošanas ierobežojumiem ir spožums – reklāmas stenda izstarotais gaismas daudzums, apgaismojums – reklāmas stenda un apkārtējās vides gaismas daudzums, atspīdums, kā arī atstarotāju izmantošana, kad stari tiek atstaroti tādā pašā virzienā atpakaļ. Ja reklāma ir spožāka nekā apkārtējās vides objekti, tas palielina risku novērst autovadītāja uzmanību (*Sendek-Matysiak, 2017*). Tā iemesla dēļ digitālo reklāmu spožumam ir jābūt mazākām nekā citu ceļa zīmju spožuma līmenim. Pētījumi (*Dukic et al., 2013; Wachtel, 2018*) parādīja, ka autovadītāji biežāk skatās uz digitālajiem reklāmas stendiem nekā uz parastajiem izgaismotajiem reklāmas stendiem un ceļa zīmēm, un tiem bija vairāk braukšanas kļūdu, ja pētījumā bija digitālie plakāti (*Edquist et al., 2011*). Šā iemesla dēļ digitālo stendu spilgtumam jābūt mazākam par ceļazīmju spilgtumu.

LED ekrānu traucējošo ietekmi uz auto vadīšanu min lielākā daļa autovadītāju. Veiktajās aptaujās ~80 % autovadītāju ir atbildējuši, ka digitālie reklāmas stendi novērš viņu uzmanību no ceļa (*Domke et al., 2013*). Cits pētījums parādīja, ka LED ekrānu ietekme uz autovadītāju uzmanību ir atkarīga no tā, kāda informācija uz tiem tiek attēlota – grafiski elementi vai teksts. Vismazāk uzmanību pievērš reklāmas stendi, uz kuriem pārsvarā ir grafiski elementi un maz teksta (*Marciano, 2020*).

Jautājums par ceļa reklāmām paliek aktuāls, jo ne tikai spožums, bet arī reklāmas saturam un tā atainošanai ir liela nozīme, kas var pievērst autovadītāju uzmanību un līdz ar to novērst viņu skatu no ceļa. Tā kā digitālo ceļa reklāmu skaits tikai pieaug, tad nākotnē noteikti jāpievērš būs uzmanība, cik daudz reklāmas izvietot un cik tālu vienu no otras novietot, lai tās neapdraudētu ceļu satiksmes drošību, it īpaši diennakts tumšajā laikā.

Kad Latvijā tiks apstiprinātas spožuma normas un tiks ieviesta ceļa digitālo reklāmu kontroles sistēma, tad jauno izstrādāto metodi varēs novērtēt darbībā. Nepieciešamības gadījumā arī tiks pārskatīti lielumi, kā arī tiks skatīts, kā tos savietot ar Latvijas normatīviem līdz brīdim, kamēr tiks ieviests piedāvātais apkārtējās vides zonējums (E1, E2 utt.). Šobrīd notiek arī aktīva diskusija, vai būtu pieļaujamas digitālās ceļa reklāmas dabas areālos, jo Latvijā tādu ir ļoti daudz, kā arī svarīgi atcerēties, ka, uzstādot reklāmas stendu, tas var radīt draudus ne tikai ceļu satiksmes drošībai, bet arī dabai.

Secinājumi

Uz ceļiem, kur automašīnas pārvietojas ar maksimāli atļauto braukšanas ātrumu 90 km/h un ceļi nav apgaismoti, noteikti strikti jāizvērtē digitālo reklāmu izvietošanu. Lai arī priekšlikumos ir minētas maksimālās tumšā diennakts laika spožuma robežas, jāatceras, ka ikviena reklāma ir kā spožs elements autobraucēju redzes laukā, kuram viņš neapzināti pievērš uzmanību. Jo lielāks ir reklāmas stenda vai gaismas objekta virsmas laukums, jo tas vairāk žilbina autobraucēju arī pie zema ekrāna spožuma līmeņa.

Pateicības

Vēlamies pateikties cilvēkiem, kas palīdzēja projekta realizācijā, un par vērtīgām diskusijām, kas lika aizdomāties par daudzām lietām, kas notiek uz ceļa, kad autovadītājs brauc un pavisam nejauši pievērš uzmanību ceļa reklāmām, brīžam novēršot skatu uz ilgāku laiku, pat pašam autovadītājam to nenojaušot. Paldies sakām VAS “Latvijas Valsts ceļi” Ceļu aprīkojuma un sistēmas daļas projektu vadītājam Laurim Naumovam un Satiksmes organizācijas pārvaldes direktoram Mārim Zaļaiskalnam, kas piedalījās diskusijās un palīdzēja veikt trīs Rīgas pilsētas teritorijā esošo reklāmas stendu spožumu mērījumus. Pateicamies par atsaucību piedalīties sarunā par izstrādātiem priekšlikumiem Rīgas būvvaldes Pilsētvides dizaina pārvaldes Valsts valodas un pilsētvides nodaļas vadītājai kolēģei Litai Holcmanei.

Finansējums

Pētījumu atbalstīja VSIA “Latvijas Valsts ceļi”, LU projekti Nr.Y5-AZ77 un Nr.Y9-B003 un Līgumpētījums No LVC/2020/1.10/AC/61.

Literatūra

- Beanland, V., Fitzharris, M., Young, K. L., & Lenné, M. G. (2013). Driver Inattention and Driver Distraction in Serious Casualty Crashes: Data from the Australian National Crash In-depth Study. *Accident Analysis and Prevention*, 54, 99–107.
- Boets, S., Vandemeulebroeken, F., & Daniels, S. (2018). *Roadside Advertising: An Inventory of Current Practices and Future Trends*. ADVERTS project, 94 p. Skatīts <https://www.cedr-adverts.eu/storage/minisites/adverts-d1.1b-current-practices-and-future-trends.pdf>
- Bullough, J., & Hickcox, K. S. (2012). International among Light Source Luminance, Illuminance and Size on Discomfort Glare. *SAE International Journal of Passengers Cars – Mechanical Systems*, 5(1), 199–202.
- Bullough, J., Brons, J., Qi, R., & Rea, M. (2008). Predicting Discomfort Glare from Outdoor Lighting Installations. *Lighting Research & Technology*, 40(3), 225–242.
- Chien, C. (2011). Billboard Evolution. *The Four Peaks Review*, 1(1), 86–97.
- De Boer, J. B. (1967). Visual Perception in Road Traffic and the Field of Vision of the Motorist. In J. B. de Boer (Ed.), *Public Lighting* (pp.11–96). Philips Technical Library, Netherlands: Eindhoven.

- Domke, K., Wandachowicz, K., Zalesinska, M., Mroczkowska, S., & Skrzypczak, P. (2012). Large-Sized Digital Billboards Hazard. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 7(4), 367–380.
- Domke, K., Wandachowicz, K., Zalesińska, M., Mroczkowska, S., & Skrzypczak, P. (2011). Digital Billboards and Road Safety. *WIT Transactions on the Built Environment*, 121(244286), 119–131.
- Domke, K., Zalesinska, M., Wandachowicz, K., Skrzypczak, P., Mroczkowska, S. (2013). *The Evaluation of Impact of Large LED Billboards on the Drivers' Visual Conditions in Road Traffic*. Research project financed by the ministry of science and higher education in 2011-2013, No. N 510 666140. The Technical Report (pl). Poznan, Poland.
- Dozza, M. (2013). What Factors Influence Drivers' Response Time for Evasive Maneuvers in Real Traffic? *Accident Analysis and Prevention*, 58, 299–308.
- Dukic, T., Ahlstrom, C., Patten, C., Kettwich, C., & Kircher, K. (2013). Effects of Electronic Billboards on Driver Distraction. *Traffic Injury Prevention*, 14(5), 469–476.
- Edquist, J., Horberry, T., Hosking, S., & Johnston, I. (2011). Effects of Advertising during Simulated Driving. *Applied Ergonomics*, 42, 619–626.
- Fekete, J., Sik-Lányi, C., & Schanda, J. (2010). Spectral Discomfort Glare Sensitivity Investigations. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 30(2), 182–187.
- Filtness, A. J., Reyner, L. A., & Horne, J. A. (2012). Driver Sleepiness – Comparisons Between Young and Older Men During a Monotonous Afternoon Simulated Drive. *Biological Psychology*, 89(3), 580–583.
- IESNA (1999). *Recommended Practice for Outdoor and Environmental Lighting*. Illuminating Engineering Society of North America, Report RP-33-99, New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- IESNA (2000). *IES TM-11-00 Light Trespass: Research, Results and Recommendations*. Illuminating Engineering Society of North America. IESNA Publication no. TM-11-00. New York (NY): IES. Skatīts: <https://civilnode.com/download-standard/10630464835876/ies-tm-11-00-light-trespass-research-results-and-recommendations>
- Illinois Coalition for Responsible Outdoor Lighting (2010). *Digital Billboards: New Regulations for New Technology*. Skatīts: www.illinoislighting.org/bill-boards.html
- ISA (2016). *Night-time Brightness Level Recommendations for On-Premise Electronic Message Centers*. ISA Research. Skatīts: https://www.signs.org/media/files/ISA_EMC_Recommendations_Refresh_FINAL.pdf
- Lee, S. E., McElheny, M. J., & Gibbons, R. (2007). *Driving Performance and Digital Billboards*. Final Report prepared for Foundation for Outdoor Advertising Research and Education. Virginia Tech Transportation Institute. Skatīts: <http://omac-website.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2016/03/Driving-Performance-Digital-Billboards-VTTI-Study.pdf>
- Letang, V., & Stillman, L. (2020). *Global Advertising Forecast*. Winter Update, December 7, 2020. Skatīts: <https://s3.amazonaws.com/media.mediapost.com/uploads/MagnaYearEnd2020Forecast.pdf>
- Lewin, I. (Nedatēts). *Digital Billboard Recommendations and Comparisons to Conventional Billboards*. Skatīts: <https://scenicnevada.org/wp-content/uploads/Condensed-Verstion-Part-I-Wachtel-Study-1.pdf>
- Lin, M.-W., Hsieh, P.-H., Chang, E. C., & Chen, Y.-C. (2014a). Flicker-Glare and Visual-Comfort Assessments of Light Emitting Diode Billboards. *Applied Optics*, 53(22), E61.
- Lin, Y., Liu, Y., Sun, Y., Zhu, X., Lai, J., & Heynderickx, I. (2014b). Model Predicting Discomfort Glare Caused by LED Road Lights. *Optics Express*, 22(15), 18056.
- Marciano, H. (2020). The Effect of Billboard Design Specifications on Driving: A Driving Simulator Study. *Accident Analysis and Prevention*, 138, 105479.

- Mehri, A., Dehghan, S. F., Hajizadeh, R., Zakerian, S. A., Mohammadi, H., & Abbasi, M. (2017). Survey of Discomfort Glare from the Headlamps of Cars Widely Used in Iran. *Traffic Injury Prevention, 18*(7), 711–715.
- Mississauga (2017). Guidelines for the Review of Sign Variance Applications for Billboard Signs with Electronic Changing Copy. Skatīts: [http://www7.mississauga.ca/Departments/PB/Building/Elec tronic%20Billboards.pdf](http://www7.mississauga.ca/Departments/PB/Building/Elec%20tronic%20Billboards.pdf)
- Née, M., Contrand, B., Orriols, L., Gil-Jardiné, C., Galéra, C., & Lagarde, E. (2019). Road Safety and Distraction, Results from a Responsibility Case-Control Study Among a Sample of Road Users Interviewed at the Emergency Room. *Accident Analysis and Prevention, 122*, 19–24.
- OMA (2014). Digital Billboards and Road Safety: An Analysis of Policy and Research Findings in 2013–14. Discussion Paper. Outdoor Media Association. Skatīts: <http://docplayer.net/25954698-Discussion-paper-digital-billboards-and-road-safety-an-analysis-of-policy-and-research-findings-in.html>
- Oviedo-Trespalacios, O., Truelove, V., Watson, B., & Hinton, J. A. (2019). The Impact of Road Advertising Signs on Driver Behaviour and Implications for Road Safety: A Critical Systematic Review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 122*, 85–98.
- Peng, Y., Boyle, L. N., & Hallmark, S. L. (2013). Driver's Lane Keeping Ability with Eyes off Road: Insights from a Naturalistic Study. *Accident Analysis and Prevention, 50*, 628–634.
- Regan, M. A., Hallett, C., & Gordon, C. P. (2011). Driver Distraction and Driver Inattention: Definition, Relationship and Taxonomy. *Accident Analysis & Prevention, 43*(5), 1771–1781.
- Regev, R., Rolison, J. J., & Moutari, S. (2018). Crash Risk by Driver Age, Gender, and Time of Day Using a New Exposure Methodology. *Journal of Safety Research, 66*, 131–140.
- Rhodes, N., Pivik, K., & Sutton, M. (2015). Risky Driving Among Young Male Drivers: The Effects of Mood and Passengers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 28*, 65–76.
- Roberts, P., Boddington, K., & Rodwell, L. (2013). *Impact of Roadside Advertising on Road Safety*. Austroads Ltd, ISBN 9781921991721, 56 p. Skatīts: <https://takedowntheadstcom.files.wordpress.com/2016/02/austroads-research-report-on-impact-of-roadside-advertising-on-road-safety.pdf>
- Sammarco, J. J., Mayton, A. G., Lutz, T., & Gallagher, S. (2010). Discomfort Glare Comparison for Various LED Cap Lamps. *IEEE Transactions on Industry Applications, 47*(3), 1168–1174.
- Sawicki, D., & Wolska, A. (2016). The Unified Semantic Glare Scale for GR and UGR Indexes. *Proceedings of 2016 IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4)*
- Schreuder, D. (2008). *Outdoor Lighting: Physics, Vision and Perception*. Springer, 448 p.
- Sendek-Matysiak, E. (2017). Influence of Roadside Illuminated Advertising on Drivers' Behavior. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji, 77*(3), 149–162.
- Stone, M. (2021). *Global LED Billboard Market 2020 Emerging Trend, Top Companies, Industry Demand, Business Review and Regional Analysis by 2025*. Press Release. Market Watch. Published: Feb.24, 2021 at 2:51 p.m. Skatīts: <https://www.marketwatch.com/press-release/global-led-billboard-market-2020-emerging-trend-top-companies-industry-demand-business-review-and-regional-analysis-by-2025-2021-02-24>
- Theeuwes, J., Alferdinck, J. W. A. M., & Perel, M. (2002). Relation Between Glare and Driving Performance. *Human Factors, 44*(1), 95–107.
- van den Berg, T. J. T. P., Franssen, L., & Coppens, J. E. (2010). Ocular Media Clarity and Straylight. In: Darlene A. Dartt, Ed., *Encyclopaedia of the Eye*, Vol 3. Oxford: Academic Press; 173–183.
- van den Berg, T. J. T. P., van Rijn, L. J., Kaper-Bongers, R., Vonhoff, D. J., Völker-Dieben, H. J., Grabner, G., Nischler, C., Emsesz, M., Wilhelm, H., Gamer, D., Schuster, A., Franssen, L., de

- Wit, G. C., & Coppens, J. E. (2009). Disability Glare in the Aging Eye. Assessment and Impact on Driving. *Journal of Optometry*, 2(3), 112–118.
- Vos, J. J. (2003). Reflections on Glare. *Lighting Research and Technology*, 35(2), 163–176.
- Wachtel, J. (2014). *Report on Digital Sign Brightness*. Prepared for the Nevada State Department of Transportations, Washoe County, City of Reno and City of Sparks. Skatīts: <https://scenicnevada.org/wp-content/uploads/Condensed-Verstion-Part-I-Wachtel-Study-1.pdf>
- Wachtel, J. (2018). *Compendium of Recent Research Studies on Distraction from Commercial Electronic Variable Message Signs (CEVMS)*. Veridian Group, Berkeley, California. Skatīts: <https://www.scenic.org/wp-content/uploads/2019/09/billboard-safety-study-compendium-updated-february-2018.pdf>
- WHO (2018). *Global Status Report on Road Safety 2018*. World Health Organization. Skatīts: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/
- Young, M. S., Mahfoud, J. M., Stanton, N. A., Salmon, P. M., Jenkins, D. P., & Walker, G. H. (2009). Conflicts of Interest: The Implications of Roadside Advertising for Driver Attention. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12, 381–388.
- Zalesinska, M. (2018). The Impact of the Luminance, Size and Location of LED Billboards on Drivers' Visual Performance-Laboratory Tests. *Accident Analysis and Prevention*, 117, 439–448.
- Zalesinska, M., & Wandachowicz, K. (2012). The Research of Outdoor Billboards with Light Emitting Diode Using Luminance Measuring Camera. Poznan Univerisity of Technology Academic Journals. *Electrical Engineering*, 69, 275–282.
- Zalesinska, M., & Wandachowicz, K. (2013). Examination of Luminance Distributions in the Field of Vision of Drivers in Locations with LED Billboards. *Przegląd Elektrotechniczny*, 8, 270–273.
- Zivcevska, M., Lei, S., Blakeman, A., Goltz, H. C., & Wong, A. M. F. (2018). A Novel Visual Psychometric Test for Light-Induced Discomfort Using Red and Blue Light Stimuli under Binocular and Monocular Viewing Conditions. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 59(3), 1467–1474.

Ceļu digitālo reklāmu spožuma mērījumi Rīgā

Līva Volberga¹, Gunta Krūmiņa¹ un Lauris Naumovs²

¹Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

²VSIA "Latvijas Valsts ceļi", Ceļu aprīkojuma un sistēmas daļa, Rīga, Latvija
livavolberga@gmail.com

Anotācija

Digitālie reklāmas stendi jeb LED reklāmas ir augsta spožuma un liela izmēra zīmes, kuras attēlo statiskus vai dinamiski mainīgus attēlus. Šādi reklāmas stendi tiek izmantoti, lai pievērstu sabiedrības uzmanību. Pēdējo gadu laikā strauji pieaug LED reklāmas stendu skaits ceļu tuvumā. Tiem ir vairāki būtiski parametri, piemēram, spožums un izmērs, kas ietekmē autovadītāju vizuālo sniegumu, tātad ceļa satiksmes drošību. Kā arī ceļu digitālās reklāmas novērš uzmanību no braukšanas uzdevuma. Reklāmu stendi netālu no ceļiem ir potenciāls drauds satiksmes drošībai.

Darba mērķis bija novērtēt Rīgā izvietoto ceļu digitālo reklāmu parametrus – spožumu un radīto apgaismojumu. Tika veikti 19 ceļu digitālo reklāmu spožuma mērījumi, izmantojot *Konica Minolta LS-150* fotometru, un 3 ceļu digitālo reklāmu radītā apgaismojuma mērījumi, izmantojot *Konica Minolta T-10* luksmetru. Veicot spožuma mērījumus, tika secināts, ka Rīgā esošajām ceļu digitālajām reklāmām iegūtās spožuma vērtības ir plašā diapazonā sākot no 2 cd/m² līdz 4337 cd/m², kas norāda uz to, ka pastāv nenoteiktība par spožuma vērtībām, kādas ir nepieciešams uzstādīt reklāmas ekrāniem. Kā arī tika secināts, ka reklāmas radītā apgaismojuma mērīšanas metode ar luksmetru nav precīza metode, taču šo metodi ir iespējams izmantot gadījumos, ja ir nepieciešams veikt kontroles mērījumus reklāmu radīšanas laikā.

Atslēgas vārdi: ceļu digitālās reklāmas, spožums, radītais apgaismojums, žilbšana

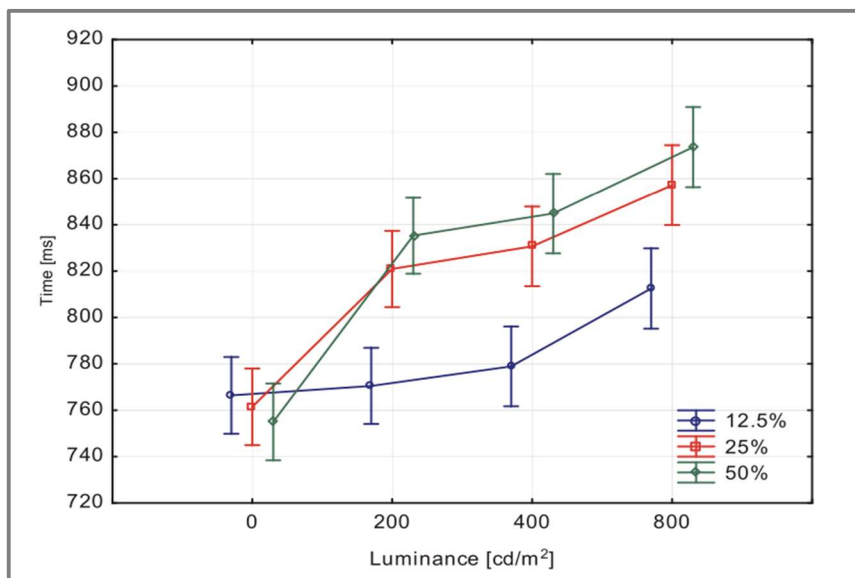
Literatūras pārskats

Attīstoties gaismas izstarojošo diožu tehnoloģijai, pēdējo gadu laikā pieaug digitālo reklāmu jeb LED reklāmu skaits pilsētās (*Domke et al.*, 2011). Lai sasniegtu plašāku mērķauditoriju, digitālās reklāmas tiek novietotas vietās ar intensīvāku gājēju un automašīnu plūsmu, piemēram, gājēju pāreju vai ceļu krustojumu tuvumā (*Domke et al.*, 2012). *Domke et al.* (2011) rakstā tiek minēts, ka digitālās reklāmas parasti ir spožas un liela izmēra zīmes, kas attēlo dinamiski mainīgus attēlus. To fotometriskie parametri (spilgtums, spožums un apgaismojums) ir citādāki nekā līdz šīm izmantotajos plašsaziņas līdzekļos, tāpēc tie atšķirīgi ietekmē ceļu satiksmes dalībniekus (*Domke et al.*, 2012). Spilgtums (*brightness*) ir subjektīvas sajūtas, kuras nav iespējams objektīvi noteikt (*Domke et al.*, 2012), tāpēc izmanto spožuma un apgaismojuma mērījumus. *Roberts et al.* (2013) raksta, ka digitālās reklāmas spožums (*luminance*) ir reklāmas stenda izstarotais gaismas daudzums no vienas laukuma vienības, taču reklāmas radītais apgaismojums (*illuminance*) – gaismas daudzums, kas nonāk uz konkrētas virsmas (*Illinois Coalition for Responsible Outdoor Lighting*, 2010).

Galvenokārt faktori, kuri tiek minēti kā traucējoši ir, ka LED reklāmas novērš uzmanību no ceļa, traucē reklāmas novietojums un lielums, kā arī tiek minēts, ka spožums rada žilbšanu. *Oviedo Trespalacios et al.* (2019) pētījumā tiek minēts, ka ceļu tuvumā esošas digitālās reklāmas ir traucēklis ceļu satiksmes dalībniekiem. Ja uzmanība no braukšanas tiek novērsta ilgāk par 2 sekundēm, tad ievērojami tiek palielināts autoavārijas risks (*Klauer et al.*, 2006). Salīdzinot ceļu satiksmes zīmes ar digitālajām reklāmām, tiek secināts, ka digitālo reklāmu ietekmē ievērojami palielinās uzmanības pievēršanas ilgums un fiksāciju skaits (*Dukic et al.*, 2013). Kā arī *Beijer et al.* (2004) veica pētījumu, kura mērķis bija noteikt reklāmu traucējošo ietekmi uz autovadītājiem. Lai to noteiktu, 25 autovadītāji pārvietojās pa 6 km garu ātrgaitas ceļu. Tika iegūts, ka reklāmas ar dinamiski mainīgām sastāvdaļām pievērsa lielāku uzmanību un ilgākus skatienus nekā statiska reklāma. Kā arī lielāku uzmanību

pievērša zīmes, kuras atradās redzes lauka centrālā daļā nevis perifērijā. Lai gan dinamiski mainīgi efekti un attēli reklāmas padara vizuāli pievilcīgākas, būtu nepieciešams rūpīgi izvērtēt šādu efektu izmantošanu, lai samazinātu autovadītāju uzmanības novēršanu no ceļa.

Zalesinska (2018) pētījumā tika noteikts kā LED reklāmas spožums un lielums ietekmē autovadītāja reakcijas laiku. Pētījums tika veikts laboratorijas apstākļos. Tika secināts, ka, pieaugot digitālās reklāmas spožumam, pieaug autovadītāja reakcijas laiks, kā arī tika iegūts, ka pie vienādām spožuma vērtībām ilgāks reakcijas laiks būs gadījumā, ja digitālās reklāmas ekrāns ir lielāka izmēra (skat. 1.att.).



1.att. Vidējā vērtība autovadītāju reakcijas laikam atkarībā no reklāmas spožuma un LED ekrānā redzamā attēla izmēra (Zalesinska, 2018). Digitālās reklāmas ekrāna izmērs 50 % (1,15 m x 0,77 m), 25 % (0,77 m x 0,58 m) un 12,5 % (0,58 m x 0,38 m).

Kā vēl viens no ietekmējošiem faktoriem ir žilbšana, Domke et al. (2012) pētījumā tiek aprakstīts, ka liela spožuma digitālās reklāmas ar zemu fona spožumu, liels kontrasts starp attēlotajām reklāmas bildēm, kā arī leņķiskais novietojums rada žilbšanu. Ir divu veidu žilbšana – diskomforta žilbšana (*discomfort glare*) un redzes funkciju pasliktinošā žilbšana (*disability glare*). Diskomforta žilbšanu rada kairinājuma vai sāpju sajūtu, taču tā neietekmē vizuālo sniegumu (Rea, 2000), taču redzes funkciju pasliktinošā žilbšana raksturo gaismas izkliedi acī un kontrasta zudumu tīklenes attēlam (Rubino et al. (1994). Rubino et al. (1994) redzes pasliktinošo žilbšanu definē, kā samazinātu spēju saredzēt objektus, neizraisot neērtas sajūtas. Diennakts tumšajā laikā digitālās reklāmas pasliktina autovadītāju redzi un samazina braukšanas kvalitāti, ja LED reklāmai ir augsts spožums ar zemu fona spožumu un augsts attēloto objektu kontrasts (Domke et al., 2012).

Latvijā pagaidām vēl nav izstrādāti normatīvi, kas regulētu digitālo reklāmu dizaina un izvietojuma kritērijus, kā arī trūkst pētījumu, kas novērtētu, kā digitālās reklāmas ietekmē autovadītāju braukšanas sniegumu. Darba mērķis bija novērtēt Rīgā izvietoto ceļu digitālo reklāmu stendu parametrus – spožumu un apgaismojumu.

Metodika






Pētījuma mērķis bija novērtēt Rīgas apkaimē esošo digitālo reklāmas stendu parametrus – spožumu un radīto apgaismojumu. Mērķa sasniegšanai pētījums tika sadalīts 2 daļās.

Lai noteiktu Rīgā izvietoto digitālo reklāmu spožumu pirms izstrādāti Ministru kabineta noteikumi, pētījuma pirmās daļas ietvaros tika veikti mērījumi 19 Rīgā esošām ceļu digitālajām reklāmām, izmantojot *Konica Minolta LS-150* fotometru. Izmantojot fotometru, ir vairāki pozitīvi aspekti – mērījumus var veikt gan diennakts tumšajā, gan gaišajā laikā, spožuma vērtības nav atkarīgas no blakus esošiem gaismas objektiem un mērījuma attāluma.

Pētījuma otrās daļas ietvaros Kārļa Ulmaņa gatves trīsskaldnim, Bauskas ielas 28 un Mūkusalas ielas 33 ceļu digitālām reklāmām tika veikti spožuma un radītā apgaismojuma mērījumi 6 krāsām RGB (*Red Green Blue*) krāsu modelī (skat. 1.tab.). Spožums noteikšanas metode ir precīza, lai novērtētu digitālo reklāmu izstaroto gaismas daudzumu (*Illinois Coalition for Responsible Outdoor Lighting*, 2010). Taču spožuma mērierīces ir dārgas, kā arī, lai noteiktu maksimālo spožuma vērtību, mērīšanas mērķis ir jānovieto uz tīras baltas krāsas, neiekļaujot citas detaļas, kas var radīt sarežģītākus mērījuma apstākļus. *Illinois Coalition for Responsible Outdoor Lighting* (2010) raksta, ka ir iespējams izmantot radītā apgaismojuma mērījumus. Tāpēc pētījuma otrās daļas mērķis ir noteikt, vai radītā apgaismojuma metode var tik izmantota kontroles mērījumu veikšanai. Lai noteiktu korelāciju starp spožumu un radīto apgaismojumu, datorprogrammā R-studio tika izmantots Pīrsona korelācijas tests. Pīrsona korelācijas koeficients nosaka lineāru sakarību starp diviem mainīgiem lielumiem (ρ) un korelāciju (r). Koeficients r tiek izteikts robežās no -1 līdz +1. Ja r vērtība ir no 0,1 līdz 0,3, tad korelācija ir vāja, ja vērtība ir no 0,3 līdz 0,5, tad korelācija ir vidēja, taču, ja r vērtība ir virs 0,5, tad saistība starp datiem ir cieša (*Cohen*, 1988). Spožuma mērījumiem tika izmantots *SpectraScan PR-655* spektroradiometrs un apgaismojuma mērījumiem – *Konica Minolta T-10* luksmetrs.

1.tabula

Krāsas RGB krāsu modelī.

	Krāsa	RGB krāsu modelis		
		R	G	B
1.		255	255	255
2.		255	255	0
3.		125	125	125
4.		0	255	0
5.		255	0	0
6.		0	0	255

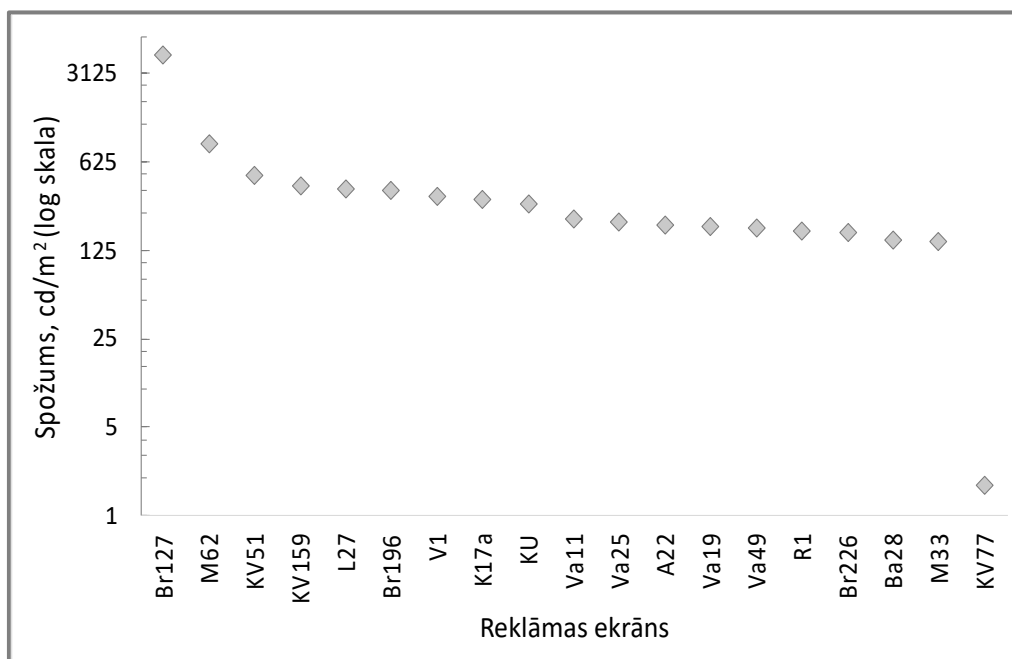
Rezultāti

Pētījuma pirmās daļas ietvaros veicām spožuma mērījumus ceļu digitālajām reklāmām Rīgā, lai novērtētu, kādas ir spožuma vērtības pirms ir izstrādāti Ministru kabineta noteikumi, kas regulētu spožuma vērtības. Kopumā mērījumi tika veikti nejausi izvēlētiem 19 ceļu digitālajām reklāmām Rīgā. Katrai reklāmai tika veikti 5 spožuma mērījumi un tad iegūta vidējā vērtība. Šo 19 ceļu digitālo reklāmu vidējās spožuma vērtības ir attēlotas 2.attēlā.

Tiek novērots, ka tikai vienas digitālās reklāmas nomērītais spožums ir mazāks nekā 100 cd/m^2 . Septiņu reklāmu spožuma vērtības ir no 100 cd/m^2 līdz 200 cd/m^2 , trīs ceļu digitālo reklāmu spožums ir no 201 cd/m^2 līdz 300 cd/m^2 , četru reklāmu vērtības ir no 301 cd/m^2 līdz 400 cd/m^2 , divu digitālo reklāmu nomērītais spožums ir no 401 cd/m^2 līdz 500 cd/m^2 un vienas reklāmas spožums ir 863 cd/m^2 . Taču vienas ceļa digitālās reklāmas nomērītā spožuma vērtība ir ievērojami augstāka – 4337 cd/m^2 (skat. 2.att.).

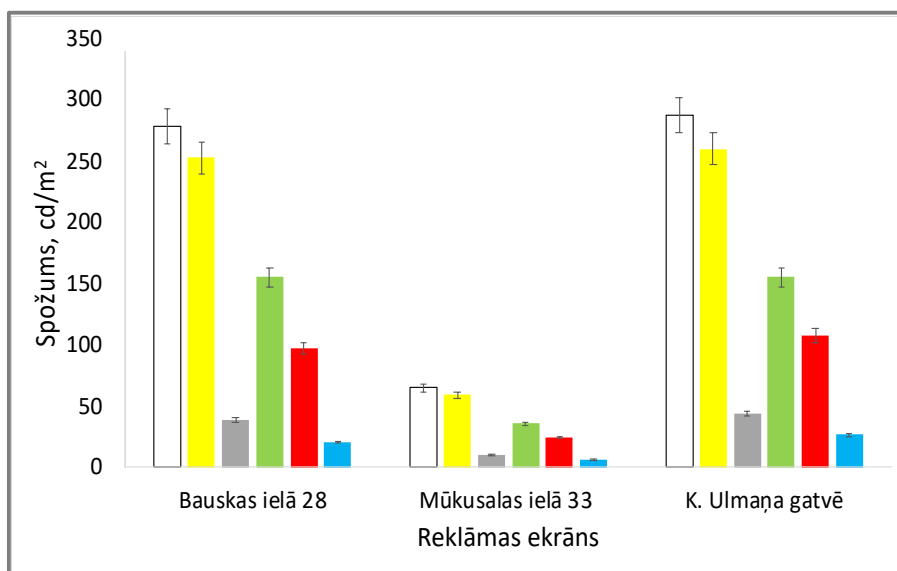
Veicot spožuma mērījumus, Rīgā esošajām ceļu digitālajām reklāmām var novērot, ka iegūtās spožuma vērtības ir plašā diapazonā, sākot no 2 cd/m^2 līdz 4337 cd/m^2 , kas norāda uz to, ka pastāv nenoteiktība par spožuma vērtībām, kādas ir nepieciešams uzstādīt reklāmas ekrāniem.

Pētījuma otrās daļas ietvaros Kārļa Ulmaņa gatves trīsskaldnim, Bauskas ielas 28 un Mūkusalas ielas 33 ceļu digitālajām reklāmām tika veikti spožuma un radītā apgaismojuma mērījumi 6 krāsām RGB krāsu modelī un noteikta šo mērījumu korelācija.



2.att. Ceļu digitālo reklāmu nomērītās spožuma vidējās vērtības.

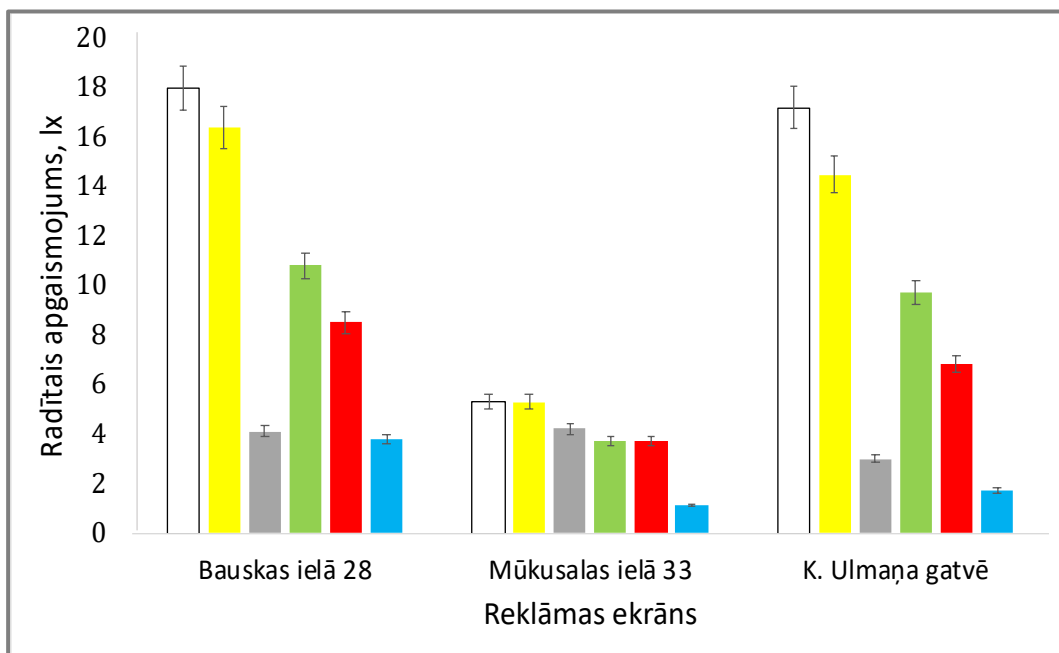
Nomērīto krāsu spožuma vērtības ir attēlotas 3.attēlā, kur ir iespējams redzēt, ka visām ceļu digitālajām reklāmām lielākā spožuma vērtība tika iegūta baltai krāsai un tad dzeltenai krāsai, tomēr vismazākā spožuma vērtība tika iegūta pelēkai un zilai krāsai. Kā arī, aplūkojot attēlu, var redzēt, ka Bauskas ielas 28 reklāmas un Kārļa Ulmaņa gatves trīsskaldņa iegūtās spožuma vērtības ir augstākas nekā Mūkusalas ielas 33 reklāmām. Trīs nomērīto reklāmu spožuma vērtības baltai krāsai ietilpst robežās no 65 cd/m² līdz 288 cd/m², dzeltenai krāsai – no 59 cd/m² līdz 260 cd/m², zaļai krāsai – no 35 cd/m² līdz 155 cd/m², sarkanai krāsai – no 24 cd/m² līdz 107 cd/m², pelēkai krāsai – no 10 cd/m² līdz 44 cd/m² un zilai krāsai – no 6 cd/m² līdz 27 cd/m² (skat. 3.att.).



3.att. Ceļu digitālo reklāmu spožuma vērtības atkarībā no krāsas. Katra stabiņa krāsa atbilst nomērītajai krāsai.

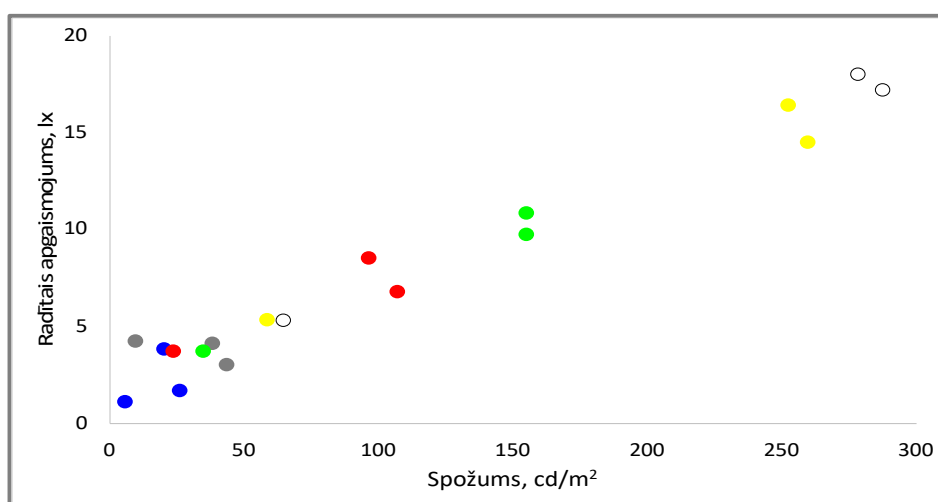
Kārļa Ulmaņa gatves trīsskaldņa, Bauskas ielas 28 un Mūkusalas ielas 33 ceļu digitālo reklāmu radītā apgaismojuma vērtības ir attēlotas 4.attēlā. Aplūkojot attēlu, var novērot, ka Bauskas ielas 28 reklāmas un Kārļa Ulmaņa gatves trīsskaldņa radītais apgaismojums ir lielāks baltai krāsai un tad dzeltenai krāsai. Taču Mūkusalas ielas 33 digitālās reklāmas lielākais radītais apgaismojums ir vienāds baltai un dzeltenai krāsai. Visām ceļu digitālajām reklāmām mazākā radītā apgaismojuma

vērtība tika iegūta pelēkai krāsai un tad zilai krāsai. Trīs nomērīto reklāmu radītā apgaismojuma vērtības baltai krāsai ietilpst robežās no 5,3 lx līdz 18,0 lx, dzeltenai krāsai – no 5,3 lx līdz 16,4 lx, zaļai krāsai – no 3,7 lx līdz 10,8 lx, sarkanai krāsai – no 3,7 lx līdz 8,5 lx, pelēkai krāsai – no 3,0 lx līdz 4,2 lx un zilai krāsai – no 1,1 lx līdz 3,8 lx (skat. 4.att.).



4.att. Ceļu digitālo reklāmu radītā apgaismojuma vērtības atkarībā no krāsas. Katra stabiņa krāsa atbilst nomērītajai krāsai.

Pētījuma otrās daļas mērķis bija noskaidrot vai radītā apgaismojuma mērījuma metodes var tik izmantotas ceļu digitālo reklāmu kontroles mērījumu veikšanai. 5.attēlā ir iespēja aplūkot radītā apgaismojuma vērtības atkarībā no spožuma. Lai novērtētu saistību starp radīto apgaismojumu un spožumu tika veikta Pīrsona korelācijas analīze. Iegūtie rezultāti norāda uz ciešu korelāciju starp radītā apgaismojuma un spožuma vērtībām ($r(16) = 0,98; p < 0,001$).



5.att. Ceļu digitālo reklāmu radītā apgaismojuma un spožuma saistība. Katrs vērtību punkts ir krāsā, kādai tika veikts mērījums.

Diskusija

Tiek minēts, ka pēdējo gadu laikā strauji pieaug digitālo jeb LED reklāmu skaits ceļu tuvumā un to parametri vairāk novērš autovadītāju uzmanību nekā cita veida zīmes vai reklāmas (*Dukic et al.*, 2013; *Zalesinska*, 2018). Tā iemesla dēļ literatūras analīzē tika apkopota informācija par digitālo reklāmu veidiem, parametriem un to, kā tiek ietekmēts autovadītāju braukšanas sniegums. Tika noskaidrots, ka digitālo reklāmu ietekmē autovadītāja reakcijas ātrums ir lēnāks, kas apliecina, ka LED reklāmas apdraud ceļu satiksmes drošību.

Balstoties uz *OMA* (2014), *Boets et al.* (2016) un *Mississauga* (2017) rakstiem, tika apkopota informācija par 23 valstu digitālo reklāmu izvietojuma un dizaina kritērijiem. Spožums ir viens no LED reklāmu būtiskākajiem parametriem, kas pievērš cilvēku uzmanību, taču Latvijā nav izstrādāti Ministru kabineta noteikumi, kas regulētu digitālo reklāmu spožuma vērtības. Pētījuma ietvaros, tika veikti 19 Rīgā esošu digitālo reklāmu spožuma mērījumi, lai novērtētu kāda ir situācija uz doto brīdi. Nomērītās spožuma vērtības ir plašas amplitūdas, sākot no 2 cd/m² līdz 4377 cd/m², kas apliecina, ka reklāmu uzstādītāju vidū pastāv neviennozīmīgs lēmums par to, kādas spožuma vērtības izvēlēties digitālo reklāmu stendiem. *Boets et al.* (2016) min, ka Itālijā digitālo reklāmu spožums nevar pārsniegt 150 cd/m², tātad, salīdzinot ar Itālijā atļautajām normām, var secināt, ka no nomērītajām 19 reklāmām 16 reklāmu spožuma vērtības ir augstākas nekā atļauts. Somijas vadlīnijās par LED reklāmām tiek minēts, ka tumšā laikā (stundu pēc saulrieta vai stundu pirms saullēkta) spožuma vērtības nevar pārsniegt 300 cd/m² (*Boets et al.*, 2016), tātad no nomērītajām reklāmām 8 reklāmu spožums ir augstāks nekā atļauts. Maltā nakts laikā spožuma vērtības nevar būt augstākas par 100 cd/m² (*Legal Notice (LN) 36*, 2018), kas nozīmē, ka no nomērītajām 19 reklāmām tikai vienas LED reklāmas spožuma vērtība atbilst Maltas likumiem. Nīderlandes digitālo reklāmu spožuma vērtības ir izstrādātas atkarībā no reklāmas atrašanās vietas un tās izmēra (*Boets et al.*, 2016) un, salīdzinot ar pētījumā mērītajām reklāmām, 10 LED reklāmu vērtības ir pārsniegtas. Taču Flandrijā (Beļģija) nav atļauts digitālās reklāmas ieslēgt no 22:00 līdz 06:00 (*Agentschap Wegen en Verkeer*, 2018). Salīdzinot Rīgā esošo 19 ceļu digitālo reklāmu spožuma vērtības ar citu valstu atļautajām normām, var secināt, ka digitālās reklāmas pārsniedz atļautās spožuma normas. Turpmākajam pētījumam var ierosināt veikt vēl digitālo reklāmu spožuma mērījumus, lai salīdzinātu vēl vairāk ekrānus un to uzstādītās spožuma vērtības, kā arī ieteikums izstrādāt Ministru kabineta noteikumus, kas regulētu spožuma normatīvus Latvijā.

Kā metodes aprakstā tiek minēts, tad spožuma mērierīces ir dārgas, tāpēc iespējams veikt apgaismojuma mērījumus, kuru mērķis ir noteikt atšķirību starp digitālā reklāmā radīto apgaismojumu un fona apgaismojumu. Taču apgaismojuma metode ir atkarīga no attāluma kādā tiek veikts mērījums. *IESNA* (2000) ir definējusi apkārtējās vides radītā apgaismojuma vērtības atkarībā no reklāmas atrašanās vietas un diennakts laika kādā tiek veikts mērījums, lai noskaidrotu vai mērījumi ir veikti pareizi. Tā kā mērījumi tika veikti tumšā un pilsētā, tad apkārtējās vides apgaismojumam vajadzētu būt 5 lx. Salīdzinot ar veikto pētījumu, no 18 mērījumiem nevienā mērījumā apkārtējās vides apgaismojums nepārsniedza 5 lx, kas varētu liecināt, ka radītā apgaismojuma metode precīzi veikta un ir izmantojama gadījumos, ja vēlas veikt kontroles mērījumus. *Lewin* (2000) apraksta, ka digitālo reklāmu radītajam apgaismojumam nakts laikā un pilsētā vajadzētu būt līdz 6 lx. Tātad, salīdzinot ar veiktajiem mērījumiem, var secināt, ka no 18 mērījumiem 8 mērījumos radītais apgaismojums ir augstāks nekā 6 lx un norāda uz to, ka digitālā reklāma rada vairāk apgaismojuma nekā ir atļauts, balstoties uz *Lewin* (2000).

Pētījums paver plašas iespējas. Būtu nepieciešams veikt vairāku ceļu digitālo reklāmu spožuma mērījumus, lai noskaidrotu, kādas ir spožuma vērtības un to salīdzinājums ar citu valstu spožuma normatīviem. Kā arī vēl būtu nepieciešams noskaidrot ceļu digitālo reklāmu ietekmi uz autovadītāju braukšanas sniegumu, piemēram, reakcijas laiku, fiksāciju skaitu un laiku, kā arī lūgt autovadītājiem pie dažādām spožuma vērtībām pēc De Boer skalas novērtēt savas sajūtas. Tomēr kā galveno mērķi var izvirzīt nepieciešamību izstrādāt Ministru kabineta noteikumus digitālo reklāmu dizaina un izvietojuma kritērijiem.

Secinājumi

Veicot spožuma mērījumus, Rīgā esošajām ceļu digitālajām reklāmām, var novērot, ka iegūtās spožuma vērtības ir plašā diapazonā, sākot no 2 cd/m² līdz 4337 cd/m², kas norāda uz to, ka pastāv nenoteiktība par spožuma vērtībām, kādas ir nepieciešams uzstādīt reklāmas ekrāniem. Tā kā Latvijā vēl nav ieviestas ceļu digitālo reklāmu spožuma normas, tad, izvērtējot 19 digitālo reklāmas ekrānu spožumu pēc Nīderlandes standartiem, secinām, ka 10 digitālo reklāmu spožuma vērtības ir pārsniegtas, pēc Itālijas standartiem 16 reklāmu spožuma vērtības ir pārsniegtas, pēc Somijas un Kvīnslendas (Austrālijas) standartiem 8 reklāmu spožums ir par augstu, pēc Maltas standartiem 18 reklāmu spožuma vērtības ir pārsniegtas, pēc Dienvidāfrikas standartiem 12 reklāmu spožuma vērtības ir par augstu, pēc Ņujorkas (ASV) standartiem 9 reklāmu spožums ir pārsniegts un pēc Misissogas (Kanādas) standartiem vienas digitālās reklāmas spožums ir par augstu. Reklāmas radītā apgaismojuma mērīšanas metode ar luksmetru nav precīza metode, taču šo metodi ir iespējams izmantot gadījumos, ja ir nepieciešams veikt kontroles mērījumus reklāmu rādīšanas laikā.

Pateicības

Pētījumu atbalsta VSAI “Latvijas Valsts ceļi”, līgumpētījums Nr.LVC/2020/1.10/AC/61.

Literatūra

- Agentschap Wegen en Verkeer. (2018). Informatie en Bewegwijzering op Autosnelwegen en Andere Gewestwegen. Pieejams: <https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/MOW-AWV-2018-4.pdf> (skatīts 12.11.2020.).
- Beijer, D., Smiley, A., & Moshe, E. (2004). Observed driver glance behaviour at roadside advertising signs. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1889(1), 96-103.
- Boets, S., Vandemeulebroeken, F., & Daniels, S. (2016). Roadside Advertising: An Inventory of Current Practices and Future Trends. D1.1b of the ADVERTS project. Pieejams: <https://www.cedr-adverts.eu/storage/minisites/adverts-d1.1b-current-practices-and-future-trends.pdf> (skatīts 10.11.2020.).
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Domke, K., Zalesinska, M., Wandachowicz, K., Skrzypczak, P., & Mroczkowska, S. (2011). Digital billboard and road safety. *WIT Transactions on The Built Environment*, 121, 119-131.
- Domke, K., Wandachowicz, K., Zalesinska, M., Mroczkowska, S., & Skrzypczak, P. (2012). Large-sized digital billboards hazard. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 7(4), 367–380.
- Dukic, T., Patten, C., Ahlstrom, C., Kettwich C., & Kircher, K. (2013). Effects of Electronic Billboards on Driver Distraction. *Traffic Injury Prevention*, 14(5), 469-476.
- IESNA (2000). IES TM-11-00 Light Trespass: Research, Results and Recommendations. Illuminating Engineering Society of North America. *IESNA Publication no. TM-11-00*.
- Illinois Coalition for Responsible Outdoor Lighting. (2010). Digital billboard: new regulation for new technology. Illinois Coalition for Responsible Outdoor Lighting. Pieejams: www.illinoislighting.org/bill-boards.html (skatīts 10.12.2020.).
- Klauer, S.G., Dingus, T.A., Neale, V.L., Sudweeks, J.D., & Ramsey, D.J. (2006). The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: an analysis using the 100-car naturalistic driving study data. Report DOT HS 810 594.
Pieejams: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/55090/DriverInattention.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (skatīts 28.03.2021.).

- Legal Notice (LN) 36. (2018). Billboards and Advertisements Regulations, 2018. Development Planning Act, CAP. 552. *Transport Government Malta*. Pieejams: <https://www.gov.mt/en/Government/DOI/Government%20Gazette/PA%20Legal%20Notices/Documents/2018/LN%2036%202018.pdf> (skatīts 15.11.2020.).
- Lewin, I. (2000). Light Trespass and Light Pollution - Practical Approaches to Dealing with Problems. *Lighting Sciences*.
- OMA. (2014). Digital billboards and road safety: An analysis of policy and research findings in 2013–14. Discussion Paper. *Outdoor Media Association*.
Pieejams:https://www.oma.org.au/sites/default/files/uploaded-content/field_f_content_file/oma_discussion_paper_on_digital_billboards_and_road_safety_july2014_final.pdf (skatīts 24.11.2020.).
- Oviedo Trespalacios, O., Truelove, V., Watson, B., & Hinton, J. A. (2019). The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety: A critical systematic review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 122, 85-98.
- Mississauga. (2017). Guidelines for the Review of Sign Variance Applications for Billboard Signs with Electronic Changing Copy.
Pieejams:<http://www7.mississauga.ca/Departments/PB/Building/Electronic%20Billboards.pdf> (skatīts 24.11.2020.).
- Rea, M., S. (2000). *The IESNA Lighting Handbook: References & Application*, (9th ed.). Illuminating Engineering Society of North America.
- Roberts, P., Boddington, K., & Rodwell, L. (2013). *Impact of Roadside Advertising on Road Safety*. Austroads Research Report. Austroads Ltd, ISBN 9781921991721. Pieejams: <https://takedowntheadstodotcom.files.wordpress.com/2016/02/austroads-research-report-on-impact-of-roadside-advertising-on-road-safety.pdf> (skatīts 12.11.2020.).
- Rubino, M., Cruz, A., Garcia, J.A., & Hita, E. (1994). Discomfort glare indices: a comparative study. *Optical Society of America*, 33(34), 8001-8008.
- Zalesinska, M. (2018). The impact of the luminance, size and location of LED billboards on drivers' visual performance – Laboratory tests. *Accident Analysis and Prevention*, 117, 439-448.

Redzes asuma attālinātās pārbaudes pielietojums

Kristīne Kalniņa-Dorošenko, Mišelle Elisabete, Natalija Hammare un Aiga Švede
*Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
kristinekalnica@gmail.com*

Anotācija

Agrīnā vecumā jebkurš redzes sistēmas bojājums ir šķērslis normālai redzes sistēmas attīstībai. Laicīga redzes problēmas detektēšana un ātra terapijas nozīmēšana veicina labākus rezultātus. Apkārtējā pasaule nemitīgi mainās. Mainās arī redzes pārbaudes iespējas. Īpaši to ir parādījis Covid-19 laiks, kad visa pasaule pārgāja uz online režīmu. Tāpēc ir svarīgi veikt pētījumus, lai noteiktu datorā un telefonā veidotu testu precizitāti, īpaši, ja tos izmanto nepieredzējuši pacienti. Pētījuma mērķis bija analizēt FrACT testa, kā attālinātu pārbaudes rīku, efektivitāti redzes asuma novērtēšanā. Eksperimentā piedalījās 45 dalībnieki (vidējais vecums $31 \pm 5,3$ gadi) bez acu patoloģijām. Redzes asuma pārbaude tika veikta, izmantojot FrACT datorprogrammu, ar un bez redzes speciālista iesaistīšanās redzes pārbaudes procesā. FrACT tests uzrādīja atšķirīgus rezultātus gan grupās, gan starp grupām, un to var apšaubīt kā attālinātā redzes asuma novērtēšanas rīku. Šī pētījuma dalībnieku skaits bija pārāk mazs, lai secinātu, vai FrACT tests ir patiesi uzticams vai nē, kā arī to, vai attālinātus redzes asuma pārbaudes testus var izmantot ar vai bez redzes speciālista palīdzības. Vajadzētu veikt plašāku pētījumu, kas iekļautu vairāk dalībnieku skaitu.

Atslēgas vārdi: aplikācijas, attālināti skrīninga rīki, redzes asums, FrACT, telemedicīna, redze

Literatūras pārskats

Redze ir vissvarīgākā no piecām maņām un tai ir izšķiroša nozīme visos dzīves aspektos un visos dzīves posmos. Tā ir neatņemama cilvēku savstarpējās un sociālās mijiedarbības sastāvdaļa (Fazeenah, 2021). Redzes asums ir centrālās redzes rādītājs, kas norāda, cik skaidri cilvēks var saskatīt objektu. Centrālais redzes asums ir redzes sistēmas spēja atpazīt smalkas atšķirības vidē, ko mēra, izmantojot drukātus vai projicētus redzes stimulus (Levenson & Kozarsky, 1990). Tas ir visplašāk izmantotais un saprotamais redzes funkciju rādītājs (Fazeenah, 2021). Ir svarīgi izmērīt redzes asumu, jo tas ļauj vienlaicīgi novērtēt radzenes dzidrumu, lēcas dzidrumu, makulas funkciju un redzes nerva vadītspēju (Levenson & Kozarsky, 1990), un tas ir svarīgs ambliopijas, refrakcijas kļūdu un acu slimību atklāšanā. Normāls redzes asums cilvēkiem bez refrakcijas kļūdām ir noteikts kā standarta 6/6 metri, 20/20 pēdas, 1,0 decimālās vai 0,0 LogMAR vienības (Levin & Adler, 2011).

Snellena tabula ir vispārpieņemtā metode pacientiem, kas spēj nosaukt burtus. Par zelta standartiem ir atzītas agrīnas ārstēšanas diabētiskās retinopātijas pētījuma (ETDRS) un Bailey-Lovie diagrammas (Bailey & Lovie, 1976; Ferris et al., 1982). Snellena tabulā katrā rindā tiek izmantota neģeometriskā burtu lieluma progresija un katrā rindā nav vienāds burtu skaits, salīdzinot ar ETDRS diagrammu, kas nodrošina burtu lieluma ģeometrisku progresiju un vienādu burtu skaitu katrā rindā. Kaut arī Snellena diagramma joprojām ir galvenā redzes asuma pārbaudes tabula, ko mūsdienās izmanto klīnikās (Kaiser, 2009; Bastawrous et al., 2015). Izmantojot Snellena vai ETDRS diagrammu, redzes speciālistam ir jānodrošina, lai pacienti spētu atpazīt un paskaidrot redzamos simbolus. Pirms bērns spēj nosaukt burtus, tiek izmantoti dažādi atbilžu testi. Bērnam ir jāparāda vai jānosauc parādītais simbols vai burts, kas atrodas uz atbilstošās kartītes, kuru viņš tur rokā. Tas prasa noteiktu kognitīvo spēju un bērni ar normālu attīstību parasti var izpildīt šo uzdevumu aptuveni no 2,5-3 gadu vecuma (Becker et al., 2002; Jones et al., 2003). Dažiem pacientiem vai īpašās situācijās, kad viņi nespēj pastāstīt, ko viņi redz, var izmantot optotipus, piemēram, Landolta gredzena vai "E" zīmju testu, kur pacienti spēj ar rokām vai pirkstu parādīt, kurā virzienā ir vērsti optotipi, kas prasa pacienta subjektīvu reakciju un izpratni par orientācijas virzienu. Kardifa redzes asuma kartes (Cardiff Acuity Cards) (Howard & Firth, 2006; Anstice & Thompson, 2014) vai Tellera redzes asuma

kartes (*Teller Acuity Cards*) (*McDonald et al.*, 1985) tiek izmantotas bērniem, kuri ir pārāk mazi, lai izpildītu atbilžu vai nosaukšanas uzdevumus. Abas šīs metodes izmanto izvēles skatīšanās formātu, un tāpēc tās var izmantot bērniem, kas ir aptuveni viena gada vecumā, izmantojot Kardifa kartes, un jaundzimušajiem, izmantojot Tellera kartes. Tomēr šie testi mēra izšķirtspēju, nevis atpazīšanas asumu (*Heinrich & Bach*, 2013). Tajos ir nepieciešams, lai vizuālā detaļa būtu atpazīta vai optiski izšķirta. Jaundzimušajiem ir jāatpazīst, ka uz kartes kaut kas ir attēlots, bet netiek prasīts, kas tieši ir uzzīmēts. Izšķirtspējas asums nav tieši salīdzināms ar atpazīšanas asumu. Izšķirtspējas asums parasti uzrāda labākas redzes asuma vērtības salīdzinājumā ar atpazīšanas asumu, ir mazāk jutīgs, lai noteiktu ambliopiju, optisko miglošanos un citus foveālas redzes asuma samazināšanās iemeslus (*Kushner et al.*, 1995; *Rydberg et al.*, 1999).

Mūsdienās ir pieejamas daudzas datorā un telefonā veidotās redzes asuma noteikšanas programmas, testi. Tomēr šīm programmām nav stingru vadlīniju un noteikumu. Tāpēc ir svarīgi veikt turpmākus pētījumus, lai novērtētu šo testu precizitāti, jo īpaši, ja ar tiem strādā nepieredzējuši pacienti. Piemēram, *GoCheck Kids* (<https://www.gocheckkids.com/>) ir telefonā pieejama aplikācija, kas ļauj analizēt ambliopijas riska faktoros un redzes asumu. Aplikācijā ir iekļauts arī uz fotoattēliem balstīts skrīninga rīks, ar kuru var novērtēt refrakcijas kļūdas, fotografēšanas laikā pacientam spīdinot gaismu acīs. *Silverstein et al.* (*Silverstein et al.*, 2020) savā pētījumā novērtēja, vai *GoCheck Kids* aplikācija var nodrošināt tādu pašu precizitāti, kādu klīnikās nosaka oftalmologs, izmantojot standarta redzes asuma tabulas. Lai precīzi analizētu, cik labi var izmantot aplikāciju mājas apstākļos, bērnu aizbildņi vai vecāki palīdzēja veikt redzes asuma pārbaudes testus un vēlāk sniedza atsauksmes. Testā tika izmantoti optotipi – ETDRS burti bērniem, kas vecāki par septiņiem gadiem, un HOTV burti bērniem, kas jaunāki par sešiem gadiem. Secinājumi parādīja, ka tests varēja sniegt līdzīgus rezultātus kā oftalmologa izmērītie rezultāti. *Peek Acuity* (<https://peekvision.org/>) aplikācija ir telefonā pieejama programma, kurā izmantots viens optotipa burts E, kas orientēts četros dažādos virzienos. Testa laikā pacientam ir jāparāda optotipa virzienu, izmantojot roku vai vārdus. Pētījumā ar pieaugušiem dalībniekiem vecumā no 55 gadiem un vairāk *Bastawrous et al.* (2015) konstatēja, ka testa precizitāti var salīdzināt ar rezultātiem, kas iegūti ar standarta ETDRS diagrammu. Tika pierādīts, ka *Peek Acuity* aplikācija nodrošina rezultātus, kas ir līdzīgāki tiem, kas iegūti, izmantojot standarta ETDRS diagrammu, nekā rezultāti, kas iegūti, izmantojot standarta Snellena tabulu. Tā, piemēram, *The Freiburg Visual Acuity and Contrast Test* (FrACT) ir pazīstams kopš 1996. gada, un to izstrādājis vācu zinātnieks Mihael Bahs. Tas ir datorizēts tiešsaistes rīks, ko mūsdienās izmanto daudzos zinātniskos pētījumos. Standarta redzes asuma pārbaudes tabulās pacientiem tiek lūgts lasīt optotipus no lielākiem uz mazākiem, lai noskaidrotu, kāds ir mazākais optotips, ko pacients vēl var saskatīt. Savukārt FrACT tests ir balstīts uz psihometriskajiem novērtējumiem, lai izmērītu pacientu aptuveno redzes asuma sliekšni decimālās vai LogMAR vienībās. Līdz šim daudzi pētnieki, liekas, ir piekrituši, ka FrACT tests sniedz līdzīgus rezultātus salīdzinājumā ar Snellena un ETDRS tabulām (*Bach*, 1996, 2006; *Leat et al.*, 2009; *Bach et al.*, 2016). Pētījumos, kuros izmanto FrACT, ir konstatēts, ka daudzi no tiem galvenokārt analizē izmeklējumu uzraudzītos apstākļos, t. i., veic testu ar precīzi izmērītiem attālumiem no pacienta līdz datora ekrānam, ar pareizu datora ekrāna un apkārtējā apgaismojuma kalibrēšanu. Tas var radīt problēmas, ja nepieredzējuši pacienti testu mēģinās veikt paši. Tāpēc šī pētījuma mērķis bija analizēt FrACT testa kā attālināta pārbaudes rīka efektivitāti redzes asuma novērtēšanā.

Metodika

Pētījumā piedalījās 98 dalībnieki, no kuriem tikai 45 dalībnieki vecumā no 19 līdz 42 gadiem (vidējais vecums $31 \pm 5,3$ gadi) pabeidza eksperimentu līdz galam. Pētījums tika veikts saskaņā ar Helsinku deklarāciju. Netika iekļauti dalībnieki, kuriem bija jebkāda veida acu slimības, piemēram, glaukoma, katarakta, ar vecumu saistītas sasilšanas kā makulas deģenerācija, diabētiskā retinopātija vai ar redzes traucējumiem kā šķielēšana vai ambliopija.

Dalībnieku redzes asums tika mērīts ar FrACT testa palīdzību, un dalībnieki pēc nejaušības principa tika sadalīti divās grupās. Pirmās grupas dalībniekiem vajadzēja veikt FrACT redzes asuma pārbaudes testu attālināti uz sava datora, optometrista klātbūtnē, izmantojot Zoom programmu. Dalībniekiem tika izstāstīta instrukcija par testa norisi, programmas iestatījumiem, kā arī pārbaudes laikā dalībnieki varēja uzdot jautājumus redzes speciālistam par lietām, kas netika saprastas. Otrās grupas dalībnieki saņēma lietošanas instrukciju, kuras pamatā bija FrACT tīmekļa vietnē sniegtie norādījumi. Pārbaudes laikā dalībniekiem vajadzēja tikt galā ar testu patstāvīgi. Kā otrs galvenais nosacījums bija redzes speciālista nepiedalīšanās redzes asuma pārbaudes laikā.

Katram dalībniekam vajadzēja veikt redzes asuma pārbaudes testu ar katru aci atsevišķi 1 m un 3 m attālumā no datora monitora. Pirms testa uzsākšanas dalībniekiem vajadzēja izmērīt attālumu, izmantojot lineālu vai mērlenti. Redzes pārbaudes laikā apgaismojums bija fotopisks. Veicot redzes asuma pārbaudes testu, dalībniekiem tika rādīts optotips, ko norobežoja divi blakus esoši gredzeni. Dalībniekiem ar tastatūras palīdzību vajadzēja ievadīt ieraudzītu optotipu (burtu) uz datora ekrāna. Ja dalībnieki atbildēja pareizi, optotipu izmērs samazinājās par vienu soli vai nemainījās. Ja dalībnieki atbildēja nepareizi, optotipu izmērs palielinājās par vienu soli vai palika nemainīgs. Redzes asuma rezultāti decimālās vienībās tika apkopoti un salīdzināti abās grupās.

Rezultāti un to analīze

Nemot vērā, ka šajā pētījumā izmantotais attālinātais redzes asuma tests tika veikts neuzraudzītos apstākļos, bija diezgan sarežģīti veikt pilnīgu analīzi par visiem faktoriem, kas varētu ietekmēt pētāmo dalībnieku redzes asumu, veicot izmeklējumus attālināti (mājas apstākļos). FrACT tests ir pārbaudīts un apstiprināts iepriekšējos pētījumos (*Bach*, 1996, 2006; *Leat et al.*, 2009; *Bach et al.*, 2016), tāpēc tika izvēlēts vairāk pievērsties dalībnieku pieredzei un sniegumam, izmantojot FrACT testu. Rezultāti var neatspoguļot paša FrACT testa funkcionalitāti, bet drīzāk FrACT kā attālinātā skrīninga rīka efektivitāti un to, kā dalībnieki veic testu uzraudzītos un neuzraudzītos apstākļos.

Izmeklēšanā iesaistītie dalībnieki bez papildu redzes speciālista norādījumiem neievēroja instrukcijas pareizi un uzskatīja redzes pārbaudes procesu par sarežģītu. FrACT tests uzrādīja atšķirīgus rezultātus gan grupās, gan starp grupām, un to var apšaubīt kā attālinātā redzes asuma novērtēšanas rīku. Diemžēl šī pētījuma dalībnieku skaits bija pārāk mazs, lai secinātu, vai FrACT tests ir patiesi uzticams vai nē, kā arī to, vai attālinātus redzes asuma pārbaudes testus var izmantot ar vai bez redzes speciālista palīdzības. Tomēr tas liecina, ka šajā zinātnes jomā ir nepieciešami turpmāki pētījumi, īpaši tagad, kad pasaules iedzīvotāji pielāgojas attālinātai videi, apstākļiem.

Literatūra

- Anstice, N. S., & Thompson, B. (2014). The measurement of visual acuity in children: an evidence-based update. *Clinical and Experimental Optometry*, 97, 3–11.
- Bach, Michael. (1996). The Freiburg Visual Acuity Test—automatic measurement of visual acuity. *Optometry and Vision Science*, 73(1), 49–53.
- Bach, Michael. (2006). The Freiburg Visual Acuity Test—variability unchanged by post-hoc reanalysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 45(7), 965–971.
- Bach, M., Reuter, M., Lagrèze, W. A. (2016). Comparison of two visual acuity tests in school enrolment examinations. *Der Ophthalmologe*, 113(8), 684–689.
- Bastawrous, A., Rono, H. K., Livingstone, I. A. T., Weiss, H. A., Jordan, S., Kuper, H., & Burton, M. J. (2015). Development and validation of a smartphone-based visual acuity test (Peek Acuity) for clinical practice and community-based fieldwork. *JAMA Ophthalmology*, 133 (8), 930–937.
- Becker, R., Hubsch, S., Graf, M. H., Kaufmann, H. (2002). Examination of young children with Lea symbols. *British Journal of Ophthalmology*, 86, 513–516.
- Fazeenah, A. (2021). A literary review on visual acuity. *Internation Journal of Creative Research Thoughts*, 9 (6), 322–327.
- Ferris, F. L., Kassoff, A., Bresnick, G. H., Bailey, I. (1982). New visual acuity charts for clinical research. *American Journal of Ophthalmology*, 94 (1), 91–96.
- Heinrich, S. P., & Bach, M. (2013). Resolution acuity versus recognition acuity with Landolt-style optotypes. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 251 (9), 2235–2241.
- Howard, C., & Firth, A. Y. (2006). Is the Cardiff acuity test effective in detecting refractive errors in children? *Optometry and Vision Science*, 83 (8), 577–581.
- Jones, D., Westall, C., Averbeck, K., Abdolell, M. (2003). Visual acuity assessment: a comparison of two tests for measuring children's vision. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 23, 541–554.
- Kaiser, P. K. (2009). Prospective evaluation of visual acuity assessment: A comparison of Snellen versus ETDRS charts in clinical practice (an aos thesis). *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 107, 311–324.
- Kushner, B. J., Lucchese, N. J., Morton, G. V. (1995). Grating visual acuity with Teller cards compared with Snellen visual acuity in literate patients. *Archives of Ophthalmology*, 113, 485–493.
- Leat, S. J., Yadav, N. K., Irving, E. L. (2009). Development of visual acuity and contrast sensitivity in children. *Journal of Optometry*, 2(1), 19–26.
- Levenson, J. H., & Kozarsky, A. (1990). Clinical methods: The history, physical, and laboratory examinations. Chapter 115—Visual acuity. 3rd edition. (pieejams <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK219/>)
- Levin, L. A., & Adler, F. H. (2011). Adlers physiology of the eye. Edingburg: Saunders; Elsevier, 11, 627–645.
- McDonald, M. A., Dobson, V., Sebris, S. L., Baitch, L., Varner, D., Teller, D.Y. (1985). The acuity card procedure: a rapid test of infant acuity. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 26, 1158–1162.
- Rydberg, A., Ericson, B., Lennerstrand, G., Jacobson, L., Lindstedt, E. (1999). Assessment of visual acuity in children aged 1 ½–6 years, with normal and subnormal vision. *Strabismus*, 7 (1), 1–24.
- Silverstein, E., Williams, J. S., Brown, J. R., Bylykbashi, E., Stinnett, S. S. (2020). Teleophthalmology: Evaluation of phone-based visual acuity in a pediatric population. *American Journal of Ophthalmology*, 221, 199–206.

Acs akomodācijas traucējumu paredzamība pēc ORZN izstrādātās manuālā redzes skrīninga metodes

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

Anotācija

Pēdējos gados skolas vecuma bērnu redzes paradumi piedzīvo krasas izmaiņas. Mūsdienās skolēnu redzes slodze ir saistīta ne tikai ar lasīšanu un rakstīšanu, bet arī ar plašu visdažādāko viedierīču lietošanu tuvā skatīšanās attālumā gan mācību procesa ietvaros, gan brīvā laika pavadīšanai (UNICEF, 2017; Przybylski & Weinstein, 2019). Tik liela redzes sistēmas slodze, kas pieprasa precīzu fokusēšanos un skata fiksāciju ļoti tuvā skatīšanas attālumā, bieži pārsniedz bērna fizioloģiskās spējas un noved pie traucējumiem akomodācijas un/vai vergences sistēmas darbībā (Podugolnikova et al., 2014, Christian et al., 2018; Falkenberg et al., 2018). Jaunākie pētījumi rāda, ka starp visdažādākajiem redzes traucējumiem akomodācijas un/vai vergences sistēmas traucējumi ir sastopami 30,9 % līdz 39 % skolēniem (Švede et al., 2015, Falkenberg et al., 2018). Pētījuma mērķis bija izvērtēt Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas izstrādātās manuālā redzes skrīninga metodes (LU un ERAF projekts Nr. 2011/0004/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/027 "Skolas vecuma bērnu redzes un redzes uztveres traucējumu pētīšana un diagnostikas metodikas izstrāde") pielietojamību dažādu akomodācijas traucējumu veidu prognozēšanai.

Pētījumā tika izanalizēti dati, kas tika iegūti ar LU ORZN izstrādātā manuālā redzes skrīninga metodi (87 % jutīgums, 77 % specifiskums). Tika izvērtēti 11032 skolas vecuma bērnu redzes skrīninga rezultāti un 1598 skolēnu padziļinātās redzes pārbaudes rezultāti (vecums no 6 līdz 19 gadiem), kuri tika pārbaudīti laika posmā no 2011. līdz 2013. gadam. Redzes skrīninga laikā akomodācijas darbības atbilstība normai tika vērtēta ar $\pm 2,00$ D flipera testu (modificētais akomodācijas viegluma tests). Padziļinātās redzes pārbaudes laikā tika novērtētas visas nepieciešamās akomodācijas un vergences sistēmas funkcijas, lai precīzi uzstādītu akomodācijas traucējumu diagnozes, balstoties uz Scheiman & Wick (2013) publicētajiem kritērijiem. Datu statistiskai apstrādei tika izmantoti Pīrsona hī-kvadrāta un Fišera testi, kā arī Spīrmena rangu korelācijas koeficients.

Rezultāti parādīja, ka modificēto akomodācijas viegluma testu var izmantot, lai redzes skrīninga laikā atlasītu skolēnus ar iespējamiem akomodācijas traucējumiem ($\chi^2 = 25,18$, $p < 0,001$). Tomēr, modificētā akomodācijas viegluma testa rezultātus vai tā kombināciju ar modificētā vergences viegluma testa, redzes asuma tuvumā testa vai heteroforijas tuvumā testa rezultātiem nevar izmantot, lai no redzes skrīninga datiem prognozētu konkrētas diagnozes tādiem izplatītiem akomodācijas darbības traucējumiem kā akomodācijas ekscess, akomodācijas vājums, akomodācijas nepietiekamība vai akomodācijas kūtrums ($p < 0,05$).

Atslēgas vārdi: acs akomodācijas traucējumi, redzes skrīnings, tuvuma redzes funkcijas, skolas vecuma bērni.

Literatūras pārskats

Redze sniedz lielāko daļu priekšstatu un zināšanu par apkārtējo pasauli bērna attīstības un mācību procesā (*Podugolnikova et al.*, 2014). Laba redze ir nepieciešama, lai dažādos dzīves posmos bērns varētu iepazīt pasauli, mācīties un spēt sasniegt savus mērķus. Patiesībā, laba redze un acu veselība ir nosacījums bērna veiksmīgai socializācijai, mācīšanās panākumiem un ekonomiskajai neatkarībai nākotnē, jo redzes funkciju traucējumi negatīvi ietekmē bērna smalko un lielu kustību motoriku, acu-roku koordināciju, kognitīvās spējas (*Basch*, 2011; *Podugolnikova et al.*, 2014; *Metsing et al.*, 2018).

Bērnu redzes paradumi mūsdienīgajā pasaulē piedzīvo krāsas izmaiņas. Datori un digitālās ierīces dominē mūsu dzīvē. Tagad bērni jau no pirmsskolas vecuma pavada daudz laika ar digitālajām ierīcēm. Dienā ar viedierīcēm pirmsskolas vecuma bērni pavada vidēji 3,7 stundas, sākumskolas bērni – 4,5 stundas, pamatskolas bērni – 6,2 stundas (*Rhodes*, 2017), turklāt skolas vecuma bērni plaši izmanto datorus un visdažādākās viedierīces ne tikai mācību procesā, bet arī brīvā laika pavadīšanai (*UNICEF*, 2017; *Przybylski & Weinstein*, 2019).

Papildus arī mūsdienu izglītības sistēmas prasības pieaug un skolēni arvien vairāk laika spiesti pavadīt nodarbībās skolā vai veicot mājas darbus tuvā skatīšanas attālumā. Jāpievērš uzmanība arī tam, ka drukāto mācību materiālu un mūsdienu digitālo ierīču fontu lielums pakāpeniski samazinās, kas samazina viedierīču izmantošanas attālumā (*Falkenberg et al.*, 2019). Tālmācība, kas tika ieviesta daudzās valstīs COVID-19 izplatības ierobežošanas dēļ, ir veikusi savas korekcijas un dažādās vecuma grupās skolēnu saskarsmes laiks ar digitālajiem ekrāniem pieauga no 29 % līdz 76 %. (*Schmidt et al.*, 2020; *Graham & Sahlberg*, 2021; *Sigmundová & Sigmund*, 2021). Tik liela redzes sistēmas slodze, kas pieprasa precīzu fokusēšanos un skata fiksāciju ļoti tuvā skatīšanās attālumā, palielina slodzi uz akomodācijas un vergences sistēmu un bieži pārsniedz bērna fizioloģiskās spējas (*Podugolnikova et al.*, 2014; *Christian et al.*, 2018).

LU un ERAF projekta “Skolas vecuma bērnu redzes un redzes uztveres traucējumu pētīšana un diagnostikas metodikas izstrāde” (Nr. 2011/0004/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/027) ietvaros tika konstatēts, ka lielākajai daļai Latvijas skolēnu (30,9 %), kuri pēc veiktā redzes skrīninga tika nosūtīti uz padziļināto redzes pārbaudi, var būt akomodācijas un/vai vergences sistēmas traucējumi (*Švede et al.*, 2015). Līdzīgi rezultāti tika iegūti pētījumā Norvēģijas skolēnu vidū, kad vergences un akomodācijas traucējumi tika konstatēti 39 % bērnu, kuriem bija ar redzi saistītie traucējumi (*Falkenberg et al.*, 2018).

Redzes skrīnings ir ātrs un efektīvs veids, lai atlasītu bērnus ar redzes funkciju traucējumiem (*Gallaway*, 2010). Tomēr mūsdienās skolas vecuma bērnu redzes skrīnings nav plaši izplatīts un atbalstīts, kā arī neeksistē tā standartizēts protokols (*Mathers et al.*, 2010; *Evans et al.*, 2018; *Metsing et al.*, 2018). Esošo situāciju var skaidrot ar to, ka nekoriģētas refrakcijas anomālijas, akomodācijas un vergences sistēmas traucējumus šajā vecuma grupā nevar pieskaitīt pie nopietnām veselības problēmām un minētie stāvokļi neatbilst galveno medicīnas skrīninga kritēriju pirmajam punktam: “Skrīninga programmai jāatklāj nozīmīga veselības problēma” (*Cochrane & Holland*, 1971).

Literatūrā minētās galvenās atziņas par skolas vecuma bērnu redzes skrīningu ir tādas, ka tomēr tā realizācija ir ļoti svarīga, jo ļauj identificēt tādus redzes traucējumus, kas varētu traucēt bērnu fizisko, intelektuālo, sociālo un emocionālo attīstību (*Evans et al.*, 2009; *Falkenberg et al.*, 2019), kā arī skolēnu redzes skrīninga protokolā būtu jāiekļauj akomodācijas un vergences sistēmas nevērtēšanas testus, jo bērniem ar mācīšanās grūtībām bieži novēro tieši tuvuma redzes funkciju traucējumus (*Hopkins et al.*, 2013; *Dudovitz et al.*, 2016; *Schnell et al.*, 2019). Pētījuma mērķis bija novērtēt LU ORZN izstrādātās manuālās redzes skrīninga metodes pielietojamību tādu akomodācijas traucējumu prognozē, kā akomodācijas kūtrums, akomodācijas vājums, akomodācijas nepietiekamība un akomodācijas ekscess.

Metodika

Pētījumā tika izmantoti dati, kas tika iegūti LU un ERAF projekta Nr. 2011/0004/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/027 "Skolas vecuma bērnu redzes un redzes uztveres traucējumu pētīšana un diagnostikas metodikas izstrāde" ietvaros, kas norisinājās laika posmā no 2011. līdz 2013. gadam. Pētījumā piedalījās bērni vecumā no 6 līdz 19 gadiem. Tika izanalizēti 11032 skolēnu redzes skrīninga rezultāti, kas tika iegūti ar LU ORZN izstrādāto manuālā redzes skrīninga metodi (87 % jutīgums, 77 % specifiskums) un 1598 skolēnu padziļinātās optometriskās pārbaudes rezultāti.

LU ORZN manuālā redzes skrīninga metode ietver tādus testus redzes funkciju novērtēšanai tuvumā, kurus pielieto akomodācijas un vergēnces traucējumu diagnostikai un diferenciāldiagnostikai: redzes asums tuvumā, akomodācijas tests ar $\pm 2,00$ D lēcām, heteroforijas tests un vergēnces tests ar 8 pd BIE/8 pd BĀ (*Krūmņa u.c.*, 2013; *Scheiman & Wick*, 2013). Redzes skrīninga laikā akomodācijas darbības atbilstība normai tika vērtēta ar modificēto $\pm 2,00$ D akomodācijas viegluma testu. Tests tika veikts binokulāri. Skolēna uzdevums bija 40 cm attālumā skaļi lasīt burtus, kas atbilst redzes asumam 0,6 vai 0,7 (decimālajās vienībās), pārmaiņām liekot viņa abu acu priekšā lēcas $+2,00$ D un $-2,00$ D. Izstrādātā modificētā akomodācijas viegluma testa specifika ir tāda, ka mērījumu var veikt arī, neievērojot nosacījumu, ka pacientam ir pilnā un binokulāri balansētā korekcija (*Scheiman & Wick*, 2013). Lai iegūtu rezultātu, bija jāreģistrē laiks sekundēs, cik ātri akomodācija spēj atslābināties, liekot acu priekšā $+2,00$ D un sasprindzināties, liekot acu priekšā $-2,00$ D. Ja skolēns nespēja lasīt burtus ar kādu no lēcu pāriem vai arī laiks, kas bija nepieciešams, lai sāktu lasīt burtus, pārsniedza 6 sekundes, tika uzskatīts, ka skolēnam ir iespējami akomodācijas un/vai vergēnces sistēmas traucējumi. Tā kā binokulārais akomodācijas viegluma tests neatšķir akomodācijas traucējumus no vergēnces traucējumiem, rezultātu interpretācija tika veikta, ņemot vērā arī citu testu rezultātus, piemēram, heteroforijas testu un/vai vergēnces testu (*Krūmņa u.c.*, 2013).

Balstoties uz redzes skrīninga laikā iegūtiem modificētā akomodācijas viegluma testa rezultātiem kombinācijā ar citu redzes funkciju tuvumā testu rezultātiem tika prognozēti sekojoši akomodācijas traucējumu veidi (saskaņā ar *Scheiman & Wick* (2013) kritērijiem, skat. 1.tab.):

- pārmērīga akomodācijas darbība (akomodācijas ekscēss), ja skolēns nespēja lasīt burtus ar $+2,00$ D lēcām vai arī fokusēšanās laiks pārsniedza 6 sekundes, kombinācijā ar ezoforiju tuvumā un/vai grūtībām atslābināt vergēnci ar 8 pd BIE;
- novājināta akomodācijas darbība (akomodācijas vājums, akomodācijas nepietiekamība) – ja skolēns nespēja lasīt burtus ar $-2,00$ D lēcām vai arī fokusēšanās laiks pārsniedza 6 sekundes, kombinācijā ar eksoforiju tuvumā un/vai grūtībām sasprindzināt vergēnci ar 8 pd BĀ;
- lēna akomodācijas atbildes reakcija (akomodācijas kūtrums) – ja skolēns nespēja lasīt burtus vai arī fokusēšanās laiks pārsniedza 6 sekundes gan ar $+2,00$ D lēcām, gan ar $-2,00$ D lēcām, ņemot vērā ka vergēnces traucējumi ar 8 pd BIE/8 pd BĀ prizmu fliperi netika konstatēti.

Padziļinātās redzes pārbaudes laikā tika novērtētas visas nepieciešamās akomodācijas un vergēnces sistēmas funkcijas, lai precīzi uzstādītu akomodācijas un/vai vergēnces traucējumu diagnozes, balstoties uz *Scheiman & Wick* (2013) publicētajiem kritērijiem (skat. 1.tab.). Visas tuvuma redzes funkcijas tika vērtētas ar pilno un binokulāri balansēto korekciju. Sakarā ar to, ka akomodācijas traucējumu diagnostikā ir iekļauti arī vergēnces aparāta darbības kritēriji, akomodācijas un vergēnces testu rezultāti tika analizēti kopā. Lai novērtētu akomodācijas aparāta darbību, tika novērtēta absolūtā un relatīvā akomodācijas amplitūda, binokulārais un monokulārais (pēc indikācijām) akomodācijas vieglums ar $\pm 2,00$ D lēcu fliperi (nepieciešamības gadījumā arī ar citu lēcu fliperi), akomodācijas atbilde jeb atpalikšana ar MEM metodi. Lai novērtētu vergēnces aparāta darbību, tika novērtēta heteroforija tuvumā un AK/A vērtība, fuzionālās vergēnces amplitūda un plūstošā konverģence.

Datu statistiskā analīze tika veikta ar *MedCalc 20.013* programmas palīdzību un *Social Science Statistics* vietnē. Tika izmantoti Pīrsona hī-kvadrāta un Fišera testi, ar kuru palīdzību var novērtēt statistiski nozīmīgu atšķirību starp divām neatkarīgajām binārajām izlasēm. Lai novērtētu, vai pastāv sakarība starp bērnu skaitu, kuriem redzes skrīningā ar modificēto akomodācijas viegluma testu tika konstatēti iespējamie akomodācijas traucējumi, un bērnu skaitu, kuriem padziļinātājā redzes pārbaudē tika konstatēti akomodācijas traucējumi, tika izmantots Spīrmena rangu korelācijas koeficients.

1.tabula

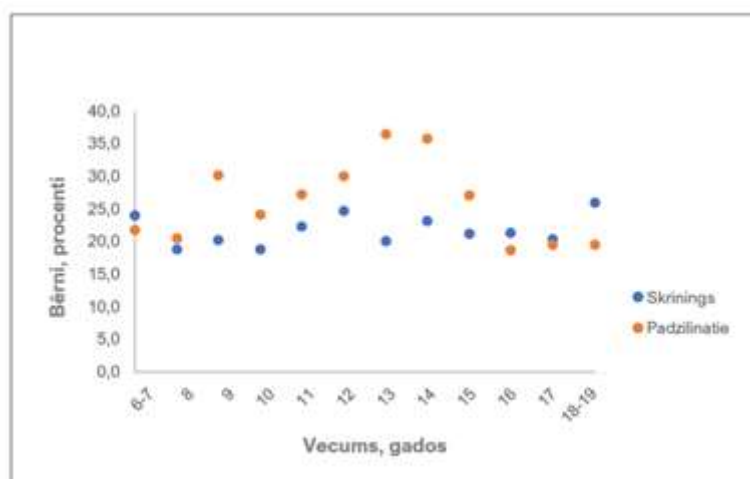
Pazīstamākās akomodācijas traucējumu diagnostiskās atradnes (*Scheiman & Wick, 2013*).

Stāvoklis	AT	AK/A	FVA	VV	AA	BAV	MAV	NRA un PRA	DR (MEM)
Akomodācijas nepietiekamība	Nav prognozējams lielums	N	BĀ miglošanās var būt zema tuv.	N	Zemas	Grūtības ar -	Grūtības ar -	Zemas PAR	Augsts
Akomodācijas vājums	Nav prognozējams lielums	N	BĀ miglošanās var būt zema tuv.	N	N	Grūtības ar -	Grūtības ar -	Zemas PAR	Augsts
Akomodācijas kūtrums	Nav prognozējams lielums	N	BĀ un BIE miglošanās var būt zema tuv.	N	N	Grūtības ar +/-	Grūtības ar +/-	Zemas PAR un NAR	N
Akomodācijas ekscēss	Nav prognozējams lielums	N	BIE miglošanās var būt zema tuv.	N	N	Grūtības ar +	Grūtības ar +	Zemas NAR	Zems
Akomodācijas spazma	Ezo>tuv.	N	BIE miglošanās var būt zema tuv.	N	N	Grūtības ar +/-	Grūtības ar +/-	Zemas NAR un NAR	Zems

Saīsinājumi: AT – aizklāšanas tests, FVA – fuzionālās vergences amplitūda, VV – vergences vieglums, AA – absolūtā akomodācijas amplitūda, BAV – binokulārais akomodācijas vieglums, MAV – monokulārais akomodācijas vieglums, NRA – negatīvā relatīvā akomodācija, PAR – pozitīvā relatīvā akomodācija, DR – dinamiskā retinoskopija, MEM metode.

Rezultāti un to analīze

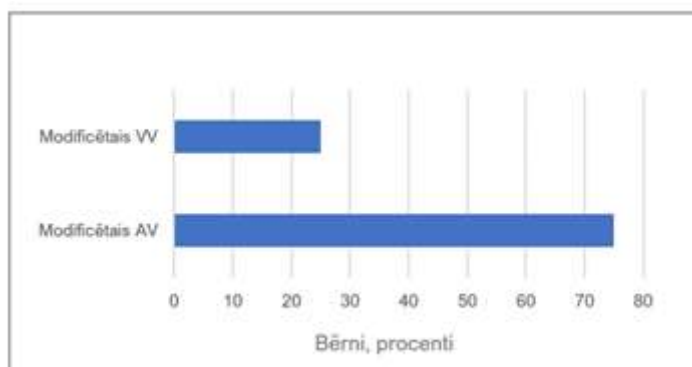
Izvērtējot skolēnu skaitu dažādās vecuma grupās, kuriem manuālajā redzes skrīningā ar izolēto modificēto akomodācijas viegluma testu tika konstatēti iespējamie akomodācijas traucējumi, un salīdzinot ar bērnu skaitu, kuriem padziļinātājā redzes pārbaudē tika konstatēti akomodācijas traucējumi, ir secināts, ka modificēto akomodācijas viegluma testu ar $\pm 2,00$ D lēcu fliperi var izmantot, lai redzes skrīninga laikā atlasītu skolēnus ar iespējamajiem akomodācijas traucējumiem ($\chi^2 = 25,18$, $p < 0,001$), ($r_s = 0,78$, $p < 0,001$) (skat. 1.att.).



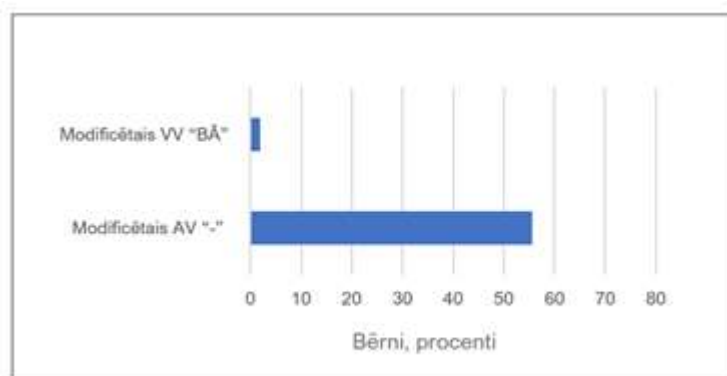
1.att. Skolēnu sadalījums dažādās vecuma grupās, kuriem manuālajā redzes skrīningā ar modificēto akomodācijas viegluma testu tika konstatēti iespējamie akomodācijas traucējumi, un skolēnu sadalījums, kuriem padziļinātās redzes pārbaudes laikā tika uzstādīta kāda no akomodācijas traucējumu diagnozēm.

Fišera testa rezultāti parādīja, ka ar $p < 0,05$ izolētā modificētā akomodācijas viegluma testa rezultātus nevar izmantot, lai prognozētu tādas konkrētas akomodācija traucējumu diagnozes kā akomodācijas kūtrums ($p = 0,46$), akomodācijas vājums ($p = 0,47$), akomodācijas nepietiekamība ($p = 0,33$) vai akomodācijas ekscess ($p = 0,21$).

Līdzīgi, Fišera testa rezultāti parādīja, ka ar $p < 0,05$ samazinātos modificētā akomodācijas viegluma testa rezultātus ar $+2,00$ D un $-2,00$ D lēcām kombinācijā ar normāliem modificētā vergēnces viegluma testa rezultātiem ar 8 pd BIE un 8 pd BĀ nevar pielietot, lai prognozētu tādu akomodācijas traucējumu kā akomodācijas kūtrums ($p = 0,22$) (skat. 2.att.). Tāpat ar $p < 0,05$, samazinātu modificētā akomodācijas viegluma testa rezultātu ar $-2,00$ D lēcām kombinācijā ar samazinātu modificētā vergēnces viegluma testa rezultātu ar 8 pd BĀ nevar pielietot, lai prognozētu tādu akomodācijas traucējumu kā akomodācijas vājums ($p = 0,09$) (skat. 3.att.).

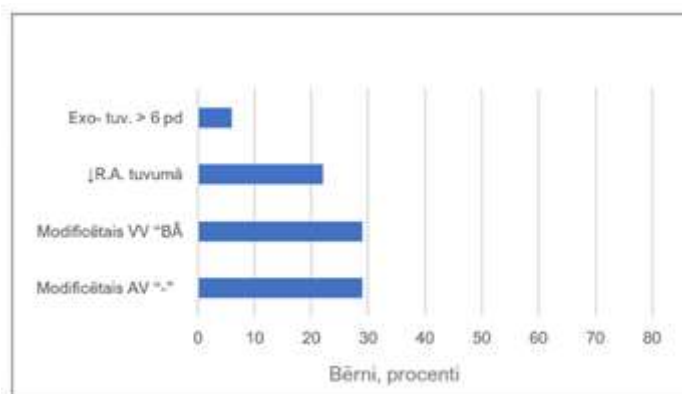


2.att. Skolēnu skaits ar diagnozi akomodācijas kūtrums (pēc padziļinātās redzes pārbaudes rezultātiem), kuriem redzes skrīninga laikā tika konstatētas problēmas modificētajā akomodācijas viegluma testā ar $+2,00$ D un $-2,00$ D lēcām, bet bija normālā atradne modificētajā vergēnces viegluma testā ar 8 pd BIE un 8 pd BĀ. Saīsinājumi: VV – vergēnces vieglums, AV – akomodācijas vieglums.



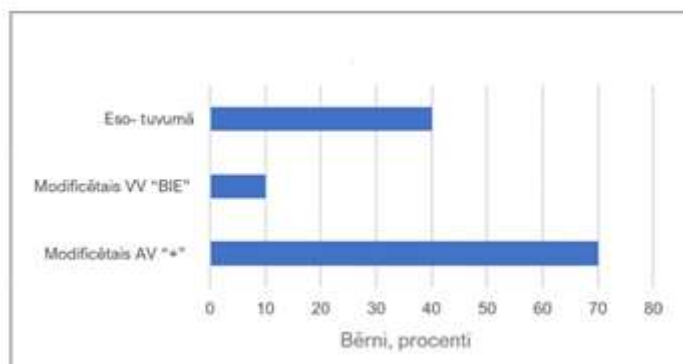
3.att. Skolēnu skaits ar diagnozi akomodācijas vājums, kuriem redzes skrīninga laikā tika konstatētas problēmas modificētajā akomodācijas viegluma testā ar -2,00 D lēcām un bija konstatētas grūtības izpildīt modificēto vergences viegluma testu ar 8 pd BĀ.

Lai novērtētu, vai ar manuālā redzes skrīninga metodi var prognozēt akomodācijas nepietiekamības diagnozi, tika izvērtēta testu kombinācija: samazināts modificētā akomodācijas viegluma testa rezultāts ar -2,00 D lēcām, samazināts modificētā vergences viegluma testa rezultāts ar 8 pd BĀ, samazināts redzes asums tuvumā un eksoforija tuvumā lielāka par 6 pd. Fišera testa rezultāti parādīja, ka ar $p < 0,05$ augstākminēto testu kombināciju nevar pielietot, lai prognozētu akomodācijas nepietiekamību ($p = 0,89$) (skat. 4.att).



4.att. Skolēnu skaits ar diagnozi akomodācijas nepietiekamība, kuriem redzes skrīninga laikā tika konstatētas problēmas modificētajā akomodācijas viegluma testā ar -2,00 D lēcām, samazināts modificētā vergences viegluma testa rezultāts ar 8 pd BĀ, samazināts redzes asums tuvumā un eksoforija tuvumā bija lielāka par 6 pd.

Lai novērtētu, vai ar manuālā redzes skrīninga metodi var prognozēt akomodācijas ekscesa diagnozi, tika izvērtēta kombinācija: samazināts modificētā akomodācijas viegluma testa rezultāts ar +2,00 D lēcām, samazināts modificētā vergences viegluma testa rezultāts ar 8 pd BIE un ezoforijas tuvumā klātbūtne. Fišera testa rezultāti parādīja, ka ar $p < 0,05$ augstākminēto testu kombināciju nevar pielietot, lai prognozētu akomodācijas ekscesu ($p = 0,87$) (skat. 5.att).



5.att. Skolēnu skaits ar diagnozi akomodācijas ekscess, kuriem redzes skrīninga laikā tika konstatētas problēmas modificētajā akomodācijas viegluma testā ar +2,00 D lēcām, samazināts modificēta vergences viegluma testa rezultāts ar 8 pd BIE un ezoforija tuvumā.

Kaut arī mūsu pētījuma rezultāti rāda, ka LU ORZN manuālā redzes skrīninga metodi nevar izmantot, lai prognozētu konkrētas akomodācijas traucējumu diagnozes, tomēr papildus pētījumi varētu palīdzēt izveidot algoritmus acs akomodācijas traucējumu paredzamībai no redzes skrīninga rezultātiem, iekļaujot šajos algoritmos vairākus redzes funkciju tuvumā novērtēšanas testu rezultātus. Sakarā ar to, ka pēc definīcijas galvenais redzes skrīninga mērķis ir atlasīt pacientus riska grupā ar iespējamām veselības traucējumiem (Cochrane & Holland, 1971; Holland et al., 2006;), redzes skrīningā pielietojamie testi paši par sevi reti var norādīt uz konkrēto redzes traucējumu veidu (Holland et al., 2006; WHO, 2020). Akomodācijas traucējumi ir daudzveidīgi un konkrētas diagnozes uzstādīšanai ir nepieciešams veikt vairākus akomodācijas un vergences funkciju novērtēšanas testus, kas paildzinātu skrīninga procedūru. Tomēr ar modificēto akomodācijas viegluma testu var veiksmīgi atlasīt pacientus ar iespējamām akomodācijas traucējumiem, kas ir pietiekams nosacījums redzes skrīninga procedūrai.

Pateicība

Pētījums tiek izstrādāts LIAA un LU projekta Nr. KC-PI-2020/10 "Redzes skrīninga un treniņu iekārtas izveide" ietvaros.

Literatūra

- Basch, C.E. (2011). Vision and the achievement gap among urban minority youth. *Journal of School Health, 81*(10), 599-605.
- Christian, L.W., Nandakumar, K., Hrynychak, P.K., & Irving, E.L. (2018). Visual and binocular status in elementary school children with a reading problem. *Journal of Optometry, 11*(3), 160-166.
- Cochrane., A.L., & Holland, W.W. (1971). Validation of screening procedures. *British Medical Bulletin, 27*(1), 3-8.
- Dudovitz, R.N., Izadpanah, N., Chung, P.J., & Slusser, W. (2016). Parent, teacher, and student perspectives on how corrective lenses improve child wellbeing and school function. *Maternal and Child Health Journal, 20*(5), 974-983.
- Evans, J., Smeeth, L., & Fletcher, A. (2009). Vision screening. *British Journal of Ophthalmology, 93*(6), 704-705.
- Evans, J.R., Morjaria, P., & Powell, C. (2018). Vision screening for correctable visual acuity deficits in school-age children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews, 2*, 1-34.
- Falkenberg, H.K., Langaas, T., & Svarverud, E. (2019). Vision status of children aged 7–15 years referred from school vision screening in Norway during 2003–2013: a retrospective study. *BMC Ophthalmology, 19*, article No180.

- Gallaway, M.S. (2010). The Need for Better School Vision Screening: The Use of VERA Vision Screening in a Community Setting. *Optometry & Vision Development*, 41(4), 232-239.
- Graham, A., & Sahlberg, P. (2021). Growing Up Digital Australia: Phase 2 technical report. *Gonski Institute for Education*. Pieejams: <https://www.gie.unsw.edu.au/sites/default/files/documents/UNSW%20GIE%20GUD%20Phase%201%20Technical%20Report%20MAR20%20v2.pdf> (skatīts 19.09.2021.).
- Holland, W.W., Stewart, S., & Masseria, C. (2006). *Policy brief. Screening in Europe*. Brussels: World Health Organization, on behalf of the European Observatory on Health Systems and Policies.
- Hopkins, S., Sampson, G.P., Hendicott, P., & Wood, J.M. (2013). Review of guidelines for children's vision screenings. *Clinical and Experimental Optometry*, 96, 443-449.
- Krūmiņa, G., Švede, A., Kassaliete, E., Grabovska, I., Krokša, L., Pūce, G., Caune, K., & Ikaunieks, G. (2013). *Skolas vecuma bērnu redzes skrīnings un tuvuma redzes funkciju novērtēšanas metode*. Latgales druka.
- Mathers, M., Keyes, M., & Wright, M. (2010). A review of the evidence on the effectiveness of children's vision screening. *Child: Care, Health and Development*, 36(6), 756–780.
- Metsing, I.T., Hansraj, R., Jacobs, W., & Nel, E.W. (2018). Review of school vision screening guidelines. *African Vision and Eye Health*, 77(1), article No 444.
- Podugolnikova, T.A., Shubina, M.O., & Cherkasova, E.V. (2014). Visual screening for elementary school children: A pilot research. *New Research*, 2(39), 41-51.
- Przybylski, A.K., & Weinstein, N. (2019). Digital screen time limits and young children's psychological well-being: evidence from a population-based study. *Child Development*, 90(1), e56-e65.
- Rhodes, A. (2017). Screen time and kids: What's happening in our homes. Detailed report. *Melbourne: The Royal Children's Hospital Melbourne*. Pieejams: rchipoll.org.au/wp-content/uploads/2017/06/ACHP-Poll7_Detailed-Report-June21.pdf (skatīts 7.09.2021.).
- Scheiman, M., & Wick, B. (2013). *Clinical Management of Binocular Vision, Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders* (4th ed.). Lippincott Williams and Wilkins.
- Schmidt, S.C.E., Anedda, B., Burchartz, A., Eichsteller, A., Kolb, S., Nigg, C., Niessner, C., Oriwol, D., Worth, A., & Woll, A. (2020). Physical activity and screen time of children and adolescents before and during the COVID-19 lockdown in Germany: a natural experiment. *Scientific Report*, 10, article No 21780.
- Schnell, P., Taub, M.B., & Duckman, R.H. (2019). *Visual Development, Diagnosis, and Treatment of the Pediatric Patient* (2nd ed). Wolters Kluwer Health.
- Sigmundová, D., & Sigmund, E. (2021). Weekday-weekend sedentary behavior and recreational screen time patterns in families with preschoolers, schoolchildren, and adolescents: Cross-sectional three cohort study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), article No 4532.
- Švede, A., Krokša, L., Caune-Berzina, K., Puce, G., Grabovska, I., Ikaunieks, G., Fomins, S., Kassaliete, E., & Krūmiņa, G. (2015). Near vision problems and learning difficulties in school age children. *EAOO Budapest 2015*.
- UNICEF. (2017). The state of the world's children 2017: children in a digital world. Pieejams: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/SOWC_2017_ENG_WEB.pdf (skatīts 10.02.2021.).
- WHO. (2020). *Screening programmes: A short guide. Increase effectiveness, maximize benefits and minimize harm*. World Health Organization Regional Office for Europe.

Datortomogrāfijas attēlu aplūkošana volumetriskajā daudzplakņu ekrānā

Reičela Livitčuka, Tatjana Pladere, Viktorija Barkovska un Gunta Krūmiņa
*Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
reichele@inbox.lv*

Anotācija

Palielinoties pieejamās informācijas daudzumam, informācijas meklēšana medicīniskos attēlos var kļūt grūtāka un iespēja kļūdīties pieaug. Salīdzinot ar vienslāņu attēliem, daudzslāņu datortomogrāfijas attēlu izskatīšanas laiks ir ilgs, ja tos aplūko atsevišķu slāņu veidā plakanā ekrāna monitorā, līdz ar ko lietotājs var ātri nogurt. Lai risinātu attēlu izskatīšanas izaicinājumus, tiek piedāvāts demonstrēt daudzslāņu datortomogrāfijas attēlus kā telpiskus attēlus volumetriskajā daudzplakņu ekrānā. Tiek domāts, ka tas varētu palīdzēt atrast informāciju pareizi un ātri, jo daudzi slāņi ir redzami vienlaikus. Taču joprojām nav zināms, kā cilvēks izskata daudzslāņu medicīniskos attēlus šajā ekrānā un vai meklēšanas sniegums uzlabojas, pateicoties iespējai aplūkot telpiskus attēlus, salīdzinot to ar ierasto pieeju, kad attēlus izskata atsevišķi pa slāņiem. Tādēļ darba mērķis bija noteikt, kādā veidā tiek izskatīti datortomogrāfijas attēli, kad tos demonstrē volumetriskajā daudzplakņu ekrānā. Pētījumā piedalījās 24 dalībnieki vecumā no 20 līdz 30 gadiem. Attēlu demonstrēšanai tika izmantots plakanā ekrāna monitors un volumetriskais daudzplakņu ekrāns. Dalībnieki veica attēlu izskatīšanu trīs veidos uz abiem ekrāniem (šķērsriezumu attēli plakanā ekrāna monitorā, telpiski attēli volumetriskajā ekrānā ar un bez attēla pagriešanas iespējas), nosakot iegravētu līniju jeb mērķa elementu skaitu katrā kaulu datortomogrāfijas attēlā. Tika novērtētas sniegtās atbildes par mērķa elementiem, uzdevumam patērētais laiks, kā arī raksturotas pielietotās attēlu izskatīšanas stratēģijas. Kopumā visi attēlu slāņi tika izskatīti vismaz vienu reizi, meklējot informāciju daudzslāņu datortomogrāfijas attēlos plakanā ekrāna monitorā, savukārt demonstrēto slāņu skaits visbiežāk tika samazināts, lai atrastu informāciju volumetriskā daudzplakņu ekrāna attēlos. Pētījumā tika noteikts, ka mazāk laika uzdevuma veikšanai tika patērēts, izskatot attēlus volumetriskajā daudzplakņu ekrānā, taču nav pierādāms, ka telpiskā attēla pagriešana sniedz būtiskus uzlabojumus sniegumā.

Atslēgas vārdi: volumetriskais ekrāns, plakanā ekrāna monitors, telpiskais attēls, šķērsriezumu attēls, attēlu izskatīšanas stratēģija

Literatūras pārskats

Medicīniskie attēli ir dažādu cilvēka ķermeņa daļu attēli. Izmantojot datortomogrāfiju, tiek iegūta informācija šķērsriezumu attēlu veidā. Izskatot attēlus pa slāņiem, ir iespējams atšķirt dažādas anatomiskās struktūras, kas ir grūti paveicams ar vienslāņu attēliem. Tajā pašā laikā daudzslāņu attēli satur lielu informācijas apjomu, līdz ar ko informācijas meklēšana kļūst grūta un laikietilpīga, kad attēlus izskata plakanā ekrāna monitorā (*Andriole et al.*, 2011; *Williams & Drew*, 2019). Lai atrisinātu šķērsriezumu attēlu izskatīšanas grūtības, tiek piedāvāti alternatīvie ekrāni, tādi kā volumetriskais daudzplakņu ekrāns (*Osmanis et al.*, 2018). Tiek uzskatīts, ka parādot daudzslāņu attēlus trīsdimensiju vidē, medicīnas speciālistiem varētu tikt nodrošināta iespēja pilnvērtīgi izskatīt visu anatomisko struktūru un ātrāk atrast nepieciešamo informāciju (*Andriole et al.*, 2011).

Šķērsriezumu attēlu pieejamība ir mainījusi veidu, kā medicīnas speciālisti meklē informāciju. Tiek pielietotas dažādas attēlu izskatīšanas stratēģijas (*Venjakob et al.*, 2012; *Drew et al.*, 2013; *Ravesloot et al.*, 2015; *Den Boer et al.*, 2018), kuru analīze un izpēte palīdz noteikt efektīvāko attēlu izskatīšanas metodi. Tādēļ pētījuma mērķis bija noskaidrot, kādā veidā tiek izskatīti

datortomogrāfijas attēli, kad tos demonstrē volumetriskajā daudzplakņu ekrānā un plakanajā ekrāna monitorā.

Metodika

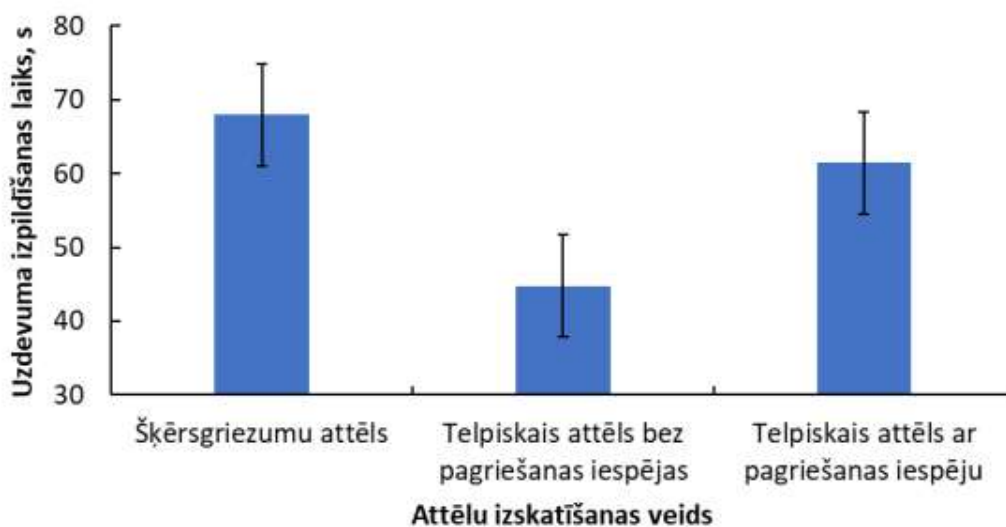
Pētījumā brīvprātīgi piedalījās 24 dalībnieki vecumā no 20 līdz 30 gadiem. Visiem dalībniekiem bija labs tuvuma redzes asums (vismaz 1,0 decimālajās vienībās) un tuvuma stereoredzes asums (vismaz 60 loka sekundes), nosakot to ar Titmusa testu. Pētījums tika veikts saskaņā ar Helsinku deklarāciju.

Pētījumā tika izmantoti divi ekrāni datortomogrāfijas attēlu demonstrēšanai: *LightSpace Technologies* volumetriskais daudzplakņu ekrāns (modelis: X1907) un *Samsung* plakanā ekrāna šķidro kristālu monitors (modelis: S24E650). Pētījumā tika izmantoti 6 dzīvnieku kaulu attēli, uz kuriem bija iegravētas horizontālas un vertikālas līnijas. Dalībnieku uzdevums bija izskatīt dzīvnieku kaulu datortomogrāfijas attēlus un atrast mērķa elementus – līnijas. To izmērs, skaits un atrašanās vieta uz kaula bija atšķirīga dažādiem kaulu paraugiem. Dalībnieki veica attēlu izskatīšanu trīs veidos: 1) attēlu izskatīšana plakanā ekrāna monitorā, aplūkojot attēlus šķērsgriezumos, 2) telpisku attēlu izskatīšana volumetriskajā daudzplakņu ekrānā ar attēla pagriešanas iespēju, 3) telpisku attēlu izskatīšana volumetriskā daudzplakņu ekrānā bez attēla pagriešanas iespējas. “Pārvietošanās” attēla slāņu ietvaros tika nodrošināta ar datorpeles palīdzību.

Pirms uzdevuma sākuma katrs dalībnieks tika iepazīstināts ar pētījuma mērķi un norisi. Lai iepazīstinātu dalībniekus ar uzdevumu, tika parādīti gan shematiski kaulu iegriezumu attēli, gan tika veikta testa uzdevuma kaulu izskatīšanas reize. Dalībnieki tika informēti, ka uzdevumi jāveic pēc iespējas ātrāk un precīzāk. Tika novērtēta gan uzdevuma izpildīšanas pareizība, gan uzdevuma izpildes laiks un attēlu izskatīšanas stratēģija. Lai raksturotu attēlu izskatīšanas stratēģiju, tika veikts videoieraksts. Dalībnieki meklēja un saskaitīja mērķa elementus, veicot attēlu izskatīšanu ar katru no trijiem izskatīšanas veidiem (jauktā secībā dažādiem dalībniekiem).

Rezultāti un to analīze

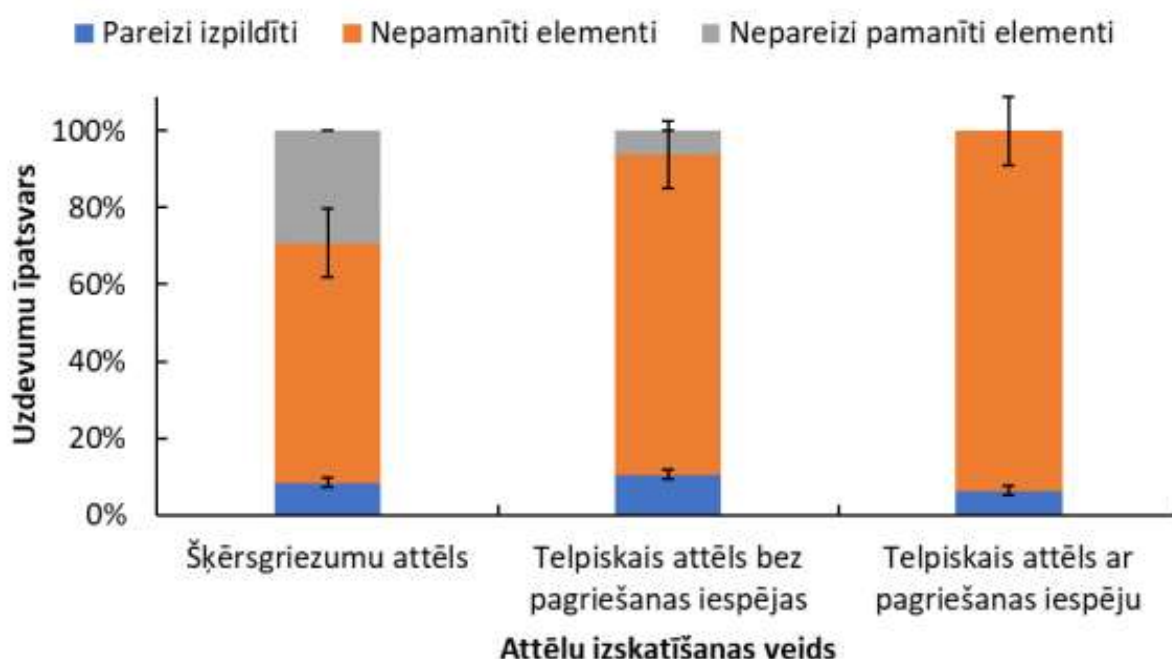
Izvērtējot uzdevuma izpildes laiku, kad tika meklēti mērķa elementi, tika noteikts, ka ilgākais laiks bija nepieciešams gadījumā, kad daudzslāņu attēls tika izskatīts šķērsgriezumos plakanā ekrāna monitorā. Savukārt visātrāk uzdevums tika paveikts, kad telpiskais attēls tika izskatīts volumetriskā daudzplakņu ekrāna nepagriežot attēlu. Visu dalībnieku vidējie rezultāti ir atspoguļoti 1.attēlā.



1.att. Vidējais uzdevuma izpildes laiks atkarībā no attēlu izskatīšanas veida.

Veicot statistiskās analīzes testu *ezANOVA*, tika iegūts, ka attēlu izskatīšanas veidam ir būtiska ietekme uz uzdevuma izpildes laiku ($F_{2,94} = 7,97, p < 0,001$). Savstarpēji salīdzinot uzdevuma izpildes laikus, statistiski nozīmīga atšķirība tika novērota gadījumā, kad uzdevumu izpilde tika veikta plakanā ekrāna monitorā un volumetriskajā daudzplakņu ekrānā bez attēla pagriešanas iespējas ($p = 0,002$). Turklāt rezultāti būtiski atšķīrās gadījumos, kad drīkstēja un nedrīkstēja pagriezt telpisko attēlu ($p = 0,014$). Tomēr vidējie uzdevuma izpildīšanas laiki bija līdzīgi, kad attēli tika izskatīti plakanā ekrāna monitorā un volumetriskajā daudzplakņu ekrānā ar iespēju pagriezt attēlu ($p = 0,976$).

Papildus tam, tika novērtēts, vai uzdevumi bija izpildīti pareizi. 2.attēlā ir novērojams, ka visbiežāk dalībnieki nepamanīja visus attēlā esošos mērķa elementus. “Nepamanīti elementi” nozīmē, ka attēlos tika noteikts mazāks mērķa elementu skaits nekā patiesībā. “Nepareizi pamanīti elementi” nozīmē, ka dalībnieki nosauca lielāku mērķa elementu skaitu nekā bija attēlots. Tikai dažreiz uzdevumi bija paveikti pareizi izskatot datortomogrāfijas attēlus abos ekrānos.



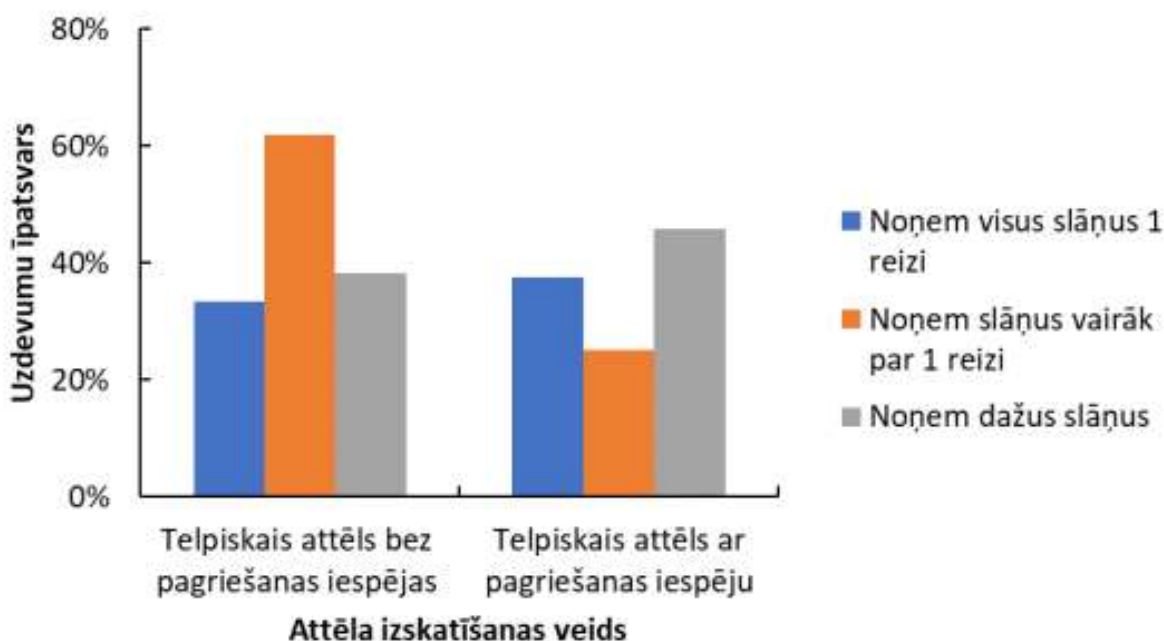
2.att. Pareizi un nepareizi izpildītu uzdevumu īpatsvars atkarībā no attēlu izskatīšanas veida.

ezANOVA testa rezultāti norādīja, ka attēlu izskatīšanas veidam ir būtiska ietekme uz nepamanīto mērķa elementu skaitu ($F_{2,94} = 6,36, p = 0,002$). Būtiskas atšķirības bija novērotas, kad attēli tika izskatīti plakanā ekrāna monitorā un volumetriskajā daudzplakņu ekrānā bez attēla pagriešanas iespējas ($p = 0,002$). Tomēr vidējie rezultāti bija līdzīgi, salīdzinot uzdevumu īpatsvarus ar nepamanītajiem elementiem gadījumos, kad drīkstēja un nedrīkstēja pagriezt telpisko attēlu ($p = 1,0$). Mazāk kļūdu tika pieļauts izskatot attēlus plakanā ekrāna monitorā, taču atšķirības nebija statistiski nozīmīgas ($p = 0,05$).

Izskatot attēlus plakanā ekrāna monitorā un volumetriskajā daudzplakņu ekrānā bez attēla pagriešanas iespējas, dažreiz tika ziņots par lielāku mērķa elementu skaitu nekā patiesībā. Jāpiebilst, ka izskatot attēlus volumetriskajā daudzplakņu ekrānā, kad bija iespējams pagriezt attēlu, neviens no dalībniekiem nesniedza lielāku mērķa elementu skaitu par patieso.

Lai raksturotu attēlu izskatīšanas stratēģijas, tika analizēti video ieraksti. Tika noskaidrots, ka aplūkojot šķērs griezumu attēlus plakanā ekrāna monitorā visbiežāk dalībnieki izskatīja visus slāņus vismaz vienu reizi. Savukārt, aplūkojot attēlus volumetriskajā daudzplakņu ekrānā dalībnieki varēja izskatīt telpisku attēlu pilnā apjomā vai samazināt informācijas daudzumu. Interesanti, ka izskatot

telpisko attēlu bez attēla pagriešanas iespējas, visbiežāk dalībnieki “noņēma” slāņus no ekrāna vairākas reizes (skat 3.att.). Savukārt, parādoties iespējai pagriezt attēlu, lielākoties tika pielietota stratēģija, kad tika noņemta tikai daļa no datortomogrāfijas attēla slāņiem. Tas nozīmē, ka dalībnieki retāk samazināja informācijas daudzumu.



3.att. Pielietoto vizuālo meklēšanas stratēģiju biežums volumetriskā daudzplakņu ekrāna attēlu izskatīšanā ar un bez attēla pagriešanas iespējas.

Kopumā redzams, ka meklēšanas uzdevuma izpildes laiks ievērojami palielinās, ja daudzslāņu medicīniskie attēli tiek izskatīti šķēsgriezumu veidā plakanā ekrāna monitorā. Kaut arī attēlu izskatīšana volumetriskajā daudzplakņu ekrānā ir ātrāka, nav pierādāms, ka sniegums būtiski uzlabojas. Nākotnē pilnveidojot volumetriskā daudzplakņu ekrāna tehnoloģiju un uzlabojot attēlu renderēšanu, būtu jāturpina analizēt medicīnisku daudzslāņu attēlu izskatīšanas stratēģijas un sniegumu. Papildus tam, lai detalizētāk izvērtētu attēlu izskatīšanas stratēģijas, turpmākajos pētījumos būtu vērts iesaistīt medicīnas speciālistus un veikt acu kustību pierakstu.

Pateicības

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

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

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.

- Den Boer, L., Van der Schaaf, M. F., Vincken, K. L., Mol, C. P., Stuijtzand, B. G., Van der Gijp, A. (2018). Volumetric image interpretation in radiology: Scroll behavior and cognitive processes. *Advances in Health Sciences Education, 23*, 783–802.
- Drew, T., Vo, M. L., Olwal, A., Jacobson, F., Seltzer, S. E., Wolfe, J. M. (2013). Scanners and drillers: Characterizing expert visual search through volumetric images. *Journal of Vision, 13*(3), 1–13.
- Osmanis, K., Valters, G., Zabels, R., Gertners, U., Osmanis, I., Kalnins, L., Kandere, U., Ozols, A. (2018). Advanced multiplanar volumetric 3d display. *Proceedings of SPIE, 10555*, Article No. 1055510.
- Ravesloot, C. J., Van der Schaaf, M. F., Van Schaik, J. P. J., Ten Cate, O. T. J., Van der Gijp, A., Mol, C. P., Vincken, K. L. (2015). Volumetric CT-images improve testing of radiological image interpretation skills. *European Journal of Radiology, 84*, 856–861.
- Venjakob, A., Marnitz, T., Mahler, J., Sechelmann, S., & Roetting, M. (2012). Radiologists' eye gaze when reading cranial CT images. *Proceedings of SPIE, 8318*, Article No. 83180B.
- Williams, L. H., & Drew, T. (2019). What do we know about volumetric image interpretation?: a review of the basic science and medical image perception literatures. *Cognitive Research: Principles and Implications, 4*(1), 21.

Papildinātās realitātes attēlu attāluma novērtējums

Viktorija Barkovska¹, Tatjana Pladere¹, Roberts Zabels², Rendijs Smukulis², Linda Krauze¹, Aiga Švede¹, Gunta Krūmiņa¹

¹*Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte, Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija*

²*LightSpace Technologies, Mārupe, Latvija*
viktorija.andriksone@lu.lv

Anotācija

Precīzai digitālās informācijas uztverei un interpretācijai ir būtiska nozīme. Tomēr plaši pieejamas attēlu projicēšanas sistēmas nenodrošina attēlus ar saskaņotiem dziļuma nosacījumiem dažādos skatīšanās attālumos, kas negatīvi ietekmē lietotāju sniegumu. Lai risinātu šo problēmu, tiek izstrādāti jauni displeji. Darba mērķis bija noteikt, kā jauna multifokālā displeja pielietojums papildinātajā realitātē ietekmē to, kā cilvēks uztver projicēto attēlu un īsto objektu savstarpējo novietojumu telpā, salīdzinot šo attēlošanas veidu ar pasaules tirgū dominējošu pieeju, kad attēlu projicēšanai dažādos skatīšanās attālumos izmanto tikai vienu fokālo plakni.

Pētījumā piedalījās 40 dalībnieki. *LightSpace Technologies* papildinātās realitātes galvas displejs tika darbināts divos režīmos: daudzplakņu režīmā (nodrošinot saskaņotus dziļuma nosacījumus) un vienas fokālās plaknes režīmā (nodrošinot nesaskaņotus dziļuma nosacījumus). Dalībnieku uzdevums bija veikt projicēto attēlu attāluma novērtēšanu, kad tie tika demonstrēti dažādos attālumos no cilvēka (45 cm, 65 cm un 115 cm).

Palielinoties attēlu demonstrēšanas attālumam, uzdevuma izpildīšanas precizitāte būtiski samazinājās gan pie saskaņotiem, gan nesaskaņotiem dziļuma nosacījumiem. Projicētā attēla attāluma novērtēšana tika paveikta ātrāk un kļūdas bija mazākas, kad dziļuma nosacījumi bija saskaņoti, tomēr statistiski nozīmīgas atšķirības netika pierādītas. Kopumā rezultāti norāda, ka turpmākā multifokālā displeja pilnveidošana varētu sekmēt lietotāju sniegumu nosakot papildinātās realitātes attēlu un īsto objektu savstarpējo novietojumu telpā.

Atslēgas vārdi: papildinātā realitāte, galvas displejs, attāluma novērtēšana, dziļuma nosacījumi

Literatūras pārskats

Precīza attāluma novērtēšana ir iespējama pateicoties dažādiem dziļuma nosacījumiem, kuru ieguldījums redzes uztverē mainās līdz ar skatīšanās attālumu (*Howard & Rogers, 2002*). Būtiska loma ir dziļuma nosacījumu saskaņotībai. Pārsvārā papildinātās realitātes vizualizācijas iekārtās izmanto tikai vienu fokālo plakni, līdz ar ko nav iespējams projicēt attēlus ar saskaņotiem dziļuma nosacījumiem dažādos skatīšanās attālumos. Stimuli vergencei un akomodācijai atšķiras, līdz ar ko rodas tā saucamais vergences-akomodācijas konflikts (*Hoffman et al., 2008; Hua, 2017*). Neatbilstošu dziļuma nosacījumu nodrošināšana papildinātajā realitātē ir viens no galvenajiem iemesliem attēlu attāluma novērtēšanas neprecizitātēm (*Hoffman et al., 2008; Swan et al., 2015; Singh et al., 2018*).

Lai pilnvērtīgi izmantotu jaunas vizualizācijas tehnoloģijas, attēliem būtu jārada tāda pati dziļuma sajūta, kā apskatot īstus objektus tajā pašā skatīšanās attālumā. Tiek izstrādāts daudzplakņu papildinātās realitātes galvas displejs, kas pateicoties vairākām fokālajām plaknēm var samazināt vergences-akomodācijas konfliktu (*Zabels et al., 2019*). Tomēr joprojām nav vienotas izpratnes par to, kā cilvēks uztver papildinātās realitātes attēlus – cilvēki var gan pārvērtēt attālumu, gan norādīt, ka attēli ir tuvāk nekā patiesībā, skatīšanās apstākļos ar vienādu vergences-akomodācijas konfliktu (*Napieralski et al., 2011; Rousset et al., 2018*). Tādēļ ir grūti paredzēt, vai novēršot konflikta ietekmi uz telpisko uztveri papildinātajā realitātē, būtu iespējams precīzāk noteikt attēlu un īsto objektu

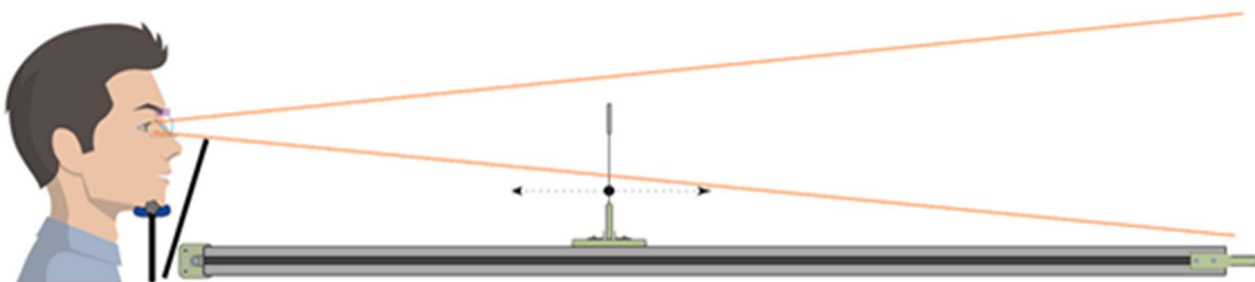
savstarpējo novietojumu telpā. Pētījuma mērķis bija noteikt, kā cilvēks vērtē papildinātās realitātes attēlus, kad ir nodrošināti saskaņoti un nesaskaņoti dziļuma nosacījumi.

Metodika

Pētījumā piedalījās 40 dalībnieki (vidējais vecums: 25 ± 3 gadi). 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 40 loka sekundes vai mazāks, noteikts ar Titmusa testu. Pētījums veikts saskaņā ar Helsinku deklarāciju un to apstiprinājusi Latvijas Universitātes Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta Zinātniskās izpētes ētikas komisija.

Pētījumā tika izmantots *LightSpace Technologies* IG-1005 papildinātās realitātes galvas displeja prototips, kura optiskais elements sastāv no 4 plaknēm ar sekojošiem fokāliem garumiem: 45 cm, 65 cm, 115 cm un 530 cm. Galvas displejs tika darbināts divos režīmos: daudzplakņu režīmā (nodrošinot saskaņotus dziļuma nosacījumus) un vienas fokālās plaknes režīmā (nodrošinot nesaskaņotus dziļuma nosacījumus).

Daudzplakņu režīmā attēlu demonstrēšanai izmantoja atbilstošas fokālās plaknes, neradot vergēnces-akomodācijas konfliktu, savukārt vienas plaknes režīmā projicētie attēli tika demonstrēti dažādos attālumos, izmantojot tikai plakni ar fokālo garumu 530 cm. Uzdevuma veikšanai tika izmantotas 2,4 m garas sliedes ar objektu augšpusē (skat. 1.att.), ko dalībnieki varēja pārvietot divos virzienos (tuvāk un tālāk no cilvēka) ar pults palīdzību.

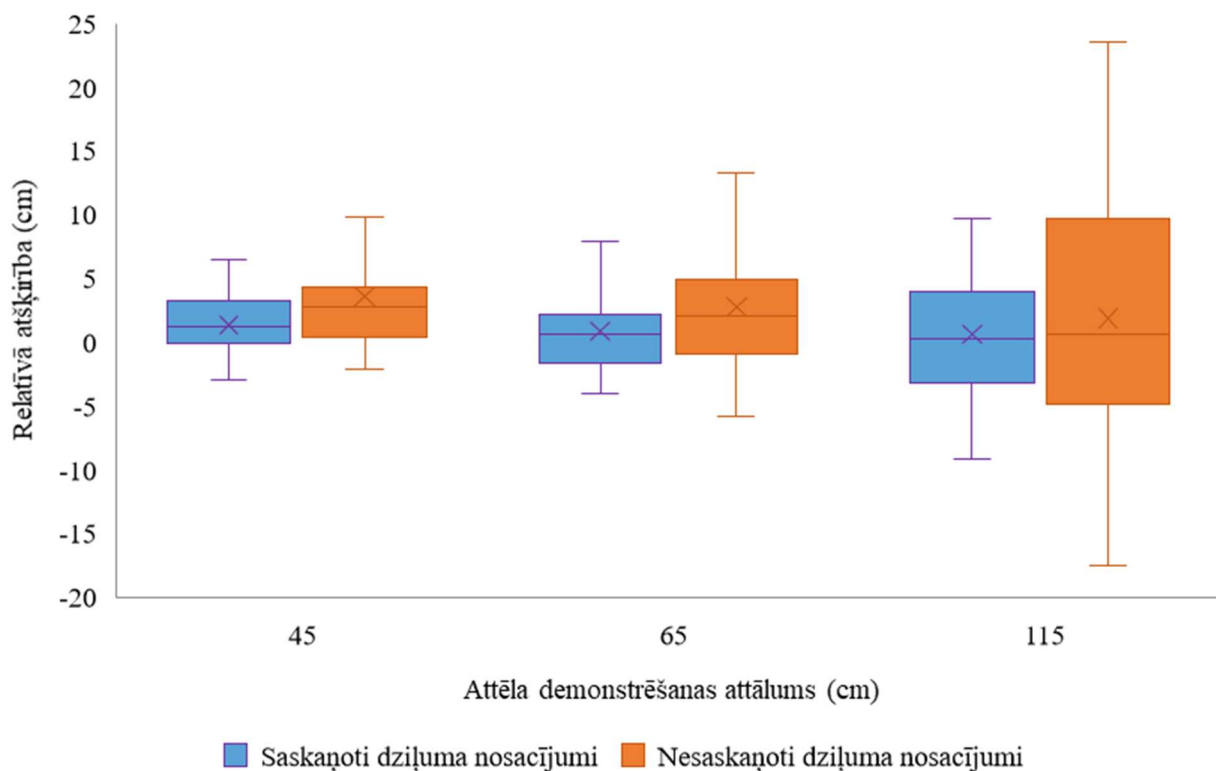


1.att. Eksperimentālais izkārtojums. Dalībnieks ar galvas displeju atradās pretī sliedēm, galvas pozīcija fiksēta ar zoda balstu. Melnā plāksne bija nepieciešama, lai dalībnieks neredzētu sliedes un robotizētās sistēmas konstrukciju.

Pēc kalibrēšanas un iepazīstināšanas uzdevumiem dalībnieki novērtēja attēla attālumu, kad attēls tika demonstrēts dažādos attālumos no lietotāja (45 cm, 65 cm un 115 cm). Katrai acij tika demonstrēts attēls, kurā daži elementi bija vienādi (zvaigzne un taisnstūra rāmis) un daži – atšķīrās (aplī). Pie nosacījuma, ka fūziju rezerves nodrošina abu attēlu sapludināšanu, dalībnieks redzēja attēlu ar vienu zvaigzni taisnstūra rāmja centrā un aplīem malās. Uzdevuma sākumā parādījās attēls un dalībniekam bija jānosauc, cik aplī bija redzami četrstūra ietvaros. Pēc atbildes saņemšanas, tika uzsākta laika atskaite un dalībnieka uzdevums bija pēc iespējas ātrāk un precīzāk novietot objektu tā, lai objekts atrastos tieši zem zvaigznes. Kad tas tika izdarīts, dalībnieks par to ziņoja un laika atskaite tika pārtraukta. Dalībnieks aiztaisīja acis ciet un tajā laikā tika nolasīts attālums, kurā dalībnieks bija novietojis objektu. Pēc attāluma nolasīšanas objekts tika novietots citā sākuma pozīcijā un sekoja nākamais mēģinājums. Kopā dalībnieks veica divas uzdevumu sesijas (ar saskaņotiem un nesaskaņotiem dziļuma nosacījumiem). 8 uzdevuma mēģinājumi tika paveikti katrā attēlu demonstrēšanas attālumā.

Rezultāti un to analīze

Lai izprastu, vai attēls tika novērtēts kā tālāk vai tuvāk esošs novērotājam, salīdzinot ar īsto attēla pozīciju, tika noteikta relatīvā atšķirība. Pozitīva relatīvā atšķirība parādīja, ka dalībnieks novērtēja attēlu tālāk nekā patiesībā tas tika demonstrēts. Negatīva relatīvā atšķirība nozīmēja, ka dalībnieks novietoja objektu tuvāk par papildinātās realitātes attēlu. Visu dalībnieku vidējie rezultāti ir atspoguļoti 2.attēlā.

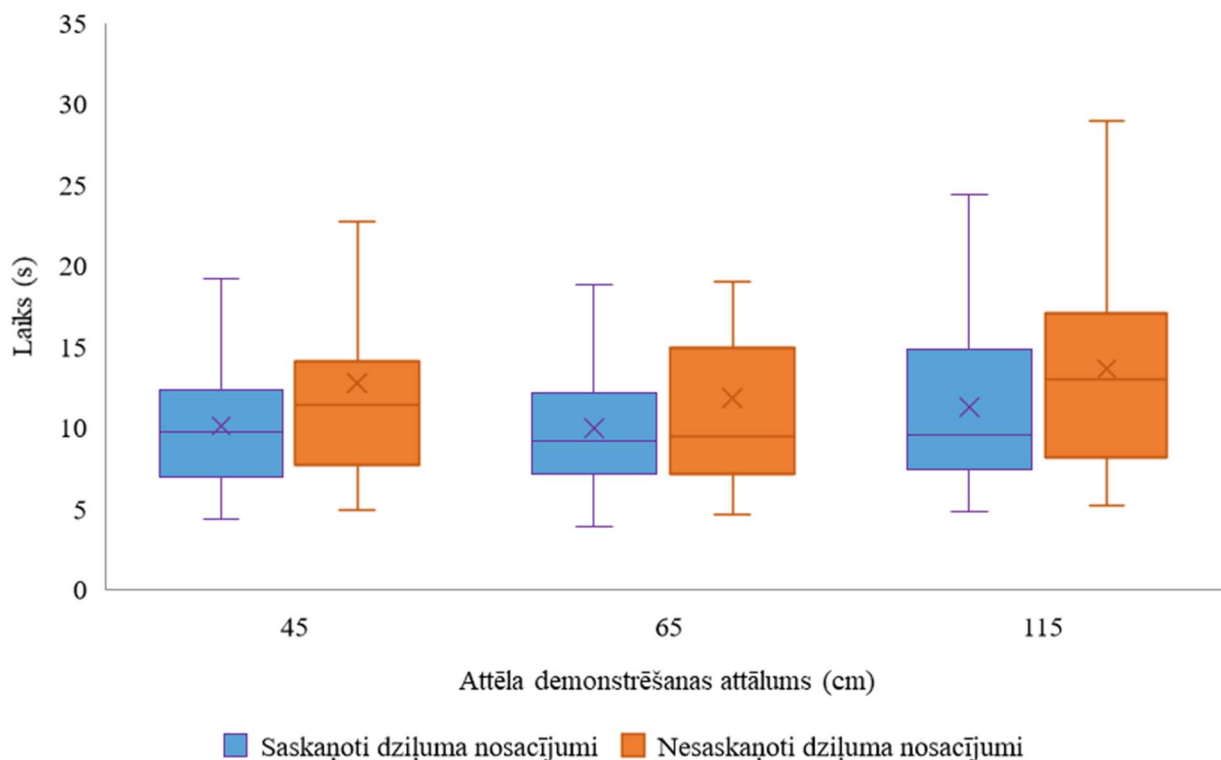


2.att. Relatīvā atšķirība atkarībā no attēla demonstrēšanas attāluma. Krusts – vidējā vērtība, vidējā līnija – mediāna, kastes augšējā līnija – augšējā kvartile (*upper quartile*), kastes apakšējā līnija – apakšējā kvartile (*lower quartile*).

2. attēlā ir redzams, ka relatīvā atšķirība bija mazākā 45 cm un 65 cm attēlu demonstrēšanas attālumos. Visbiežāk attēls tika novērtēts kā tālāk esošs (*overestimated*) nekā patiesībā, kad attēli bija parādīti tuvāk par fokālo plakni. Palielinoties attēlu demonstrēšanas attālumam, dalībnieki vairāk kļūdījās gan saskaņotu, gan nesaskaņotu dziļuma nosacījumu gadījumā. Veicot vairāku faktoru dispersijas analīzi *ezANOVA*, nozīmīga ietekme netika noskaidrota attēla demonstrēšanas attālumam ($F_{1,78} = 2,22, p = 0,10$) un dziļuma nosacījumiem ($F_{1,78} = 2,75, p = 0,13$) uz relatīvās atšķirības rezultātiem. Iegūtie rezultāti norāda, ka attēlus novērtē gan tuvāk, gan tālāk no skatītāja nekā attēla demonstrēšanas attālums pie identiskiem skatīšanās apstākļiem. Līdzīgi rezultāti tika novērojami arī citos pētījumos (*Napieralski et al., 2011; Rousset et al., 2018*), kuros galvas displeju lietotāji vērtēja papildinātās un virtuālās realitātes attēlu attālumus. Jāpiebilst, ka attāluma novērtēšanas neprecizitātes ir novērojamas arī nosakot īsto objektu novietojumu telpā (*Viguiet et al., 2001*). Tas parāda, ka attēlu attāluma novērtēšanu var ietekmēt ne tikai informācijas vizualizācijas veids, bet arī citi faktori, piemēram, redzes funkcijas un pieredzes trūkums. *Rousset et al. (2018)* norāda, ka prasmi precīzi savietot attēlus un objektus var trenēt, tomēr piebilst, ka daži cilvēki var ātrāk iemācīties izprast novietojumu salīdzinot ar citiem, kam atkārtota uzdevumu izpildīšana neuzlabo sniegumu.

Papildus tam, tika novērtēts uzdevuma izpildīšanas laiks katrā no attēlu demonstrēšanas attālumiem pie saskaņotiem un nesaskaņotiem dziļuma nosacījumiem. 3.attēlā ir novērojams, ka

uzdevuma izpildes laiks paildzinājās līdz ar attēla demonstrēšanas attālumu. *ezANOVA* testa rezultāti apstiprināja, ka attēla demonstrēšanas attālumam bija statistiski nozīmīga ietekme uz uzdevuma izpildīšanas laiku ($F_{1,78} = 11,84, p < 0,001$). Veicot t-testu savstarpēji atkarīgu izlašu vidējo salīdzināšanai tika noskaidrots, ka pastāv statistiski nozīmīgas atšķirības rezultātos 115 cm attēla demonstrēšanas attālumā ($p = 0,002$), tomēr tās netika pierādītas citos attālumos – 65 cm ($p = 0,08$) un 45 cm ($p = 0,09$). Neskatoties uz to, ka dalībnieki ilgāk pildīja uzdevumus, kad attēli tika demonstrēti tuvāk par fokālo plakni, statistiski nozīmīga ietekme nebija pierādīta dziļuma nosacījumu saskaņotībai ($F_{1,78} = 3,36, p = 0,07$).



3.att. Uzdevuma izpildīšanas laiks atkarībā no attēla demonstrēšanas attāluma. Krusts – vidējā vērtība, vidējā līnija – mediāna, kastes augšējā līnija – augšējā kvartile (*upper quartile*), kastes apakšējā līnija – apakšējā kvartile (*lower quartile*).

Nākotnē multifokālā galvas displeja arhitektūra varētu uzlabot telpisko attiecību novērtējumu starp īstiem objektiem un attēliem papildinātajā realitātē. Lai turpmāk veicinātu attēlu attāluma novērtējuma precizitāti, būtu jāpilnveido vizualizācijas tehnoloģija, padziļināti jāpēta redzes funkciju ietekme un jāveido atbilstošie lietotāju treniņi.

Pateicības

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

Literatūra

- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3), 33.
- Howard, I. P., & Rogers, B. J. (2002). *Seeing in depth, Vol. 2: Depth perception*. Toronto: Porteous.
- Hua, H. (2017). Enabling focus cues in head-mounted displays. *Proceedings of the IEEE*, 105(5), 805–824.
- Kytö, M., Mäkinen, A., Tossavainen, T., & Oittinen, P. (2014). Stereoscopic depth perception in video see-through augmented reality within action space. *Journal of Electronic Imaging*, 23(1), 011006.
- Lin, C. J., Caesaron, D., & Woldegiorgis, B. H. (2019). The effects of augmented reality interaction techniques on egocentric distance estimation accuracy. *Applied Sciences*, 9(21), 4652.
- Napieralski, P. E., Altenhoff, B. M., Bertrand, J. W., Long, L. O., Babu, S. V., Pagano, C. C., Lern, J., & Davis, T. A. (2011). Near-field distance perception in real and virtual environments using both verbal and action responses. *ACM Transactions on Applied Perception*, 8(3):18, 1–19.
- Rosales, C. S., Pointon, G., Adams, H., Stefanucci, J., Creem-Regehr, S., Thompson, W. B., & Bodenheimer, B. (2019). Distance judgments to on- and off-ground objects in augmented reality. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces*, 237–243.
- Rousset, T., Bourdin, C., Goulon, C., Monnoyer, J., & Vercher, J. L. (2018). Misperception of egocentric distances in virtual environments: More a question of training than a technological issue? *Displays*, 52, 8–20.
- Singh, G., Ellis, S. R., & Swan II, J. E. (2018). The effect of focal distance, age, and brightness on near-field augmented reality depth matching. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(2), 1385–1398.
- Swan, J., Singh, G., & Ellis, S. R. (2015). Matching and reaching depth judgments with real and augmented reality targets. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 21(11), 1289–1298.
- Viguiet, A., Clément, G., Trotter, Y. (2001). Distance perception within near visual space. *Perception*, 30(1), 115–124.
- Zabels, R., Osmanis, K., Narels, M., Gertners, U., Ozols, A., Rutenbergs, K., & Osmanis, I. (2019). AR displays: Next-generation technologies to solve the vergence-accommodation conflict. *Applied Sciences*, 9(15), 3147.

Skata pārneses parametri vizuālajā meklēšanā uz daudzplakņu volumetriskā ekrāna

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

Anotācija

Mūsdienās aizvien vairāk dažādās nozarēs, piemēram, medicīnā, izglītībā un izklaidē, izmanto telpiskus attēlus. Lai uzlabotu informācijas telpiskās attēlošanas kvalitāti, kā arī pārbaudītu jaunu ekrānu ietekmi uz attēlu dziļuma uztveri, pētījumos tiek analizētas acu kustības. Acu kustības ietekmē gan ekrāna veids, gan arī dažādi stimulu parametri, tostarp, elementu izkārtojums.

Darba mērķis bija noskaidrot, kā acu kustības ietekmē elementu izkārtojums daudzplakņu volumetriskajā ekrānā. Dalībnieki veica vizuālās meklēšanas uzdevumu uz daudzplakņu volumetriskā ekrāna, norādot, kurš no četriem apliem atradās tuvāk (mērķa elements). Apliem tika mainīta to lauka ekscentritāte – 2°, 4°, 6° un 8°, kā arī tika iekļauti attēli ar un bez mērķa elementa. Mērķa elements varēja atrasties vienā no četrām pozīcijām – augšā, pa labi, pa kreisi un lejā.

Iegūtie rezultāti parādīja, ka vizuālās meklēšanas uzdevuma izpildīšanas efektivitāte ir augstāka, ja elementi atrodas tuvu viens otram, bet samazinās, palielinoties elementa lauka ekscentritātei. Skata virziens stimula demonstrācijas laikā biežāk tiek virzīts uz mērķa elementa atrašanās vietu nekā uz pārējiem elementiem, bet, palielinoties ekscentritātei, kā arī aplūkojot attēlu bez mērķa elementa, līdzīgs laiks tiek veltīts katra elementa apskatei. Primāro skata virzienu uz mērķa elementu ietekmē ekscentritāte, bet ne mērķa pozīcija, turpretī pirmo fiksācijas laiku neietekmē ne mērķa pozīcija, ne ekscentritāte. Kopumā rezultāti norāda, ka skata pārneses parametru analīze ļauj precīzi novērtēt, kā cilvēks uztver daudzplakņu volumetriskā ekrāna attēlus, ko turpmāk ir svarīgi ņemt vērā nosakot informācijas telpiskās attēlošanas kvalitāti uz jauna ekrāna.

Atslēgas vārdi: vizuālā meklēšana, dziļuma uztvere, daudzplakņu volumetriskais ekrāns, lauka ekscentritāte, acu kustības

Literatūras pārskats

Attīstoties trīs dimensiju (3D) attēlu atveidošanas tehnoloģijām, pieaug arī telpisku attēlu pielietojuma iespējas dažādās nozarēs. Lai uzlabotu informācijas telpiskās attēlošanas kvalitāti un novērtētu gan ekrāna, gan attēlu veidu ietekmi uz redzi un uztveri, pētījumos nepieciešams analizēt un izvērtēt acu kustības. Acu kustības ietekmē dažādi faktori, piemēram, stimula kontrasts (*Näsänen*, 2001), ekscentritāte (*Staugaard et al.*, 2016), un arī tas vai attēli tiek demonstrēti 2D vai 3D veidā (*Yu et al.*, 2012). Veicot vizuālo meklēšanu, mērķa elementu atrod ātri, ja tas ir ar mazu ekscentritāti (*Staugaard et al.*, 2016). Acu kustību skaits un skata fiksāciju daudzums palielinās, pieaugot elementu ekscentritātei (*Frost & Pöppel*, 1976). Savukārt sakāžu reakcijas laiks ir visātrākais, ja stimulam ir augsts kontrasts un maza ekscentritāte (*Mazumdar et al.*, 2019).

Pētījumos (*Yu et al.*, 2012; *Zhang et al.*, 2019), kuros izvērtētas acu kustības telpisku attēlu apskatē, apskatījuši tās darbā ar simulētu 3D attēlatveidošanas iekārtu palīdzību, kur tiek izmantotas papildierīces, piemēram, polarizētas brilles, lai ieraudzītu un uztvertu telpisku attēlu. Savukārt kā acu kustības ietekmē īsti telpiski attēli, ko var iegūt, piemēram, ar daudzplakņu volumetriskā ekrāna palīdzību, nav zināms, tādēļ ir svarīgi uzzināt vairāk par acu kustību specifiku saistībā ar attēlu aplūkošanu šajā ekrānā.

Kaut gan dziļuma uztvere, pielietojot daudzplakņu volumetrisko ekrānu, jau iepriekš ir pētīta (*Konošonoka*, 2018), tomēr acu kustības netika novērtētas. Šajā pētījumā pirmo reizi tika raksturots,

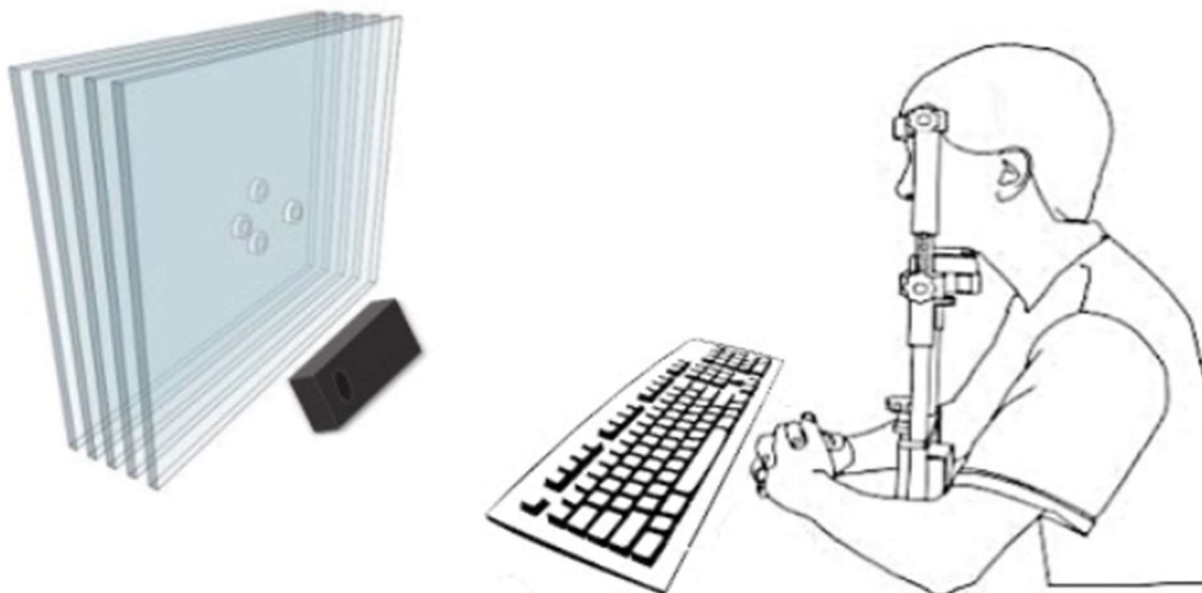
kā vizuālo elementu izkārtojums daudzplakņu volumetriskā ekrāna optiskā elementa matricā ietekmē to, kā cilvēks aplūko 3D un 2D attēlus.

Metodika

Pētījumā piedalījās 10 dalībnieki (vidējais vecums: 23 ± 1 gadi) ar emetropiju vai ar atbilstošu kontaktlēcu korekciju. Četri dalībnieki pētījumu veica kontaktlēcās, sešiem dalībniekiem bija emetropija. Visi dalībnieki atbilda sekojošiem kritērijiem: 1) binokulārais redzes asums tuvumā ir vismaz 0,8 (decimālajās vienībās), noteikts izmantojot tuvuma redzes tabulu, 2) tuvumā stereoredzes asums vismaz 40 loka sekundes vai labāks, noteikts izmantojot Titmusa testu, kā arī 3) nav šķielēšanas, ambliopijas vai citu acu slimību. Pētījums veikts saskaņā ar Helsinku deklarāciju un to apstiprinājusi Latvijas Universitātes Eksperimentālās un klīniskās medicīnas institūta Zinātniskās izpētes ētikas komisija.

Pētījumā tika izmantots SIA „*LightSpace Technologies*” daudzplakņu volumetriskais ekrāns (modelis: x1407). Savukārt acu kustības tika pierakstītas 500 Hz frekvencē izmantojot *Eyelink 1000 Plus* (SR Research, Kanāda). Tā ir uz video balstīta, neinvazīva acu kustību pieraksta iekārta, kurā tiek izmantota tumšās acs zīlītes sistēma. Pētījumā tika izmantots pie ekrāna novietojamas statiskās iekārtas uzstādījums (*Desktop mount*).

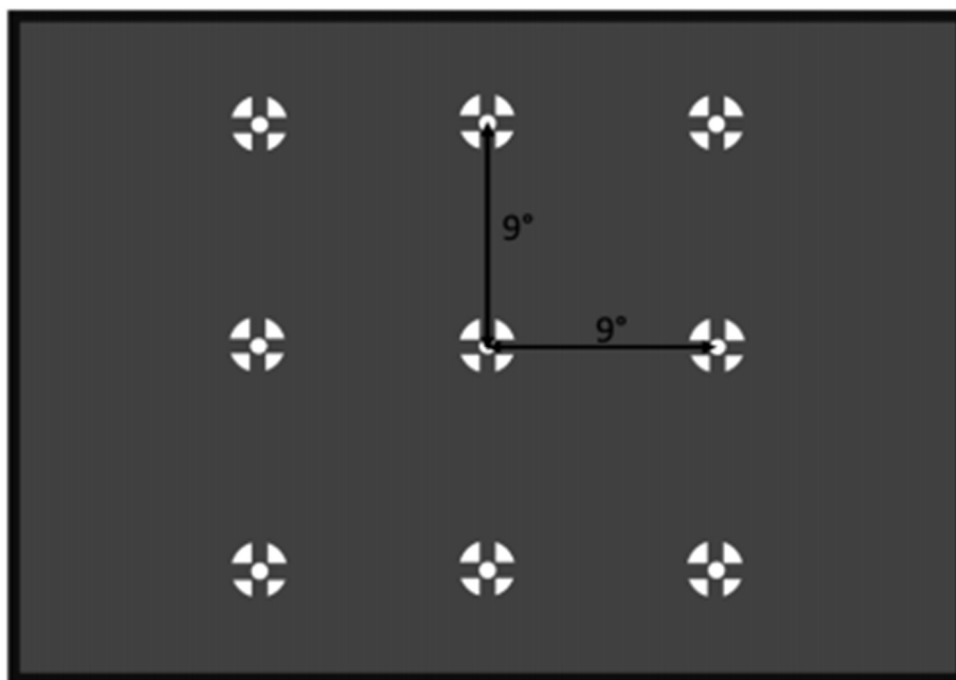
Visi dalībnieki veica vizuālās meklēšanas uzdevumu – daudzplakņu volumetriskā ekrānā tika attēloti četri gaiši apli uz tumša fona. Visi apli bija ar vienādu leņķisko izmēru – $0,6^\circ$, bet apla līnijas biezums – $0,2^\circ$. Elementi tika attēloti vienā ekrāna dziļuma segmentā (1.-5. plakne) un četrās lauka ekscentritātēs (2° , 4° , 6° un 8°). Uzdevums bija noteikt, kurš no četriem apliem uz daudzplakņu volumetriskā ekrāna tika demonstrēts tuvāk. Attēli tika demonstrēti 2 sekundes. Lai tiktu saglabāts nemainīgs attālums eksperimenta laikā, dalībnieka galva bija atbalstīta uz pieres un zoda balsta. Dalībnieks atradās 65 cm attālumā no ekrāna priekšējās plaknes, acu skatiens vērsts ekrāna centrā. Acu kustības netika ierobežotas. Eksperiments tika veikts mezopiskos apstākļos (~ 1 lx) iekļaujot 5 minūšu adaptācijas laiku. Eksperimentālais izkārtojums redzams 1.attēlā.



1.att. Eksperimentālais izkārtojums.

Pirms vizuālās meklēšanas uzdevuma uzsākšanas dalībniekiem tika demonstrēta šī uzdevuma izmēģinājuma versija, lai viņi izprastu uzdevuma nosacījumus. Ja tika novērots, ka kļūdas tiek pieļautas vairāk nekā 50 % no izmēģinājuma mērījumiem, tad dalībnieks nepiedalījās pētījumā.

Pirms katras ekscentritātes vizuālās meklēšanas uzdevuma sākšanas tika veikta acu kustību iekārtas kalibrēšanu un datu validācija uz daudzplakņu volumetriskā ekrāna. Videookulogrāfam tika izmantota deviņu punktu binokulārā acu kustību kalibrēšana ar stimulu ekscentritāti 9° no ekrāna centra horizontālā un vertikālā virzienā, kam sekoja 9 punktu validācija. Kalibrēšanas stimuli uz ekrāna tika parādīti pa vienam. To parādīšanās secība bija jaukta, vienmēr sākot ar stimulu, kas atrodas ekrāna centrā. Lai saglabātu stabilu fiksāciju, tika izvēlēts kombinēts aplis, krusta un punkta stimulsi (Thaler et al., 2013). Stimula ārējais izmērs bija $0,6^\circ$, punkta izmērs un krusta līnijas platumi – $0,2^\circ$, krāsa – balta (skat. 2.att.). Kalibrēšanas stimula demonstrēšanas laiks bija 1000 ms, un tas tika attēlots daudzplakņu volumetriskā ekrāna 3.plaknē. Kalibrēšana tika apstiprināta, ja datu validācijas rezultātā mērījuma kļūda bija mazāka par 1° , kas atbilst 30 px koordinātu novirze no patieso kalibrēšanas stimulu atrašanās koordinātām, pretējā gadījumā kalibrēšana un validācija tika atkārtota.



2.att. Kalibrēšanas stimulu izkārtojums uz ekrāna.

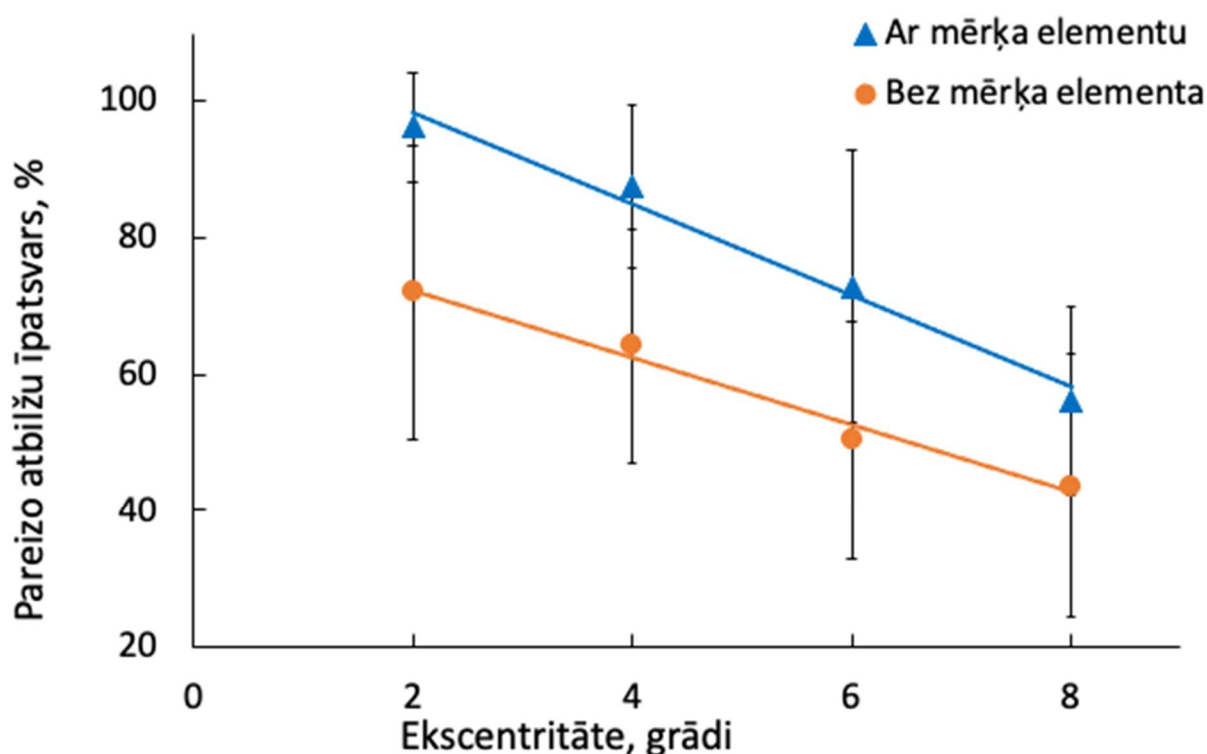
Tālāk tika veikts vizuālās meklēšanas uzdevums. Mērījumi tika veikti jauktā secībā, atsevišķi katrā lauka ekscentritātē. Jauktā secībā programmatūra izvēlējās plaknes, uz kurām tika demonstrēti aplis ekrāna dalībniekam tuvāko 5 daudzplakņu volumetriskā ekrāna plakņu robežās. Katrā pētījuma mēģinājumā viens no apliem tika projicēts par vienu plakni tuvāk novērotājam (uzdevumos ar mērķa elementu) vai arī visi elementi tika demonstrēti vienā plaknē (uzdevumos bez mērķa elementa). Ja dalībnieks uzskatīja, ka redzējis mērķa elementu, tad dalībniekam bija jānospiež viens no 4 tastatūras taustiņiem, kas norāda bultiņu virzienu – uz augšu, uz leju, pa labi vai pa kreisi – atbilstoši mērķa elementa atrašanās pozīcijai. Ja dalībnieks uzskatīja, ka visi elementi atradās vienā plaknē, tad sniedza atbildi, izmantojot atstarpes taustiņu. Atkarībā no tā, kurā plaknē (1.-5.) elementi tika demonstrēti, binokulārā disparitāte mainījās no $150''$ līdz $157''$.

Sākumā ekrāna vidū vienu sekundi tika demonstrēts fiksācijas krusts, uz kuru dalībniekam bija jāfiksē skatiens. Tad divu sekunžu garumā ekrāna centrā tika demonstrēti četri aplis. Pēc demonstrēšanas laika beigām neierobežotu laika posmu uz ekrāna tika demonstrēta jautājuma zīme, kad dalībniekam, izmantojot tastatūru, bija jāsniedz atbilde par to, kurš stimulsi atradās tuvāk. Katrā ekscentritātē tika veikti 40 mērījumi (20 uzdevumi ar mērķa elementu un 20 uzdevumi bez mērķa elementa). Uzdevumu izpildes laikā tika pierakstītas acu kustības.

Rezultāti un to analīze

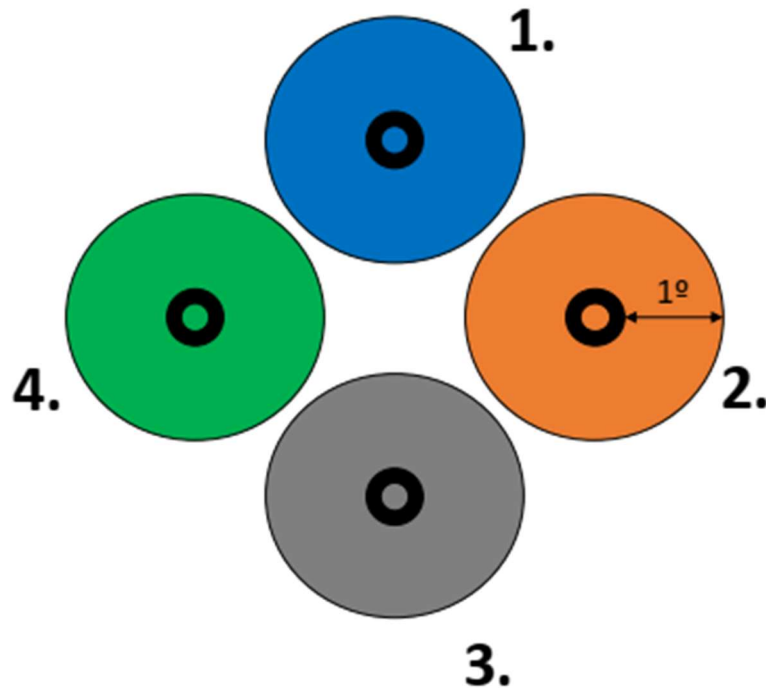
Izvērtējot meklēšanas uzdevuma izpildīšanas efektivitāti, visaugstākais pareizo atbilžu īpatsvars tika sasniegts, kad mērķa elements atradās 2° ekscentritātē. Savukārt palielinoties ekscentritātei, pareizo atbilžu īpatsvars samazinājās. Ja visi elementi atradās vienā plaknē, tad tika novērots straujāks pareizo atbilžu īpatsvara samazinājums, salīdzinot ar gadījumu, kad mērķa elements neatradās vienā plaknē ar citiem elementiem. Viszemākais pareizo atbilžu īpatsvars tika novērots gadījumā, kad stimulā ar mērķa elementu atradās 8° ekscentritātē (skat. 2.att.).

Tika noteikts, ka lauka ekscentritātei ($F(3,27) = 39,5, p < 0,05$) un mērķa elementa esamībai vai neesamībai ($F(1,9) = 14,81, p < 0,05$), ir statistiski būtiska ietekme uz pareizo atbilžu īpatsvaru. Lai noskaidrotu starp kurām ekscentritātēm ir statistiski nozīmīga atšķirība, tika izmantots *Pairwise posthoc t-tests* ar *Bonferroni* korekciju. Rezultātā statistiski nozīmīga atšķirība bija novērojama gadījumos, kad ekscentritāte izmainās par vismaz 4°. Iegūtie rezultāti ir līdzīgi citu pētījumu atradnēm, piemēram, *Huang & Pahsler (2004)* pierādīja: ja elementi ir ar līdzīgām pazīmēm, vairāk kļūdu tiek pieļauts to atpazīšanā. Cilvēkam ir vieglāk atšķirt mērķa elementu no citiem elementiem, ja tas neatrodas vienā plaknē ar citiem elementiem (*Düensser et al., 2008*), ko arī parāda meklēšanas uzdevuma izpildes efektivitāte atkarībā no elementu lauka ekscentritātes un mērķa esamības vai neesamības.



2.att. Vizuālās meklēšanas uzdevuma izpildīšanas pareizība atkarībā no mērķa elementa esamības un neesamības.

Izvērtējot acu kustības uzdevuma izpildes laikā, tika analizēts skata virziena sadalījums starp visiem stimula elementiem. Lai to varētu izvērtēt, pētījumā tika analizētas acu kustības 4 interešu zonās jeb 4 apļos, kur katrs no tiem tika numurēts. Katrā interešu zonā tika iekļauts apgabals 1° robežās apkārt katram aplim, lai iekļautu arī koordinātas, kas iekārtas kalibrēšanas kļūdas dēļ atradās nedaudz tālāk no apļa pozīcijas (skat. 3.att.).



3.att. Intereseņu zonu sadalījums.

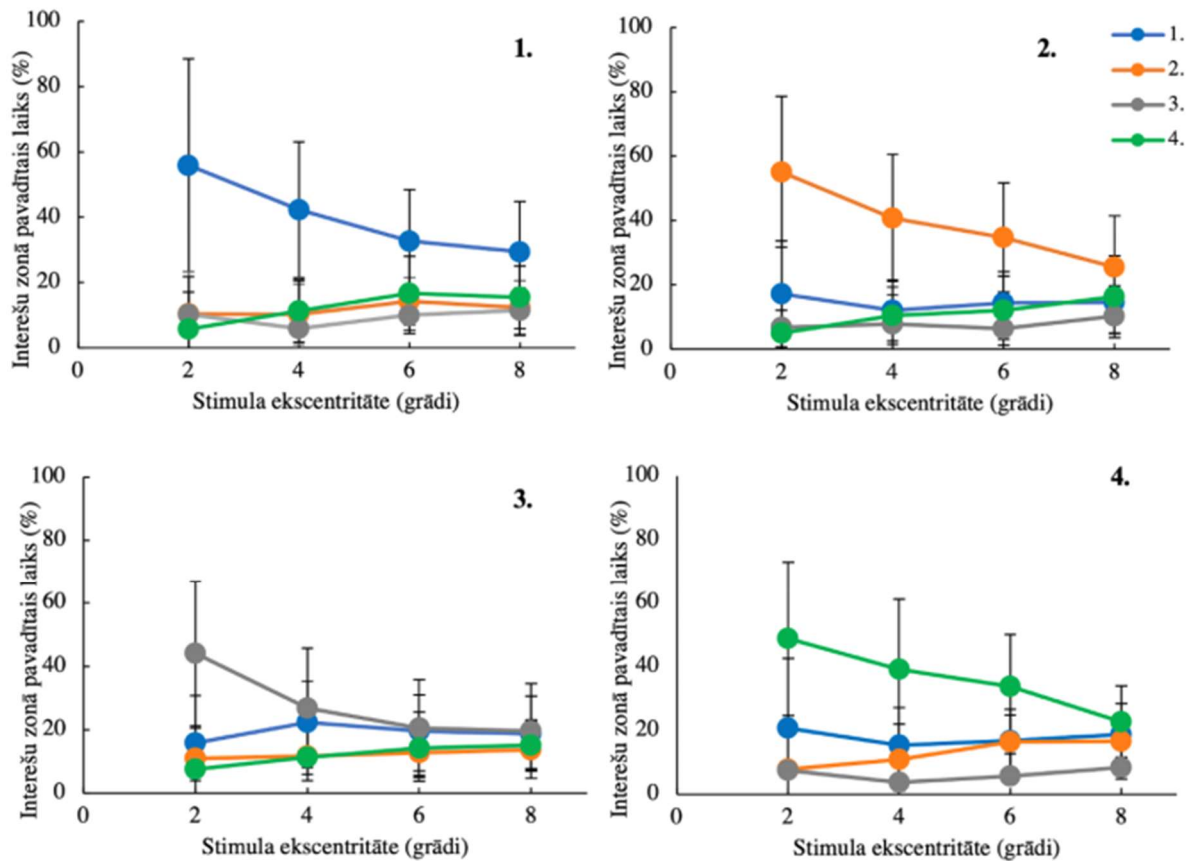
Gadījumā, ja tika demonstrēts mērķa elements, tad biežāk mazākajā ekscentritātē skata virziens tika pavērsts mērķa elementa atrašanās pozīcijā, bet, palielinoties ekscentritātei, pieauga arī citu interešu zonu apskate, tomēr joprojām vairāk laika tika veltīts elementam, kas dalībniekam atradās tuvāk (skat. 4.att.). Līdzīgi Zhang *et al.* (2019), norādīja, ka elementu dziļums būtiski ietekmē cilvēka uzmanību: jo tuvāk atrodas elements, jo vairāk uzmanības tam tiek pievērsts.

Savukārt gadījumā, kad mērķa elements netika demonstrēts, skata virziens tika sadalīts aptuveni vienlīdzīgi starp visiem stimula elementiem neatkarīgi no lauka ekscentritātes. Lai novērtētu, kā interešu zonu apskati ietekmē lauka ekscentritāte un mērķa elementa pozīcija, kā arī esamība un neesamība, datu statistiskajā analizē programmā *RStudio* tika izmantota divu faktoru atkārtotu mērījumu dispersijas analīze *ANOVA*.

Rezultātā tika noteikts, ka lauka ekscentritātei ($F(3,27) = 5,41, p < 0,05$) un mērķa elementa pozīcijai ($F(3,27) = 8,41, p < 0,05$), kā arī mērķa elementa esamībai/neesamībai ($F(3,27) = 8,41, p < 0,05$) ir pierādāma statistiski būtiska ietekme uz interešu zonās pavadīto laiku. Jau iepriekš tika parādīts, ka cilvēki vizuālās meklēšanas laikā, acu kustības uzreiz virza uz apgabalu, kur atrodas elements, kas atbilst meklētajām prasībām (Rajashekar *et al.*, 2004), bet jo līdzīgāki ir stimuli, jo ilgāks ir tā katra aplūkošanas laiks, un skatiens tika novirzīts uz katra elementa atrašanās vietu, veltot līdzīgu laika periodu katras interešu zonas apskatei (Becker, 2011).

No iegūtajiem acu kustību datiem tika izvērtēts arī pirmās fiksācijas laiks. Analizējot datus par pirmās fiksācijas laiku, kad tā uzreiz tika vērsta uz mērķa pozīciju, tika iegūts, ka lauka ekscentritātei ir pierādāma statistiski būtiska ietekme uz pirmās fiksācijas laiku ($F(3,27) = 29,31, p < 0,05$), turpretī mērķa pozīcijai tā nav pierādāma ($F(1,9) = 1,4, p = 0,267$).

Pētījumā iegūtie rezultāti apliecināja, ka stimulu izkārtojums daudzplakņu volumetriskā ekrānā ietekmē acu kustības un meklēšanas uzdevuma izpildes efektivitāti. Mazā ekscentritātē mērķa elements tiek aplūkots ilgāk, salīdzinot ar citiem elementiem, turpretī, palielinoties lauka ekscentritātei, līdzīgu laiku tiek aplūkoti visi elementi. Jāpiebilst, ka, pieaugot lauka ekscentritātei, palielinās kļūdaini pieņemto lēmumu skaits, tādējādi samazinās meklēšanas uzdevuma izpildīšanas pareizība.



4.att. Interēšu zonu sadalījums starp mērķa elementu un citiem elementiem, ja stimuls, kas atšķīrās no citiem elementiem ar dziļuma pazīmi, atradās augšā (1), pa labi (2), lejā (3), pa kreisi (4).

Lai varētu uzlabot informācijas atveidošanas kvalitāti, kā arī novērtēt jaunu ekrānu ietekmi uz redzi un uztveri, ir svarīgi detalizēti raksturot ekrāna lietotāju pieredzi. Šajā pētījumā tika apliecināts, ka acu kustību analīze sniedz objektīvu informāciju par to, kā cilvēks uztver daudzplakņu volumetriskā ekrāna attēlus atkarībā no elementu izkārtojuma. Turpmākajos pētījumos ir vērts paplašināt skata pārneses parametru analīzi, iekļaujot citus parametrus, piemēram, fiksāciju skaitu, sakāžu latenci, amplitūdu u.c.

Pateicības

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



Literatūra

Becker, S. I. (2011). Determinants of dwell time in visual search: similarity or perceptual difficulty? *PLoS ONE*, 6(3), Article No. e17740.

- Dünser, A., Billinghamurst, M., & Mancero, G. (2008). Evaluating visual search performance with a multi layer display. *Proceedings of the 20th Australasian Conference on ComputerHuman Interaction Designing for Habitus and Habitat – OZCHI '08* (pp. 307–310).
- Frost, D., & Pöppel, E. (1976). Different programming modes of human saccadic eye movements as a function of stimulus eccentricity: indications of a functional subdivision of the visual field. *Biological cybernetics*, 23(1), 39–48.
- Huang, L., & Pashler, H. (2004). Attention capacity and task difficulty in visual search. *Cognition*, 94, 101–111.
- Yu, J. H., Lee, B., Kim, D. EOG based eye movement measure of visual fatigue caused by 2D and 3D displays. *Proceedings of 2012 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics* (pp. 305–308).
- Konošonoka, V. (2018). Dziļuma uztvere uz volumetriskā ekrāna (Bakalaura darbs). Latvijas Universitāte.
- Mazumdar, D., Meethal, N., Panday, M., Asokan, R., Thepass, G., George, R. J., van der Steen, J., & Pel, J. (2019). Effect of age, sex, stimulus intensity, and eccentricity on saccadic reaction time in eye movement perimetry. *Translational Vision Science & Technology*, 8(4), Article No. 13.
- Näsänen, R., Ojanpää, H., & Kojo, I. (2001). Effect of stimulus contrast on performance and eye movements in visual search. *Vision Research*, 41(14), 1817–1824.
- Rajashekar, U., Cormack, L. K., & Bovik, A. C. (2004). Point-of-gaze analysis reveals visual search strategies. *Proceedings of SPIE*, 5292, 296-306.
- Staugaard, C. F., Petersen, A., & Vangkilde, S. (2016). Eccentricity effects in vision and attention. *Neuropsychologia*, 92, 69–78.
- Thaler, L., Schütz, A. C., Goodale, M. A., & Gegenfurtner, K. R. (2013). What is the best fixation target? The effect of target shape on stability of fixational eye movements. *Vision Research*, 76, 31–42.
- Zhang, T., Xia, L., Liu, X., Kong, W., & Wu, X. (2019). Effects of depth of field on eye movement. *The Journal of Engineering*, 2019(23), 9157–9161.

Sintonikas ietekme uz acs akomodāciju

Evita Šerpa un Gunta Krūmiņa
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
evita.serpa@gmail.com

Anotācija

Sintonika ir terapijas metode, kuras pamatprincips ir sabalansēt autonomās nervu sistēmas darbību, izmantojot dažādas redzamās gaismas frekvences. Tiek uzskatīts, ka redzes sistēmas saslīmšanas izraisa autonomās nervu sistēmas disbalanss (*Spitler*, 1941). Tā kā acs akomodācijas sistēmas darbība tiešā veidā ir saistīta ar autonomās nervu sistēmas darbību, tika pētītas tieši šīs būtiskās redzes funkcijas un to izmaiņas sintonikas terapijas ietekmē pacientiem ar dažādām redzes funkciju problēmām.

Lai analizētu acs akomodācijas funkciju izmaiņas sintonikas terapijas ietekmē, pētījumā tika analizēti pacientu izmeklējumu rezultāti, ja kā terapijas līdzeklis tika izmantota sintonika, to nepapildinot ar citiem redzes treniņiem, un ja sintonika tika papildināta ar citiem redzes treniņiem.

Pētījuma rezultāti ļauj secināt, ka sintonika, kā terapijas līdzeklis, spēj uzlabot pozitīvās un negatīvās akomodācijas rezerves.

Atslēgas vārdi: sintonika, fototerapija, filtri, acs akomodācija, redzes treniņi.

Literatūras pārskats

Kā terapeitisks līdzeklis gaisma tiek izmantota jau ļoti sen. Pēdējo desmit gadu laikā tās terapeitiskā ietekme un ietekme uz fizioloģiskajām funkcijām kopumā klīniski tiek pētīta padziļināti (*Gottlieb & Wallace*, 2010). Piemēram, gaismas terapija tiek sekmīgi izmantota miega traucējumu ārstēšanai (*Van Maanen et al.*, 2016)

Acs ir viens no galvenajiem ceļiem, kā gaisma sasniedz un iedarbojas uz ķermeni. Viena no acs primārajām funkcijām ir gaismas pārveide elektroķīmiskajā impulsā, kas tiek nogādāts uz smadzenēm (*Jernigan & Joseph*, 2013). Mūsu acis ir vienīgā ķermeņa vieta, kur vaskulāra sistēma tiešā veidā tiek pakļauta gaismas ietekmei (*Wallace*, 2009). Asinis satur foto akceptorās šūnas, kas absorbē redzamo gaismas radiāciju un regulē dažādas bioķīmiskās aktivitātes organismā (*Karu*, 2003).

Sintonika ir terapija, kurā tiek izmantotas noteiktas redzamās gaismas frekvences, ar mērķi sabalansēt autonomās nervu sistēmas darbību. Harijs Railijs Spitlers (*Harry Riley Spitler*), kurš tiek minēts kā sintonikas aizsācējs (*Gottlieb & Wallace*, 2010), secinājis, ka hroniski sistēmiskas, mentālās, emocionālās un redzes sistēmas saslīmšanas izraisa autonomās nervu sistēmas un endokrīnās sistēmas disbalanss, un ar specifiskām redzamās gaismas frekvencēm, kas organismā nonāk caur acīm, var aktivizēt un līdzsvarot autonomās nervu sistēmas un endokrīnās sistēmas darbību. Balanss tiek atjaunots tiešā veidā nodrošinot gaismas nokļūvi no tīklenes uz regulējošajiem centriem talāmā un hipotalāmā, tādā veidā iedarbojoties uz redzes disfunkcijām to izcelsmes vietā. Sarkanā, oranžā un dzeltenā gaisma, kas redzamās gaismas spektrā ir garo gaismas viļņu pusē, ir ar zemu enerģiju. Ar šiem gaismas viļņiem stimulē simpātisko nervu sistēmu. Zaļā gaisma, kas redzamās gaismas spektrā atrodas vidū, nodrošina fizioloģisko balansu. Savukārt zilā un indigo ir ar augstu enerģiju, kas aktivizē parasimpātisko nervu sistēmu (*Spitler*, 1941).

Autonomā nervu sistēma, kas sadalās simpātiskajā un parasimpātiskajā nervu sistēmā, kontrolē acs zīlītes izmēru un acs akomodāciju (*Neuhuber & Schrödl*, 2011). Simpātiskās nervu sistēmas darbība ierosina zīlītes paplašināšanos un samazina akomodācijas darbību. Savukārt parasimpātiskā nervu sistēma, pretēji simpātiskajai nervu sistēmai, ierosina zīlītes sašaurināšanos un ierosina akomodācijas atbildi (*Wallace*, 2009).

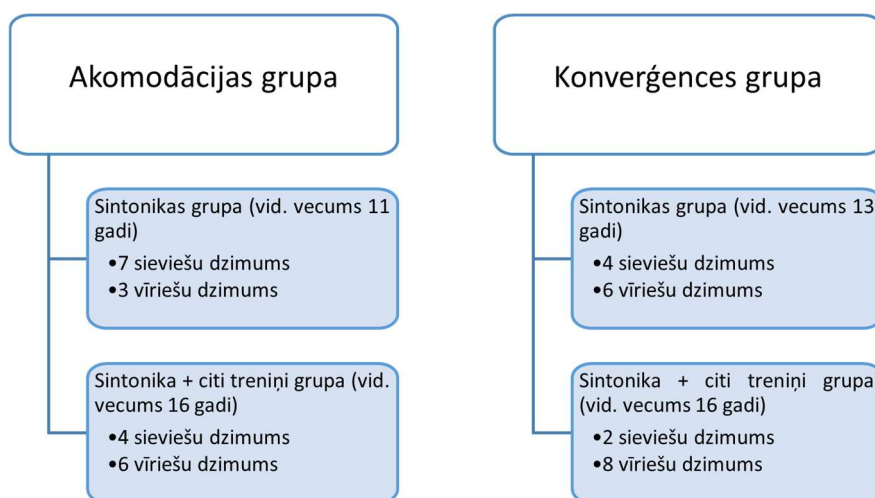
Akomodācija ir mehānisms, kas nodrošina spēju pielāgoties un, mainot acs lēcas optisko stiprumu, nodrošināt skaidru attēlu uz tīklenes mainoties novērojamā objekta atrašanās distancē. Akomodācijas darbības traucējumus un sūdzības, kas saistītas ar akomodācijas sistēmas darbības traucējumiem, ir iespējams mazināt izmantojot redzes treniņus (Cooper, 2011). Vergences un akomodācijas sistēmas darbībai jāpievērš uzmanība, jo tās disfunkcija var ietekmēt, piemēram, bērnu sniegumu skolā īpaši, kad ir jālasī smalkas drukas teksti un palielinās lasīšanas slodzes apjoms (Cooper, 2011; Shayler, 2015).

Zīlītes reakcijas tiek bieži izmantotas, lai diagnosticētu autonomās nervu sistēmas darbības traucējumus (Neuhuber & Schrödl, 2011). Zīlītes diametra izmaiņas ir atkarīgas gan no saņemtā gaismas daudzuma (Shayler, 2015), gan no tā, kāda viļņa garuma gaisma tiek izmantota nosakot zīlītes reakcijas. Zīlītes sašaurinās vairāk uz baltu gaismu un zaļu gaismu (510 nm), bet mazāk uz sarkano gaismu (600 nm) (Bonnin-Arias et al, 2015). Spitler (1941) min, ka sarkanā gaisma aktivizē simpātisko nervu sistēmu, bet, lai zīlīte sašaurinātos, nepieciešama parasimpātiskās nervu sistēmas aktivācija (Wallace, 2009). Tas iespējams izskaidro, kādēļ uz sarkano gaismu zīlīte sašaurinās mazāk nekā, piemēram, uz zaļo, kas atrodas redzamās gaismas spektra vidū un pēc Spitler (1941) secinātā, nodrošina fizioloģisko balansu.

Tā kā sintonika kā terapija tiek izmantota, lai sabalansētu autonomās nervu sistēmās darbību un acs akomodācijas darbība tiešā veidā ir saistīta ar autonomā nervu sistēmas darbību, pētījuma mērķis ir analizēt acs akomodācijas izmaiņas sintonikas terapijas ietekmē pacientiem ar dažādām redzes funkciju problēmām.

Metodika

Pētījuma ietvaros tika apskatīti klīnikas “Elisa Aribau-Centro de Optometría y Terapia Visual” (Barselona, Spānija) 117 pacientu izmeklējumu rezultāti. Pētījuma dalībniekiem - pacientiem sintonikas terapija tika īstenota laika posmā no 2006. līdz 2018. gadam. Tālākai datu apstrādei tika izmantoti 40 pacientu (vecums no 7 līdz 33 gadiem) izmeklējumi, kuri tika sagrupēti pēc vienojošas pamatproblēmas. Vienu no grupām veido 20 pacienti, kuru pamatproblēma ir acs akomodācijas darbības traucējumi, otru veido 20 pacienti, kuru pamatproblēma ir konverģences darbības traucējumi. Katra no grupām tālāk tika sadalīta apakšgrupās, balstoties uz terapijas plānu. Pacienti, kuru izmeklējumos atrodama sintonikas terapija, kas papildināta ar citiem redzes treniņiem (visiem pacientiem līdzīgiem), veidoja vienu apakšgrupu, bet pacienti, kuru izmeklējumos sintoniku nepapildināja citi redzes treniņi, veidoja otru grupu (skat. 1.att).



1.att. Pētījuma dalībnieku grupas.

Visu atlasīto pētījuma dalībnieku izmeklējuma rezultātos bija atrodams, ka to binokulārais redzes asums tālumā ir augstāks kā 0,8 decimālajās vienībās un 1,0 tuvumā. Pētījumā tika analizētas

izmaiņas negatīvo un pozitīvo akomodācijas rezervju lielumos, jo par šiem mērījumiem ir veiktas atzīmes visu pētījuma dalībnieku pacientu kartītēs gan pirms sintonikas terapijas uzsākšanas, gan pēc tās beigšanas.

Viens sintonikas terapijas kurss ietver 20 sesijas, kuras pacienti īstenoja gan mājās, gan klīnikā. Vienas sesijas ilgums ir 10 minūtes, kurā tiek kombinēti divi filtri, katru pielietojot piecas minūtes. Terapijas kursa ilgums ir četras nedēļas, vienas nedēļas laikā tika īstenotas 4-5 sesijas.

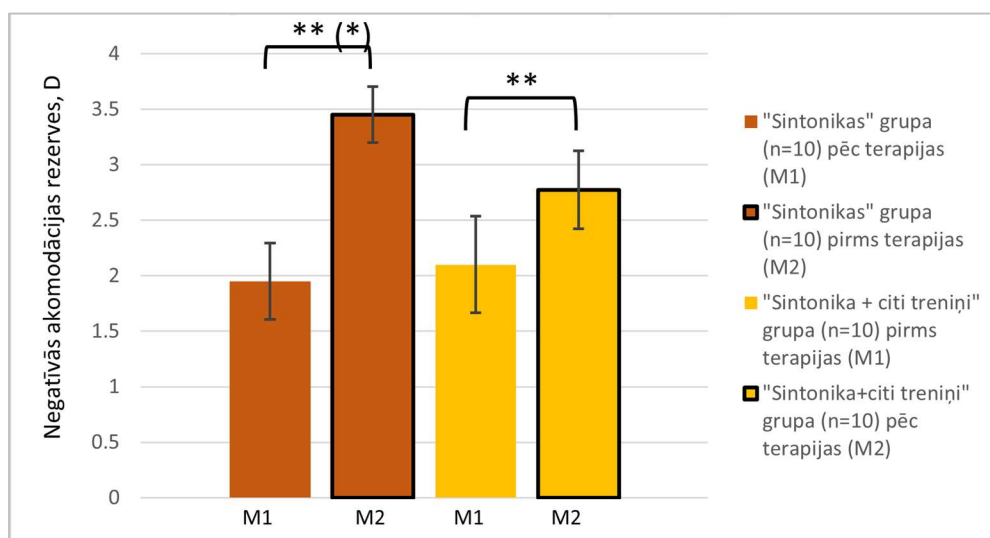
Datu statistiskajai apstrādei tika izmantots *Wilcoxon* tests, kas sniedz informāciju, vai īstenotā terapija ir bijusi veiksmīga un, lai analizētu, vai katras grupas vidējās akomodācijas rezervju izmaiņas ir nozīmīgas, tika izmantots *t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances* vai *t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances* atkarībā no tā, vai *F-test: Two Sample for Variances* uzrāda, ka paraugkopu dispersijas būtiski atšķiras vai neatšķiras.

Rezultāti

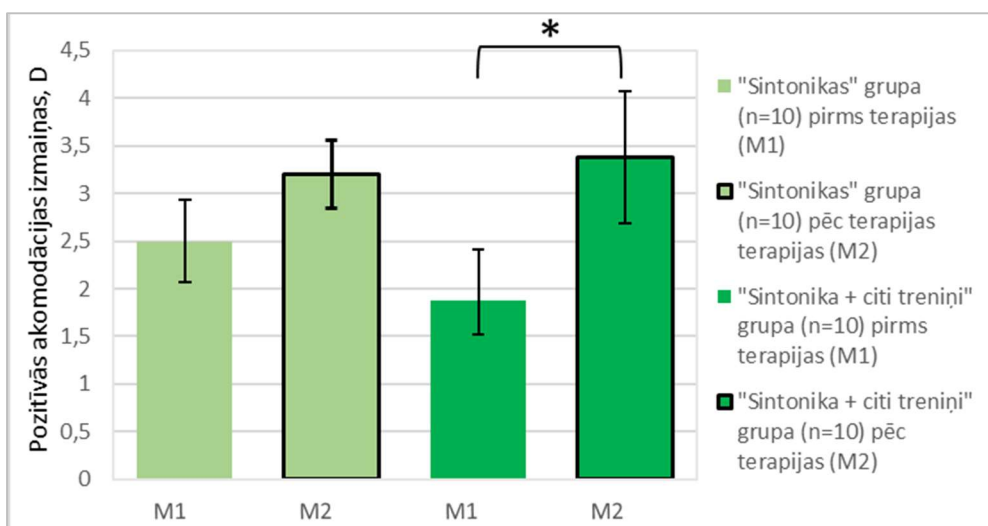
Tika analizētas negatīvo akomodācijas rezervju izmaiņas un pozitīvo akomodācijas rezervju izmaiņas, salīdzinot mērījumu pirms terapijas uzsākšanas (M1) ar mērījumu pēc tās noslēguma (M2). Tika analizētas tieši šīs akomodācijas funkcijas, jo par tām ir atrodami ieraksti visu pacientu izmeklējumos pirms un pēc terapijas.

Vispirms tika analizēta grupa, kuras vienojošā pamatproblēma ir acs akomodācijas traucējumi. Kopējās “Sintonikas” grupas dalībnieku negatīvo akomodācijas rezervju izmaiņas ir redzamas 2. att.

Apskatot “Sintonikas” grupas pozitīvo acs akomodācijas rezervju mērījumus (skat. 3. att.), būtiskas izmaiņas var novērot tikai tad, ja sintonikas terapija tiek papildināta ar citiem redzes treniņiem (* $p < 0,05$, *Wilcoxon test*). “Sintonika + citi treniņi” grupas pozitīvo akomodācijas rezervju lielums izmainījās no $1,88 \pm 0,53$ D pirms terapijas uz $3,38 \pm 0,69$ D pēc terapijas. Iegūtais novērojums liek secināt, ka šajā gadījumā sintonikas terapija, kā vienīgais terapijas līdzeklis, izmaiņas pozitīvo akomodācijas rezervju lielumā neievieš.

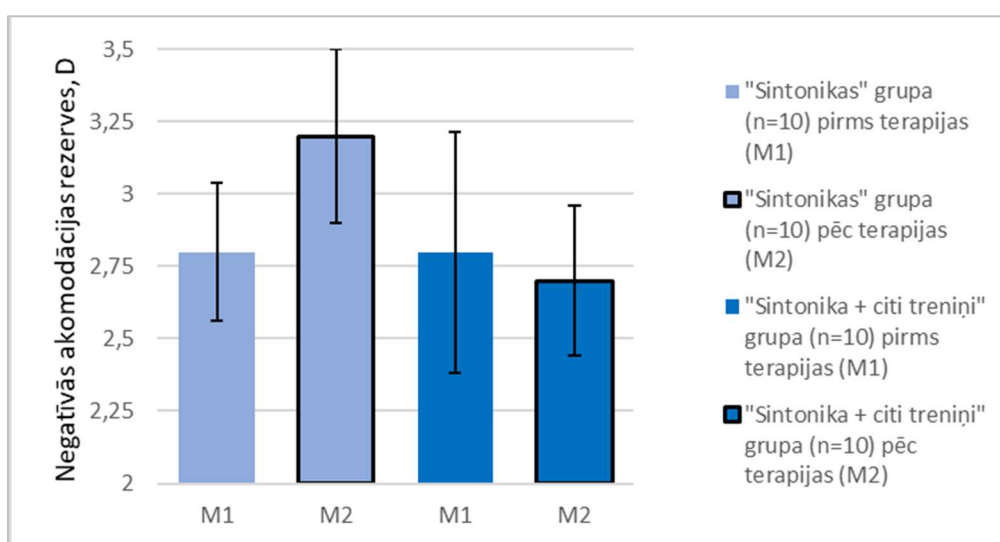


2.att. Negatīvo akomodācijas rezervju salīdzinājums pirms un pēc sintonikas terapijas “Sintonikas” un “Sintonika + citi treniņi” grupās pacientiem ar akomodācijas darbības traucējumiem.



3.att. Pozitīvo akomodācijas rezervju salīdzinājums pirms un pēc sintonikas terapijas “Sintonikas” un “Sintonika + citi treniņi” grupās pacientiem ar akomodācijas darbības traucējumiem.

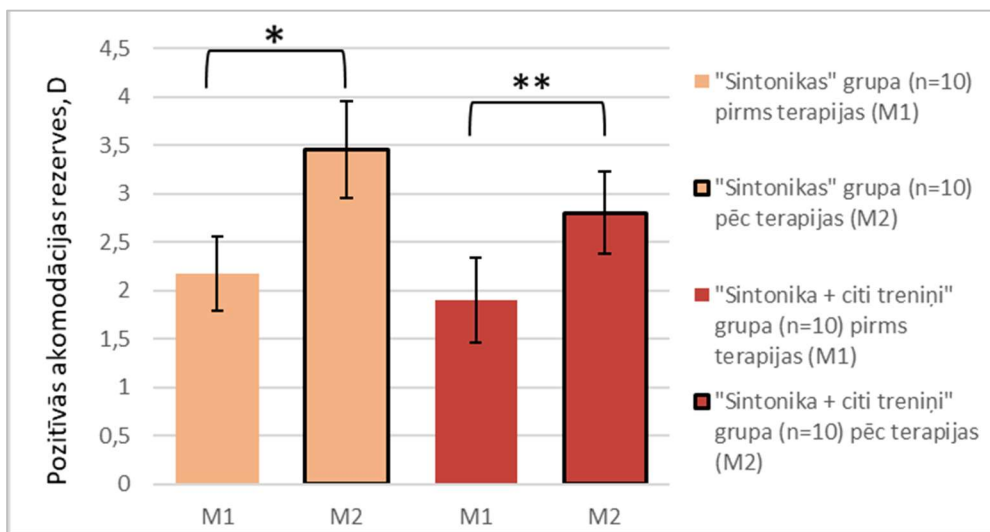
Negatīvo akomodācijas rezervju izmaiņas un pozitīvo akomodāciju rezervju izmaiņas tika analizētas arī grupai, kuriem bija konverģences darbības traucējumi. Analizējot grupas negatīvo akomodācijas rezervju mērījuma izmaiņas, būtiskas izmaiņas starp mērījumu pirms un pēc sintonikas terapijas nav novērojamas ($p > 0,05$, *Wilcoxon test*) nevienā no grupām (skat. 4. att.). Abu grupu negatīvo akomodācijas rezervju mērījumu vidējās vērtības ($2,80 \pm 0,34$ D “Sintonikas” grupā un $2,80 \pm 0,42$ D “Sintonika + citi treniņi” grupā) ir augstas. *Morgan* (1944) sagaidāmās negatīvās akomodācijas normas ir $2,00 \pm 0,50$, un šajās mērījuma robežās iekļaujas 76% pacientu. Tādēļ iegūtie rezultāti iespējams ir likumsakarīgi, jo augstu negatīvo akomodācijas rezervju gadījumā, panākt to uzlabojumu varētu būt grūti.



4.att. Negatīvo akomodācijas rezervju salīdzinājums pirms un pēc sintonikas terapijas “Sintonikas” un “Sintonika + citi treniņi” grupās pacientiem ar konverģences darbības traucējumiem.

Analizējot pozitīvo akomodācijas rezervju izmaiņas “Sintonikas” grupā, ir novērojams būtisks ($* p < 0,05$, *Wilcoxon test*) sintonikas terapijas radītais rezervju uzlabojums. Vidējās vērtības izmaiņas vērojamas no $2,18 \pm 0,39$ D pirms sintonikas terapijas uzsākšanas līdz $3,45 \pm 0,50$ D sintonikas terapijas noslēgumā. Grupā, kur sintonikas terapiju papildināja vēl citi treniņi, pozitīvo akomodācijas rezervju izmaiņas ir vēl būtiskākas ($** p < 0,01$, *Wilcoxon test*). Vidējā vērtība $1,90 \pm 0,43$ D pirms terapijas un $2,8 \pm 0,43$ D pēc terapijas (skat. 5. att.). Iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka

sintonika var uzlabot pozitīvās akomodācijas rezerves gadījumā, ja pacientam tās ir samazinātas un pacientam ir vērojamas konverģences darbības traucējumi arī tad, ja sintonika tiek izmantota kā vienīgais terapijas veids.



5.att. Pozitīvo akomodācijas rezervju salīdzinājums pirms un pēc sintonikas terapijas “Sintonikas” un “Sintonika + citi treniņi” grupās pacientiem ar konverģences darbības traucējumiem.

Diskusija

Consonni (2017) pētīja sintonikas terapijas ietekmi uz presbiopiem pacientiem, analizējot izmaiņas akomodācijas amplitūdā, adidācijas lielumā un izvērtēja sintonikas terapijas radītās izmaiņas tuvuma redzes asumā. Kopumā cita informācija un pētījumi par akomodācijas funkciju izmaiņām sintonikas terapijas ietekmē nav atrodamā. Ir pētījumi, kuros analizētas akomodācijas izmaiņas citu redzes treniņu ietekmē. Piemēram, Abrahamsson et al. (2000) novēro negatīvo un pozitīvo akomodācijas rezervju uzlabojumu pacientiem ar akomodācijas nepietiekamību pēc 2-5 nedēļu ilgām treniņiem, kā vienīgo treniņu metodi izmantojot lēcu fliperi. Sintonika, kā vienīgā izmantotā terapijas metode, nespēj būtiski uzlabot pozitīvo akomodācijas rezervju lielumus, bet sintonika, kā vienīgā treniņu metode pacientiem ar akomodācijas darbības traucējumiem, spēj panākt negatīvo akomodācijas rezervju uzlabojums 4-5 nedēļu laikā jeb pēc 20 sintonikas terapijas sesijām. Savukārt Jang et al. (2017) nenovēro būtiskas pozitīvo un negatīvo akomodācijas rezervju izmaiņas pēc 8 nedēļu redzes treniņiem konverģences nepietiekamības gadījumā, tomēr būtisks uzlabojums vērojams pacientu monokulārā akomodācijas viegluma mērījumos un akomodācijas amplitūdā. Šie akomodācijas mērījumi esošajā pētījumā netika analizēti.

Literatūrā tiek minēts, ka viens no faktoriem, kas var ietekmēt acs akomodācijas rezervju mērījumus, ir dienas laiks, kad tie veikti. Birketvedt et al. (1994) pētījumā negatīvo akomodācijas rezervju izmaiņas dienas laikā samazinājās no $2,68 \pm 0,94$ D uz $2,13 \pm 0,73$ D, bet pozitīvās akomodācijas rezerves izmainījās no $4,20 \pm 1,48$ D uz $3,13 \pm 1,29$ D. Sintonikas terapija kā vienīgā terapijas līdzekļa radītās negatīvo akomodācijas rezervju izmaiņas (no $1,95 \pm 0,34$ D pirms terapijas uzsākšanas līdz $3,45 \pm 0,25$ D pēc terapijas beigšanas Akomodācijas grupā) un pozitīvo negatīvo akomodācijas rezervju izmaiņas ($2,18 \pm 0,39$ D pirms sintonikas terapijas uzsākšanas līdz $3,45 \pm 0,50$ D sintonikas terapijas noslēgumā Konverģences grupā) ir nozīmīgākas. Tādēļ mērījuma laiku, kā būtisku faktoru, kas ietekmētu pētījuma rezultātus, tomēr gribētos izslēgt un tas ļauj secināt, ka sintonika, kā terapijas līdzeklis, spēj efektīgi uzlabot pozitīvās un negatīvās akomodācijas rezerves.

Secinājumi

Pētījuma izstrādes laikā tika sasniegts tā mērķis – novērtēt acs akomodācijas izmaiņas sintonikas terapijas ietekmē pacientiem ar dažādām redzes funkciju problēmām. Tika novērtētas akomodācijas funkciju izmaiņas pacientiem ar konverģences darbības traucējumiem un pacientiem, kuriem ir akomodācijas darbības traucējumi.

Veiktais pētījums iezīmē tendenci un apstiprina sintonikas terapijas īstenotāju apgalvojumu, ka sintonika ir efektīvs terapijas veids, lai sabalansētu redzes funkcijas redzes traucējumu gadījumos. Pētījuma rezultāti ļauj secināt, ka sintonika kā terapijas līdzeklis, spēj uzlabot pozitīvās un negatīvās akomodācijas rezerves. Tomēr šī terapijas metode nav plaši pētīta, līdz ar to nepieciešami papildu pētījumi, lai metodes efektivitātei būtu zinātnisks un objektīvs pamatojums. Tas, savukārt, nozīmē, ka nozare sniedz plašas pētniecības iespējas.

Pateicības

Pētījums tapis programmas ERASMUS⁺ prakses mobilitātes ietvaros. Paldies klīnikas «*Elisa Aribau-Centro de Optometría y Terapia Visual*» vadītājam un optometristei *Elisai Aribau* par atsaucību un iespēju veikt pētījumu klīnikā.

Literatūra

- Abrahamsson, M., Sjöström, A., & Sterner, B. (2000). Accommodative facility training with a long term follow up in a sample of school aged children showing accommodative dysfunction. *Documenta Ophthalmologica*, 99, 93-101.
- Birketvedt, O., Lie, I., & Watten, R.G. (1994). The influence of long-term visual near-work on accommodation and vergence: a field study. *Journal of Human Ergology*, 23(1), 27-39.
- Bonnin-Arias, C., Cabanillas-Campos, M.C., Chamorro-Gutiérrez, E., Lobato-Rincón, L.L., Murciano-Cespedosa, A., & Sánchez-Ramos Roda, C. (2014). Pupillary behavior in relation to wavelength and age. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, article 221, doi: 10.3389/fnhum.2014.00221.
- Consonni, R. (2017). Syntonics and presbyopia. Maģistra darbs. Latvijas Universitātes Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte, Rīga.
- Cooper, J.S. (2011). *Care of the patient with accommodative and vergence dysfunction*. American Optometric Association.
- Gottlieb, R.L. & Wallace, L.B. (2010). Syntonic Phototherapy. *Photomedicine and Laser Surgery*, 28(4), 449-452.
- Jang, J.Y., Jang, J.U., Moon, H.W., & Tai-hyung, K. (2017). Effectiveness of vision therapy in school children with symptomatic convergence insufficiency. *Journal of Ophthalmic & Vision Research*, 12(2), 187-192.
- Jernigan, D.A., & Joseph, S. (2013). Illuminated physiology & medical uses of light. *Subtle Energies & Energy Medicine*, 16(3), 251-269.
- Karu, T.I. (2003). Low-power laser therapy. In Vo – Dinh T. (Eds), *Biomedical Photonics Handbook*, CRC Press.
- Morgan M.W. Jr (1944). Analysis of clinical data. *Optometry and Vision Science*, 21 (12), 477-491.
- Neuhuber, W., & Schrödl, F. (2011). Autonomic control of the eye and the iris. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 162, 67-79.
- Shayler, G. (2015). The use of models to help our understanding of vision. *Optometry & Visual Performance*, 3(3), 138-150.
- Spitler, H.R. (1941). *The Syntonic Principle*. College of Syntonic Optometry, Eaton.
- Van Maanen, A., Meijer, A. M., van der Heijden, K. B., & Oort, F. J. (2016). The effects of light therapy on sleep problems: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 29, 52-62.
- Wallace, L.B. (2009). The theory and practice of syntonic phototherapy: A Review. *Optometry & Vision Development*, 40(2), 73-81.

Liela aditīva multifokālo kontaktlēcu ietekme uz akomodācijas atbildi un redzes asumu gados jauniem pieaugušajiem

Tīna Rumjanceva¹, Evita Kassaliete¹, Laura Zitmane¹ un Kristīne Detkova²

Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,

¹Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

²SIA "OC VISION"

evita.kassaliete@lu.lv

Anotācija

Darba mērķis: novērtēt augsta aditīva (2,50 D) mīksto multifokālo kontaktlēcu ietekmi uz akomodācijas atpalikšanu un redzes asumu. Pētījumā piedalījās 15 dalībnieki, vidējais vecums $23,4 \pm 2,4$ gadi, no kuriem 9 bija ar emetropiju un 6 ar miopiju. Pētījumā ar fotorefraktometru *PowerRef 3* tika mērītas refrakcijas izmaiņas 25 cm un 6 m attālumā, pielaiķojot dažāda veida mīkstās multifokālās kontaktlēcas, kā arī tika noteikts redzes asums tālumā ar datorizēto programmu *FrACT 3.10.5*. katrai pielaiķotajai kontaktlēcai. Aprēķinot akomodācijas atpalikšanas lielumu, tika analizēta mīksto multifokālo kontaktlēcu spēja atslābināt akomodācijas darbību, saglabājot labu redzes asumu tālumā.

Atslēgas vārdi: akomodācijas atpalikšana, redzes asums, multifokālās kontaktlēcas, miopija

Literatūras pārskats

Akomodācijas atbilde nosaka to, par cik lielu vērtību (izteiktu dioptrijās) izmainās acs refraktīvais stiprums, atkarībā no stimula atrašanās attāluma. Par normālu akomodācijas kavēšanos 40 cm attālumā tiek uzskatīta norma 0 - 0,75 D. Akomodācijas sistēmas darbībā var būt arī neprecizitātes – par pārmērīgu akomodācijas darbību tālumā esošiem objektiem tiek dēvēta pārsvara akomodācija (*lead of accommodation*), par nepietiekamu akomodācijas darbību uz tuvumā esošiem objektiem tiek dēvēta akomodācijas atpalikšana (*lag of accommodation*). Būtiskākās akomodācijas neprecizitātes sekas abos gadījumos – attēla izplūšana (*Whitefoot & Charman, 1992*).

Tiek izvirzīti pieņēmumi, ka ir savstarpējas sakarības starp akomodācijas atpalikšanu un miopijas progresiju – kontaktlēcas, kuras samazina akomodācijas atpalikšanu, var samazināt arī tuvredzības progresēšanas ātrumu (*Fedtke et al., 2016*).

Zhu et al. atziņas par multifokālo kontaktlēcu lietošanas efektivitātes ietekmējošajiem parametriem un faktoriem detalizētāk apstiprina arī *Walker et al., 2020*. gadā publicēts pētījums, kurš tika veikts ar mērķi noskaidrot, vai mīkstās multifokālās kontaktlēcas palēnina tuvredzības progresēšanu un vai lielāks aditīvs (+2,50 D) ir efektīvāks par vidēju aditīva lielumu (+1,50 D). Autori uzskata, ka aditīvs, kontrolējot perifēro staru novietojumu, palīdz samazināt acs augšanu.

Walker et al. 3 gadus ilgā pētījumā, kurā piedalījās 294 dalībnieki, rezultātos parāda, ka augsta aditīva (+2,50 D) kontaktlēcu nēsātājiem miopijas progresija palēninājās par 0,45 D un acs aksiālā garuma augšana palēninājās par 0,23 mm, salīdzinot ar monofokālo kontaktlēcu rezultātiem. Miopijas progresija palēninājās par 0,29 D un acs garuma augšana par 0,16 mm, salīdzinot augsta aditīva kontaktlēcas ar vidēja (+1,50 D) aditīva multifokālajām kontaktlēcām. Kopā pētījumā piedalījās bērni vecumā no 7 līdz 11 gadiem ar miopiju no -0,75 D līdz -5,00 D. Pēc 3 gadus ilgā pētījuma dalībnieku tuvredzība progresēja par 0,60 D, lietojot augsta aditīva (+2,50 D) multifokālās kontaktlēcas, par 0,89 D, lietojot vidēja aditīva (+1,50 D) multifokālās kontaktlēcas, un par 1,05 D, lietojot monofokālās kontaktlēcas. Rezultāti norāda uz statistiski nozīmīgu atšķirību un būtisku aditīva lielumu ietekmi attiecībā uz miopijas kontroli, secinot, ka augsta aditīva kontaktlēcas ir efektīvs miopijas kontroles rīks (*Walker et al., 2020*).

Tā kā mīkstajām multifokālajām kontaktlēcām ir liela loma redzes kvalitātes nodrošināšanā, kā arī akomodācijas darbības sabalansēšanā, pētījumā tika izvirzīts mērķis: aplūkot un novērtēt augsta aditīva mīksto multifokālo kontaktlēcu ietekmi uz akomodācijas atpalikšanu un redzes asumu tālumā.

Metodika

Pētījumā piedalījās 15 dalībnieki (4 vīrieši, 11 sievietes) vecumā no 20 līdz 29 gadiem (vidējais vecums $23,4 \pm 2,4$ gadi). No 15 dalībniekiem 9 bija emetropija, kuriem redzes korekcija ikdienā nav nepieciešama un iepriekš nekad nav lietota. Pārējiem 6 dalībniekiem (5 sievietes, 1 vīrietis) bija tuvredzība jeb miopija (ar sfērisko komponenti no $-1,25$ D līdz $-2,75$ D).

Pētījumā galvenokārt tika izmantota iekārta ekscentriskais fotorefraktometrs ar nosaukumu „PowerRef 3”. Primāri fotorefrakcija ir balstīta uz reālā laikā uzņemtu mērījumu kopumu, lai precīzi noteiktu acs refrakciju (Demirci, 2013).

Dalībniekiem tika pielaiktas sfēriskas aditīva ($+2,50$ D) kontaktlēcas, kā arī dažādu firmu multifokālās kontaktlēcas ar augstu aditīvu. Pētījumā izmantotās kontaktlēcas:

- *Clariti 1 day sph* (BC 8,6, DIA 14,1) (ametropijas korekcija);
- *Clariti 1 day* monofokālās KL (ametropijas korekcijai pieskaitītas 2,50 D);
- *Biofinity Multifocal D* (BC 8,6, DIA 14,0), add 2,50
- *Biofinity Multifocal N* (BC 8,6, DIA 14,0), add 2,50
- *Diviniti Oxy Pro161 Multifocal* (BC 8,6, DIA 14,2), add *High*;
- *Clariti Multifocal* (BC 8,6, DIA 14,1), add *High*;
- *Air Optix Aqua Multifocal*, (BC 8,6, DIA 14,0), add *High*.

Pēc katras kontaktlēcas pielaišanas, tika ievērots 10 minūšu adaptācijas periods, lai mazinātu reflektoro mirkšķināšanu un asarošanu. Pēc 10 minūšu adaptācijas perioda tika novērtēta kontaktlēcas centrēšanās ar biomikroskopu, lai novērtētu kontaktlēcas kustību un centrāciju.

Ar *PowerRef 3* fotorefraktometru tika veikts viens mērījums 6 m attālumā un viens mērījums 25 cm attālumā acij, kurā atradās kontaktlēca, otra acs tika aizsegta ar apsēju. Akomodācijas atbildes mērīšanai tika izmantots ekscentriskais fotorefraktometrs „PowerRef 3”, kurš fiksē dinamiskus akomodācijas mērījumus reālajā laikā. Pētījumā tika pētītas tādas multifokālās kontaktlēcas kā *Biofinity Multifocal*, *Air Optix Aqua Multifocal*, *Diviniti OxyPro Multifocal*, *Clariti Multifocal*. Ar katru no kontaktlēcām tiks veikti 2 mērījumi –mērījums 6 m attālumā, un mērījums 0,25 m attālumā.

Ar katru kontaktlēcu tika novērtēts arī redzes asums monokulāri ar sensoro vadošo aci (otru aci aizsedzot ar apsēju). Redzes asuma novērtēšanai tika izmantota datorizēta programma *FrACT 3.10.5* (*Freiburg Visual Acuity and Contrast Test*) – visā pasaulē plaši pielietota bezmaksas datorizēta programma, lai novērtētu redzes asumu un kontrastjutību. Pētījumā tika izvēlēts noteikt redzes asumu ar *Landolta* riņķiem, kuri vērsti 4 dažādos virzienos.

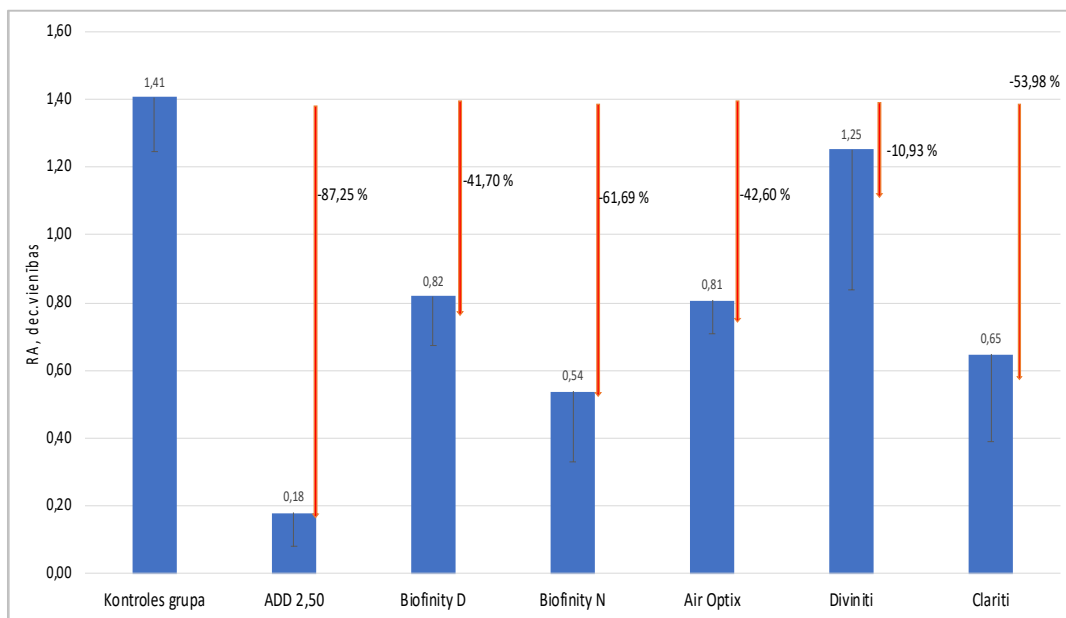
Rezultāti un to analīze

Lai atslogotu akomodāciju, būtu sagaidāms, ka akomodācijas atpalikšana samazināsies, kas visefektīvāk tika uzrādīts ar sfēriskā tipa aditīvu 2,50 D. Taču statistiski nozīmīgu atšķirību uzrādīja ne vien monofokālā aditīva (2,50) kontaktlēca ($p < 0,05$), bet arī *Biofinity* firmas N dizaina multifokālā kontaktlēca ($p = 0,039$) un *Clariti* multifokālā kontaktlēca ($p = 0,017$). Pārējās kontaktlēcas neuzrādīja statistiski nozīmīgu atšķirību.

Pielīdzinot multifokālās kontaktlēcas sfēriskā tipa aditīvam, tika iegūta statistiski nozīmīga atšķirība pilnīgi visām kontaktlēcām, salīdzinot pret aditīva 2,50 D kontaktlēcu. Šie dati apstiprina arī klīniskos pētījumus par to, ka, lai arī multifokālās kontaktlēcas ir efektīvākas uz akomodācijas atpalikšanas lielumu kā tāluma korekcijas kontaktlēcas (pētījumā: “kontroles mērījums”), tās tomēr nav tik efektīvas kā monofokāla sfēriskā tipa augsta aditīva kontaktlēca.

Lai veiksmīgāk salīdzinātu mīksto multifokālo kontaktlēcu dizaina radītās izmaiņas, tika izvēlēts salīdzināt vienas firmas (*Biofinity Multifocal*) kontaktlēcas, kurām ir divi atšķirīgi dizaini: D – ar kontaktlēcas centrā iestrādātu profilu tālumam (*distance vision*) un N dizains – ar iestrādātu tuvuma zonu centrā (*near vision*). Starp abu dizainu kontaktlēcām bija svarīgi apskatīt gan statistisku nozīmību redzes asumam tālumā, gan akomodācijas atpalikšanai. Dati neuzrādīja nozīmīgas izmaiņas saistībā uz akomodācijas atpalikšanu ($p=0,819$), kas nozīmē, ka tās uz akomodācijas atpalikšanu darbojas līdzvērtīgi. Dati uzrādīja statistiski nozīmīgu atšķirību saistībā ar redzes asumu tālumā. Ar *Biofinity D Multifocal* kontaktlēcām vidējais redzes asums visiem dalībniekiem bija $0,82 \pm 0,22$ dec.vienības, taču ar *Biofinity N Multifocal* kontaktlēcām vidējais redzes asums tika iegūts $0,54 \pm 0,21$ dec.vienības, kas savstarpēji uzrāda statistiski nozīmīgu atšķirību ($p=0,001$), ļaujot secināt, ka izvēloties starp *Biofinity Multifocal* kontaktlēcām, kurām pieejami divi dizaini, akomodācijas atpalikšana ar abiem ir līdzvērtīga, taču redzes asums tālumā ir labāks ar profilu centrā tālums, kas, izvēloties *Biofinity Multifocal* kontaktlēcas kā miopijas kontroles rīku liktu nosvērties par labu D dizaina izvēlei.

Apskatot redzes asuma izmaiņas ar katru pielaiikoto kontaktlēcu, pilnīgi visas kontaktlēcas, izņemot *Diviniti OxyPro161 Multifocal* kontaktlēcas, uzrādīja statistiski nozīmīgu atšķirību ($p<0,05$), kas šajā gadījumā nozīmē būtisku redzes asuma kritumu, pielaiikojot mīkstās multifokālās kontaktlēcas. Vienīgi *Diviniti OxyPro161 Multifocal* kontaktlēcas neuzrādīja statistiski būtisku atšķirību ($p=0,748$), kas nozīmē, ka starp visām mīkstajām multifokālajām kontaktlēcām *Diviniti OxyPro161 Multifocal* kontaktlēcas vienīgās redzes asuma ziņā ir pielīdzināmas kontroles grupas mērījumam un būtiski nepazemina redzes asumu tālumā. Taču jāpiebilst, ka lai arī vidējā vērtība uzrāda statistisku nozīmību, ne visiem dalībniekiem rezultāti bija vienlīdz labi, jo novērojama vislielākā datu izkliede. Ar *Diviniti OxyPro161 Multifocal* kontaktlēcām vidējais redzes asums tālumā tika iegūts $1,25 \pm 0,44$ dec.vienības. Visas pārējās multifokālās kontaktlēcas pazemināja redzes asumu zem sliekšņa 1.0 dec.vienības. Vislielākais un būtiskākais redzes asuma pazeminājums tika iegūts monofokālā aditīva kontaktlēcai ($0,18 \pm 0,09$ dec.vienības) mērījumam, iegūstot datu statistisko nozīmību.



1.att. Visu dalībnieku vidējās vērtības redzes asumam tālumā ar katru no pielaiikotajām kontaktlēcām.

Pētījumā netika atrasta kāda konkrēta kontaktlēca, kura spētu atslogot akomodāciju, vienlaikus saglabājot labu redzes asumu tālumā. Par efektīvām tiek uzskatītas kontaktlēcas ar aditīvu vismaz 2,00 D, lai tās efektīvi atslogotu akomodāciju, taču pretrunīgs aspekts ir redzes kvalitātes un veikspējas samazinājums, palielinoties aditīvam. Arī *Sanchez et al.* (2018) analizēja multifokālo

kontaktlēcu ietekmi uz redzes funkcijām. Pētnieki secināja, ka multifokālās kontaktlēcas samazina gan redzes asumu, gan kontrastjutību gan stereoredzi, tāpēc turpmākos pētījumus būtu nepieciešams veikt plašākus pētījumus redzes kvalitāti un tās faktoriem.

Pateicības

Paldies SIA *OC Vision* par iespēju veikt maģistra darba pētījumu, operatīvi nodrošinot eksperimentam nepieciešamās kontaktlēcas un kontaktlēcu kopšanas šķīdumus.

Literatūra

- Demirci, G. A. (2013). Comparison of photorefraction, autorefractometry and retinoscopy in children. *International Ophthalmology*, 34(4), 739-746.
- Fedtke, C., Ehrmann, K., Thomas, V., & Bakaraju, R.C. (2016). Visual performance with multifocal soft contact lenses in non-presbyopic myopic eyes during adaptation period. *Clinical Optometry*, 8, 37-46.
- Sanchez, I., Ortiz-Toquero, S., Blanco, M., & Martin, R. (2018). A new method to analyse the effect of multifocal contact lenses on visual function. *Contact Lens and Anterior Eye*, 41(2), 169-174.
- Walker, M. K., Walline, J. J., Mutti, D. O., Jones-Jordan, L.A., Giannoni, G., Bickle, A., Schulle, K. M., Nixon, A., Pierce, G. E. & Bernstein, D. A. (2020). Effect of high add power, medium add power, or single vision contact lenses on myopia progression in children: the BLINK randomized clinical trial. *National Institutes of Health*.
- Whitefoot, H., & Charman, W. N. (1992). Dynamic retinoscopy and accommodation. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 12(1), 8-17.
- Zhu, Q., Liu, Y., Tighe, S., Zhu, Y., Su, X., Lu, F., & Hu, M. (2019). Retardation of myopia progression by multifocal soft contact lenses. *International Journal of Medical Sciences*, 16(2), 198-202.

Pretnoguruma kontaktlēcu ietekme uz akomodācijas atbildi

Laura Zitmane un Evita Kassaliete
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
evita.kassaliete@lu.lv

Anotācija

Pētījums ir uzrakstīts latviešu valodā uz 7 lappusēm, satur 2 attēlus, 78 atsauces uz literatūras avotiem. Darba mērķis bija izvērtēt pretnoguruma kontaktlēcu un slodzes ietekmi uz akomodācijas atbildi. Pētījumā piedalījās 15 dalībnieki vecumā no 20 – 29 gadiem, no kuriem 6 bija ar miopiju un 9 ar emetropiju. Akomodācijas atbilde tika novērtēta, izmantojot sfēriskās un pretnoguruma kontaktlēcas, kā arī veicot tuvuma slodzes uzdevumus. Mērījumi tika nolasīti ar “Power ref 3” iekārtu. Šajā darbā netika novērota statistiski nozīmīga atšķirība akomodācijas atbildei ar dažāda veida kontaktlēcām, kā arī slodzes ietekmē.

Atslēgas vārdi: akomodācija, pretnoguruma kontaktlēcas, miopija, lasīšana, slodze.

Literatūras pārskats

Akomodācijas ir process, kad atkarībā no objekta attāluma, tiek mainīts fokusa dziļums. Akomodācijas procesā iesaistās acs lēca, Cinna saites, stiklveida ķermenis, sklēra, zīlīte, kā arī acs kustību muskuļi. Fiksāciju uz tuvumā esošo objektu nodrošina akomodācijas, vergences un zīlītes kopīgais mehānisms. Pastāv vairākas teorijas par akomodācijas mehānismu, tomēr šobrīd vispārpieņemtā ir Helmholtz teorija, kad 1855. gadā viņš aprakstīja akomodācijas darbības mehānismu (Drlīk, 2020). Šī teorija saka, ka ciliārais muskulis, skatoties tālumā ir atslābināts, kamēr cinna saites ir sasprindzinās un anatomiski lēca ir saplacinātā stāvoklī. Akomodācijas laikā ciliārais muskulis saraujas un atslābinoties Cinnā saitēm, acs lēcas biezums palielinās par aptuveni 0,5 mm, un mainās priekšējās virsmas liekuma rādiuss.

Mūsdienās arvien vairāk pieaug redzes slodze tuvumā. Šobrīd no gandrīz 8 miljardiem iedzīvotāju visā pasaulē, 5,22 jeb 66,6% ir sava mobilā ierīce un 4,66 jeb 59,5 % lieto internetu (Kemp, 2021). Mūsdienu tehnoloģijas un attālinātā darba vide būtiski ietekmē akomodācijas funkcijas un tiek meklētas arvien jaunas iespējas, lai atvieglotu redzes slodzi tuvumā. Katrā darba vidē būtu jānodrošina atbilstoša darba ergonomika, kas ietver korektu darba attālumu līdz monitoram, atbilstošu krēslu atzveltņu nodrošināšanu, precīzi noteiktu briļļu vai kontaktlēcu korekcijas veidu, kas var atvieglot darbu pie datora. Šobrīd ir pieejamas pretnoguruma kontaktlēcas, kas speciāli izstrādātas, lai pacientam būtu ērti strādāt ar digitālajām ierīcēm un atslogotu ciliārā muskuļa darbību. Kontaktlēcu pamatuzdevums ir novērst sūdzības par acu diskomfortu. Līdz šim aktīvi ir pētīta akomodācijas atbildes izvērtēšana ar augsta aditīva multifokālajām kontaktlēcām - izpēte ar zema aditīva multifokālajām kontaktlēcām vēl nav tik plaši veikta. Kajita et al., (2020) savā pētījumā salīdzināja pretnoguruma “Biofinity Energys” kontaktlēcu ar monofokālu “Biofinity” kontaktlēcu efektivitāti pirms un pēc 20 minūšu slodzes, skatoties telefona ekrānā 25 cm attālumā un novēroja, ka pretnoguruma kontaktlēcas novērš astenopiskās sūdzības, kas rodas pēc ilgstoša tuvuma darba, mazina acu sasprindzinājumu, kā arī samazina mikrofluktuācijas, nodrošinot stabilāku akomodācijas atbildi.

Metodika

Pētījumā piedalījās 15 dalībnieki – 5 vīrieši un 10 sievietes, vecuma grupā 23,43 +/- 2,37, kuru refrakcijas kļūda bija no +0,50 D līdz -2,75 D. No tiem 1 vīrietis un 5 sievietes bija ar miopiju, kuri ikdienā lieto sfērisku ametropijas korekciju no -1,25 D līdz -2,75 D, kā arī 4 vīrieši un 4 sievietes bija ar emetropiju.

Lai novērtētu akomodācijas atbildi reālajā laikā, tika izmantota "PowerRef 3" kamera un divu spoguļu sistēma, kas nodrošina akomodācijas un zīlītes diametra mērījumus dažādos attālumos un gaismas apstākļos. Pētījums sastāvēja no divām daļām. Pirmajā daļā katram dalībniekam tika noteikts redzes asums tuvumā un tālumā bez korekcijas un veikta pilna ametropijas korekcija ar apmieglošanas tehniku, ar ametropijas korekciju tika novērtēts redzes asums tuvumā un tālumā, kā arī redzes funkcijas tuvumā (PAR, NAR, AV). Papildus tika novērtēts redzes asuma sliekšnis monokulāri ar sensoro vadošo aci tālumā un veikta acu struktūru apskate ar biomikroskopu un oftalmoskopu. Pētījuma otrā daļa sastāvēja no 3 posmiem, katrā posmā tika noteikti četri mērījumi monokulāros apstākļos ar sensoro vadošo aci. Pēc 1. (akomodācijas novērtēšana 25 cm attālumā) un 2. (akomodācijas novērtēšana 6 m attālumā) mērījuma dalībnieks veica lasīšanas uzdevumu 5 minūtes 25 cm attālumā, lai tiktu veicināta tuvuma darba slodze, pēc kā sekoja 3. (akomodācijas novērtēšana 25 cm attālumā) un 4. (akomodācijas novērtēšana 6 m attālumā) mērījums. Pirmajā posmā visiem dalībniekiem tika veikts kontroles mērījums ar pilnu ametropijas korekciju no 0,00 D līdz -2,75 D, lai novērtētu sākotnējo akomodācijas stāvokli. Otrajā posmā mērījumi tika veikti ar sfērisku 0,50 D aditīva kontaktlēcu, kas pielīdzināma pretnoguruma kontaktlēcas stiprumam centrālajā daļā, un trešajā posmā tika veikti mērījumi ar pretnoguruma kontaktlēcām. Kopumā katram dalībniekam tika pielaiktas 2 vai 3 (ja nepieciešama ametropijas korekcija) kontaktlēcas, pēc katras kontaktlēcas ievietošanas, tika dotas 10 minūtes kontaktlēcu adaptācijai, un tās kustīgums, kā arī centrēšanās tika novērtēta ar biomikroskopa palīdzību.

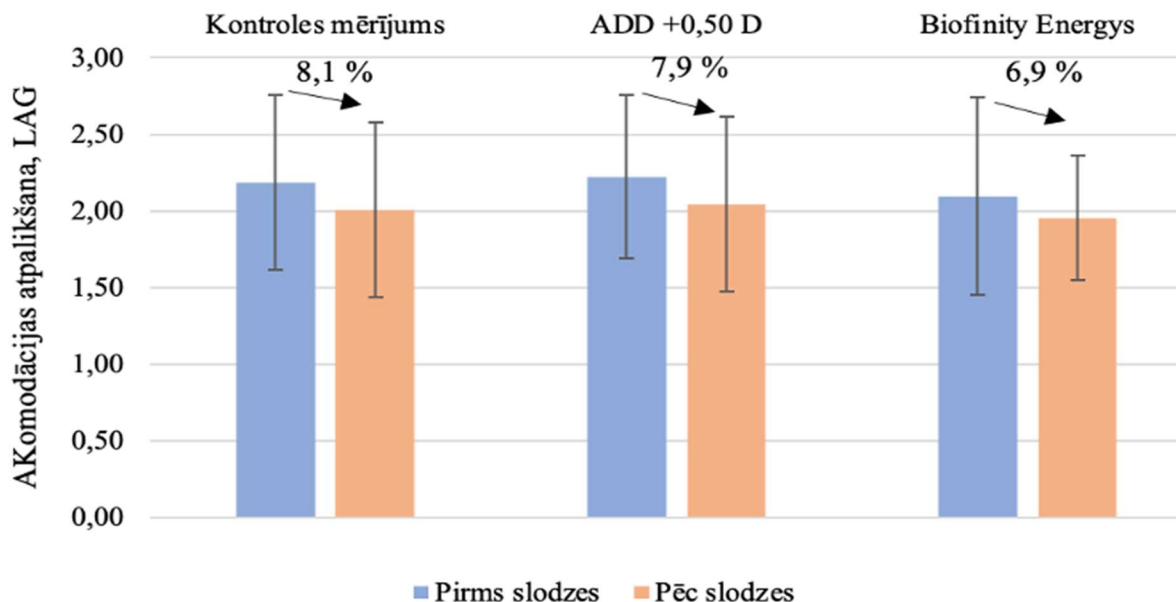
Rezultāti un to analīze

Rezultātā tika iegūts, ka akomodācijas atpalikšanu palielina ADD 0,50 kontaktlēca, vērtību palielinot par 0,03 D pirms un par un 0,04 D pēc slodzes apstākļos, tomēr statistiski salīdzinot ar kontroles grupu nav novērotas nozīmīgas atšķirības. Vērtējot "Biofinity energys" kontaktlēcu ietekmi uz akomodācijas atpalikšanu, var secināt, ka vērtība salīdzinot ar kontroles grupu ir samazinājusies par 0,09 D pirms un par 0,06 D pēc slodzes apstākļos, nenorādot statistiski nozīmīgu atšķirību, kas nozīmē, ka kontaktlēcas neatslogo akomodācijas darbību. Tāpat salīdzinot ADD 0,50 D ar "Biofinity Energys" kontaktlēcām netiek iegūta statistiska nozīme gan pirms, gan pēc slodzes apstākļos. Novērtējot efektivitātes lielumu visās grupās, tiek secināts, ka datu efektivitāte starp vidējām vērtībām ir maza, jeb $d < 0,2$. Literatūrā esošajos pētījumos ir novērtēts, ka ar dažādu firmu pretnoguruma brillu lēcām, samazinās sūdzības par acu nogurumu, sāpēm u.c. sūdzībām (Larrard, 2005-2017), taču kā tiek ietekmēta akomodācijas atpalikšana, pētījumi nav veikti.

Akomodācijas atpalikšanai pēc 5 minūšu slodzes 25 cm attālumā visos gadījumos ir novērojama tendence samazināties, vidēji samazinot akomodācija atpalikšanu par 0,17 D, tomēr statistiski nozīmīgi rezultāti netiek iegūti, kas nozīmē, ka 5 minūšu tuvuma slodze neietekmē akomodācijas atbildi. Tā pat vērtējot efektivitātes lielumu (d), pierādās, ka efektivitāte ir maza, jeb $d < 0,5$. Salīdzinot akomodācijas atpalikšanu "Biofinity" grupā pirms un pēc slodzes, ir novērojams, ka akomodācijas atpalikšanas izmaiņa salīdzinot ar pārējām grupām, ir procentuāli vismazākā (skatīt 1. attēlu), secinot, ka ar "Biofinity Energys" kontaktlēcām ir vērojama tendence saglabāt esošo akomodācijas stāvokli, neietekmējot akomodācijas atpalikšanu slodzes ietekmē, tomēr statistiski nozīmīgi rezultāti attiecībā pret pārējām grupām nav iegūti.

Literatūrā pieejamā informācija ir atšķirīga un rezultāti par slodzes ietekmi ir dažādi. Tā *Borsting at al.*, (2010) pētījumā tika iegūts, ka pie akomodācijas pieprasījuma 5 D, akomodācijas izmaiņa pacientiem ar zemu redzes diskomforta līmeni nav vērojama, bet pacientiem ar augstu redzes diskomforta līmeni ir palielinās. Apskatot noguruma iestāšanos pēc pacientu simptomātikas

Abusharha, (2017) novērtēja, ka jau pēc 5 minūšu akomodācijas slodzes, parādās diskomforta līmenis, gan lasot tekstu papīra formātā, gan skatoties digitālajās ierīcēs 40 cm attālumā. Tāpat noguruma pakāpe ir lielāka un veidojas ātrāk, veicot tuvuma darbus telefona ekrānā. Savukārt akomodācijas izmaiņas, kas ir saistītas ar tuvuma triādi un citām rezdes funkcijām, izmainās pirmo minūšu laikā, kad tiek stimulēta akomodācijas darbība – 5 minūtes pēc akomodācijas stimulēšanas, pilnībā tiek pārtrauktas ciliārā muskuļa un acs lēcas svārstības, rezultātā iegūstot stabilu akomodācijas atbildi pēc 5 minūšu ilgas akomodācijas stimulēšanas (Vilupuru et al., 2005).



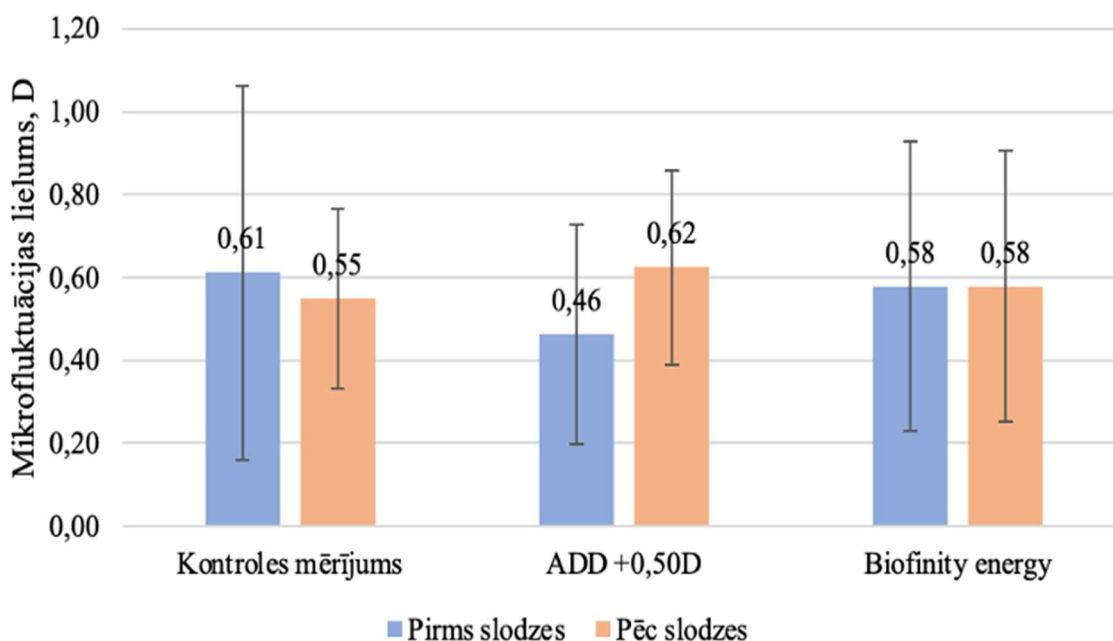
1. att. Akomodācijas atpalikšanas procentuālās izmaiņas pirms un pēc slodzes.

Akomodācijas izmaiņa gan miopijas, gan emetropijas gadījumos ir līdzīga. Pacientiem ar miopiju akomodācijas atpalikšana ir lielāka, nekā pacientiem ar emetropiju, tomēr salīdzinot statistisko nozīmi, nevienā no grupām nav novērota nozīmīga atšķirība. Pēc slodzes abām pacientu grupām, ir vērojama tendence akomodācijas atpalikšanai samazināties, tomēr novērtējot vērtību statistisko nozīmi, nav novērota atšķirība. Tāpat var novērot, ka pacientiem ar emetropiju akomodācijas atpalikšanas izmaiņa pēc slodzes ir lielāka, vidēji samazinot akomodācijas atpalikšanu par 0,22 D, kamēr pacientiem ar miopiju akomodācijas atpalikšanas izmaiņa ir par 0,09 D. Lai arī statistiskas nozīmes starp grupām netika iegūtas, rezultāti liecina par to, ka pacientiem ar emetropiju ir tendence vairāk izmantot akomodāciju, veicot tuvuma darbus. *Gambra et al.*, (2009) secina, ka akomodācijas atpalikšana pacientiem ar miopiju ir lielāka, kam pamatā ir iemesls, ka ir vērojams lielāks daudzums augstāko kārtu aberāciju, kurā arī tiek secināts, ka lielākas pakāpes augstāko kārtu aberāciju klātbūtne, palielina akomodācijas atpalikšanu. *Collins et al.*, (2005) pētījumā pacientiem ar emetropiju slodzes ietekmē vairāk izmainās akomodācijas atbilde, līdz ar to vairāk tiek izmantota akomodācijas daļa veicot tuvuma darbus. Šajā pētījumā statistiska atšķirība nav vērojama, tomēr jāņem vērā, ka autoru pētījumā pacienta tuvuma slodze bija 2 h, nevis 5 minūtes.

Mikrofluktuāciju lielums vidēji visās grupās pie akomodatīvā pieprasījuma 0 D ir 0,19 D, bet pie pieprasījuma 4D, vērtība palielinās un vidēji sasniedz 0,57 D. Salīdzinot rezultātus pie dažādiem akomodatīvajiem pieprasījumiem, tiek iegūta statistiski nozīmīga starpība. Rezultātā var secināt, ka mikrofluktuāciju lielums pieaug, palielinoties akomodatīvajam pieprasījumam. Salīdzinot ar literatūrā pieejamo informāciju atbilst lielākai vērtībai, tomēr kopumā saskan ar iepriekšējiem pētījumiem. *Gambra et al.*, (2009) ieguva, ka mikrofluktuācijas palielinās no 0,09 D līdz 0,31 D atbilstoši akomodācijas pieprasījumam no 0-6 D. Tāpat *Plainis et al.*, (2005) ieguva līdzīgus rezultātus 0,07 D līdz 0,22 D atbilstoši akomodācijas pieprasījumam 0-8 D.

Ja vērtē mikrofluktuācijas pie akomodatīvā pieprasījuma 4 D ar dažāda dizaina kontaktlēcām, netiek novērota statistiski nozīmīga atšķirība starp dažādām grupām jeb p vērtība visos gadījumos ir mazāka par 0,05. Apskatot efektivitātes lielumu, ir redzams, ka efektivitāte ir augsta ar 0,50 ADD, secinot, ka vislielākās izmaiņas salīdzinot ar kontroles mērījumu ir ar 0,50 ADD kontaktlēcu, taču salīdzinot kontroles mērījumu ar pretnoguruma kontaktlēcām, efektivitāte nav vērojama, kas nozīmē, ka pretnoguruma kontaktlēcas saglabā nemainīgu mikrofluktuāciju lielumu.

Vērtējot slodzes ietekmi un salīdzinot mikrofluktuāciju vērtības pirms un pēc slodzes, var secināt, ka ar “Biofinity Energys” kontaktlēcām mikrofluktuāciju lielums pēc slodzes nemainās, saglabājot esošo akomodācijas stāvokli. Vērtējot statistisko nozīmi pirms un pēc slodzes ietekmē, netiek novērtēta būtiska atšķirība starp mikrofluktuāciju lielumiem, tomēr aprēķinot efektivitātes lielumu, var redzēt, ka mikrofluktuācijas būtiski mainās ar 0,50 ADD kontaktlēcām jeb efektivitāte starp abu datu grupām ir augsta ($d > 1$), vidēja izmaiņa vērojama kontroles mērījumā ($d = 0,5$), bet efektivitāte netiek novērota ar Biofinity Energys kontaktlēcām ($d < 0,2$), kas nozīmē, ka pretnoguruma kontaktlēcas vislabāk saglabā akomodācijas stāvokli slodzes ietekmē (skatīt 2. attēlu). Vērtējot mikrofluktuācijas slodzes ietekmē, literatūrā pieejamā informācija nav viennozīmīga. Šajā darbā netika noteikta mijiedarbība starp mikrofluktuāciju mērījumiem dažādās grupās slodzes ietekmē, kas sakrīt ar pētījumu *Gray et al.*, (2000), kur netika novērtēta sakarība starp patērēto laiku un ekrāna veidu 20 minūšu slodzes ietekmē, strādājot 50 cm attālumā ar dažādām digitālo ierīču ekrānu veidiem. Tomēr *Menozzi et al.*, (2006) secina, ka mikrofluktuācijas ir atkarīgas no slodzes un palielinās pieaugot tai.



2. att. Mikrofluktuāciju salīdzinājums dažādām grupām pirms un pēc redzes slodzes.

Redzes asuma sliekšnis dalībniekiem tika noteikts sensorajai vadošajai acij. Vidējais redzes asums dalībniekiem ar ametropijas korekciju bija 1,51 +/- 0,39 decimālās vienības, taču ar “Biofinity Energys” kontaktlēcām vidējais redzes asums krietni samazinājās, sasniedzot 0,94 +/- 0,33 decimālās vienības, rezultātā samazinot redzes asuma sliekšni par 34%. RA izmaiņas ar “Biofinity Energys” kontaktlēcām ir statistiski nozīmīgas $p = 0,01$. Ņemot vērā redzes asuma izmaiņas, būtu jāvērtē vai pacientam piemeklējot kontaktlēcas, būtu nepieciešams palielināt kontaktlēcas stiprumu, lai saglabātu redzes asumu tālumā, jo palielinot stiprumu, tiek vairāk noslogota akomodācija, kas attiecīgi samazina kontaktlēcu efektivitāti.

Nobeigums

Kopumā var secināt, ka pretnoguruma kontaktlēcas neietekmē akomodācijas atbildi, bet ir efektīvas, lai samazinātu mikrofluktuāciju izmaiņas un nodrošinātu stabilu akomodācijas darbību slodzes laikā, taču jāņem vērā, ka būtiski tiek samazināts redzes asums, kas samazina šo kontaktlēcu priekšrocības.

Literatūra

- Abusharha, A. A. (2017). Changes in blink rate and ocular symptoms during different reading tasks. *US National Library of Medicine National Institutes of Health*, 9, 133–138.
- Borsting, E. T. (2010). Measuring Near Induced Transient Myopia in College Students with Visual Discomfort. *US National Library of Medicine National Institutes of Health*, 87(10), 760–766.
- Collins, M. J. (2005). Retinal image quality, reading and myopia. *Vision Research*, 46(1-2), 196–215.
- Drlik, M. (2020, October 29). *Unlocking the engineering mysteries of eye accommodation for AIOL lenses*. From StarFish Medical: <https://starfishmedical.com/blog/eye-accommodation-for-aiol-lenses/>
- Gambra, E. S. (2009). Accommodative lag and fluctuations when optical aberrations are manipulated. *Journal of Vision*, 9(6).
- Gray, L. S. (2000). Accommodation microfluctuations and pupil size during sustained viewing of visual display terminals. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 20(1), 5-10.
- Kajita, M. M. (2020). Changes in accommodative micro-fluctuations after wearing contact lenses of different optical designs. *Contactlens & Anterior Eye*, 43(5).
- Kemp, S. (2021). *DIGITAL 2021: GLOBAL OVERVIEW REPORT*. Datareportal.
- Larrard, B. (2005-2017). The new ranges of eyezen lenses: What are the benefits perceived by wearers during screen use? *Points de vue, International Review of Ophthalmic Optics*, 100-128.
- Menozzi M., C. C. (2006, 11). *Points de Vue, International Review of Ophthalmic Optics*. From Visual fatigue and microfluctuations of accommodation: <https://www.pointsdevue.com/article/visual-fatigue-and-microfluctuations-accommodation>
- Plainis, P. G. (2005). The effect of ocular aberrations on steady-state errors of accommodative response. *Journal of Vision*, 5(7).
- Retinal image quality, reading and myopia. *Vision Research*, 46(1-2), 196–215.
- Vilupuru, A. S. (2005). Dynamics of accommodative fatigue in rhesus monkeys and humans. *US National Library of Medicine National Institutes of Health*, 45(2), 181–191.
- Wolffsohn, J. S. (2011). Accommodative amplitude required for sustained near work. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 31(5), 480-486.

Radzenes epitēlija biezuma kartējuma izmaiņas mīksto kontaktlēcu lietotājiem, izmantojot optiskās koherences tomogrāfiju

Inese Petroviča, Aiga Švede un Līva Salmiņa
Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija
inese.petrovica@lu.lv

Anotācija

Pētījuma mērķis bija noteikt kontaktlēcu inducētas radzenes epitēlija biezuma izmaiņas dažādu kontaktlēcu materiālu un valkāšanas modalitāšu kontaktlēcu lietotājiem. 126 acīm (40 dalībnieku acis, kuri nelieto kontaktlēcas, un 86 acis kontaktlēcu lietotājiem) tika analizētas radzenes epitēlija biezuma kartes, kas tika iegūtas ar komerciālu optiskās koherences tomogrāfu (*Maestro 3D, Topcon*), pieredzējušam operatoram veicot 12 līniju radiālo skenējumu 6 mm diametrā. Rezultāti parādīja, ka radzenes epitēlijs centrā ir nozīmīgi biežāks kā paracentrālos sektoros visiem dalībniekiem, savukārt starp grupām netika atrastas statistiski nozīmīgas atšķirības. Netika konstatētas kontaktlēcu inducētas radzenes epitēlija biezuma izmaiņas atkarībā no kontaktlēcu materiāla un valkāšanas modalitātes. *Maestro 3D (Topcon)* optiskās koherences tomogrāfs uzrādīja zemu epitēlija biezuma mērījumu atkārtojamību gan dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto, gan kontaktlēcu lietotājiem. Līdz ar to secināms, ka konkrēto ierīci (*Maestro 3D, Topcon*) nevar izmantot pētījumos, kuros tiek analizētas radzenes epitēlija biezuma izmaiņas dažādu ārējo faktoru un radzenes saslimšanu ietekmē. Lai noteiktu kontaktlēcu inducētas radzenes epitēlija biezuma izmaiņas, būtu nepieciešams pētījuma dalībniekiem atkārtot mērījumus izmantojot komerciālu ierīci, kas nodrošina augstu mērījumu atkārtojamību tieši radzenes epitēlija biezuma mērījumiem.

Atslēgas vārdi: radzenes epitēlija biezuma kartes, optiskā koherences tomogrāfija, mīkstās kontaktlēcas

Literatūras pārskats

Radzenes epitēlijs ir 5 – 6 slāņu radzenes ārējais slānis, un to veido 3 dažādu veidu šūnas – 1) virspusējās šūnas, kas satur mikroplātes un mikrovillus, kuros atrodas glikokaliksa slānītis, kas savienojas ar asaru plēvīti. Asaru plēvīte nokļūst epitēlijā veido ļoti gludu virsmu, kas ir būtiski redzes kvalitātes nodrošināšanā; 2) spārnveida šūnas; 3) kolonnu bazālās šūnas (*Dawson et al., 2011*). Radzenes epitēlijs pakāpeniski limba zonā pāriet konjunktīvas epitēlijā kopīgi veidojot acs virsmas aizsargbarjeru – starp epitēlija šūnām un šūnu slāņiem ir dažādi savienojumu kompleksi, kā desmosomas, ciešās saites, krusteniskie savienojumi, spraugas savienojumi un hemidesmosomas, kas neļauj asarām un tajās esošajām vielām kā mikroorganismiem, vielmaiņas atkritum vielām un apkārtējās vides netīrumiem nokļūt radzenes dziļākajos slāņos (*Dawson et al., 2011; Nishida et al., 2017*). Epitēlija bojājuma gadījumā aizsargbarjera nefunkcionē un būtiski paaugstināts risks acu iekaisumiem un infekcijām, kas noved pie radzenes apduļķojumiem un redzes pasliktināšanās (*Farjo et al., 2019*). Tā kā epitēlijam ir nozīmīga loma acs aizsargbarjeras nodrošināšanā, tad radzenei tiek nodrošināta bagātīga inervācija – radzenes epitēlijā atrodas aptuveni 2,2 miljoni nervu galu, ņemot vērā, ka radzenes diametrs ir vien 11 mm, tad no visiem organisma audiem, radzenei ir vislielākā jutība (*Dawson et al., 2011*). Epitēlijs ir aptuveni 50 – 60 μm biezs un tas sastāda aptuveni 10% no kopējā radzenes biezuma (*Nishida et al., 2017*). Līdz šim tika uzskatīts, ka epitēlija biezums ir vienmērīgs visā radzenes diametrā (*Dawson et al., 2011; Sridhar, 2018*), tomēr pēdējo gadu pētījumos tiek konstatēts, ka epitēlijs ir biežāks radzenes centrālā daļā un pakāpeniski paliek plānāks virzienā uz perifēriju, savukārt radzene šeit kļūst biežāka (*Feng & Simpson, 2008; Ma et al., 2013; Hashwani*

et al., 2018; Loureiro et al., 2021). Radzenes epitēlijs konstanti ir reģenerācijas procesā, tā atjaunošanās cikls ir 7 – 10 dienas (Sridhar, 2018; Farjo et al., 2019).

Brīdī, kad kontaktlēca tiek ievietota acī, notiek lēcas mijiedarbība ar acs virsmu – komplekss, kurā ir iekļauta gan imūnā un bakterioloģiskā, kā arī mehāniskā mijiedarbība, metaboliskais stress un ķīmiskā mijiedarbība, ja tiek lietoti kontaktlēcu kopšanas līdzekļi (Forrester et al., 2021). Kontaktlēcu lietošana būtiski ietekmē acs virsmas epitēlija fizioloģiju – neatkarīgi no kontaktlēcu veida, tiek ietekmēta epitēlija homeostāze, īpaši, ja kontaktlēcas tiek lietotas pagarinātā valkāšanas režīmā (virs 12 h dienā) un nepārtrauktā valkāšanas režīmā (netiek izņemtas no acs nakts laikā). Tiek ietekmēts epitēlija reģenerācijas process (Robertson, 2013; Forrester et al., 2021). Pētījumi parāda, ka epitēlija atjaunošanās procesu ietekmē gan mīkstās, gan cietās kontaktlēcas ar augstu skābekļa caurlaidību, kas liek domāt, ka kontaktlēcas mehāniska klātbūtne ir pietiekama, lai mainītu epitēlija homeostāzi (Robertson, 2013). Mīkstās kontaktlēcas var inducēt tādas akūtas fizioloģiskas izmaiņas radzenē kā epitēlija biezuma samazināšanos, pazeminātu jutību, virspusēju punktveida keratītu, stromas tūsku un endotēlija pūtīšu veidošanos (Dawson et al., 2011; Efron, 2019; Forrester et al., 2021). Efrons (2019) atsaucoties uz Ersan et al. (2016) un Lei et al. (2015) pētījumiem, konstatē, ka mīksto kontaktlēcu lietošana (bez kontaktlēcu izraisītām komplikācijām) ilgtermiņā inducē radzenes epitēlija biezuma samazināšanos, jo pētnieki savos pētījumos noteica, ka mīksto kontaktlēcu lietotājiem radzenes epitēlijs ir nozīmīgi plānāks kā kontroles grupai, kuri kontaktlēcas nelietoja. Savukārt Stapleton et al. (2001) secināja, ka pagarināta valkāšanas režīma augstas skābekļa caurlaidības mīkstās kontaktlēcas īstermiņā neietekmē radzenes epitēlija fizioloģiju. Savukārt Turhan et al. (2020) analizējot 1 dienas kontaktlēcu ietekmi uz epitēlija biezumu secināja, ka mīksto kontaktlēcu un 1 dienas kontaktlēcu lietošana neietekmē radzenes epitēlija biezumu.

Radzenes epitēlija biezumu klīniskajā praksē objektīvi var noteikt ar sekojošām metodēm: 1) ļoti augstas izšķirtspējas ultraskaņas biomikroskopija (UHR UBM), 2) konfokālā mikroskopija un 3) optiskās koherences tomogrāfija. Optometrijas praksē tiek izmantota optiskās koherences tomogrāfija (OCT), jo šī metode ir ātra, neinvazīva un augstas izšķirtspējas (10 μm), turklāt komerciāli pieejamiem OCT ir programmatūras risinājumi, kas aprēķina radzenes epitēlija biezumu un attēlo radzenes un epitēlija biezuma profilu kartējuma veidā.

Pamatojoties uz augstāk minēto šī pētījuma mērķis bija noteikt kontaktlēcu izraisītās radzenes epitēlija biezuma kartējuma izmaiņas, sekojoši tika izvirzīti darba uzdevumi: 1) salīdzināt epitēlija biezuma kartējumu (centrā un paracentrālos sektoros) dalībniekiem, kuri nelieto kontaktlēcas un kontaktlēcu lietotājiem, 2) salīdzināt radzenes epitēlija biezuma kartējumu dalībniekiem, kuri nelieto kontaktlēcas un kontaktlēcu lietotājiem atkarībā no lēcu materiāla, 3) salīdzināt radzenes epitēlija biezumu centrā un paracentrālos sektoros dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto un kontaktlēcu lietotājiem atkarībā no lēcu valkāšanas modalitātes, 4) novērtēt vai Maestro 3D (Topcon) optiskās koherences tomogrāfs var tikt izmantots diagnostikā un pētījumos analizējot radzenes epitēlija biezuma parametrus un epitēlija izmaiņas dažādu ārējo faktoru un radzenes saslimšanu ietekmē.

Metodika

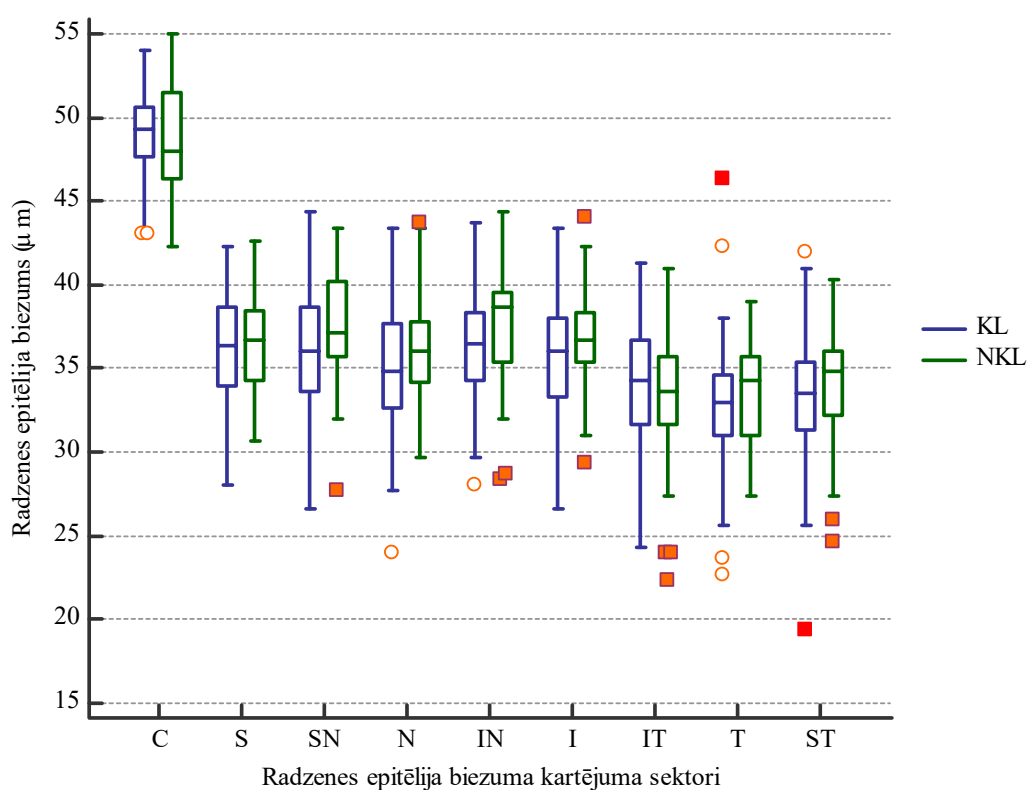
Retrospektīvā gadījumu-kontroles pētījumā piedalījās 63 dalībnieki (126 acis) vecumā no 18 līdz 44 gadiem, no kuriem 20 nelieto kontaktlēcas (40 acis) un 43 kontaktlēcu lietotāji (86 acis) (skat. 1.tab.). 126 acīm tika iegūti radzenes epitēlija kartējuma attēli izmantojot 6 mm diametra radiālo skenējumu ar AS-OCT Maestro 3D (840 nm SLD, aksiālā izšķirtspēja 6 μm, laterālā izšķirtspēja 20 μm un skenēšanas ātrums 50 000 A-skenējumi/sekundē). Katrai acij tika veikti 3 radzenes skenējumi 6 mm diametrā un iegūtas epitēlija biezuma kartes. Radzenes epitēlija (EB) biezums centrā (C) un paracentrālos sektoros – S (superior), SN (superio-nasal), N (nasal), IN (inferio-nasal), I (inferior), IT (inferio-temporal), T (temporal), ST (superio-temporal) tika salīdzināts dalībniekiem, kuri nelieto kontaktlēcas un kontaktlēcu lietotājiem. Datu analīze veikta ar licencētu programmatūru MedCalc® vers.19.2.1.

Pētījuma dalībnieki			
Grupa	N (acis)		
Nelieto kontaktlēcas (NKL)	20 (40)		
Kontaktlēcu lietotāji (KL)	43 (86)		
Kopā	63 (126)		
Kontaktlēcu lietotāji (KL)	Hidrogēla kontaktlēcas (HKL)	Silikonhidrogēla kontaktlēcas (SHKL)	Kopā N (acis)
Dienas valkāšanas režīms (DVR)	19 (38)	12 (24)	31 (62)
Nepārtrauktais valkāšanas režīms (NVR)	-	12 (24)	12 (24)
Kopā	19 (38)	24 (48)	43 (86)

Mērījumi tika veikti klīniskās optometrijas praksē Istad Ur & optikk AS, Norvēģijā. Pētījums tika veikts saskaņā ar Helsinku Deklarācijas principiem.

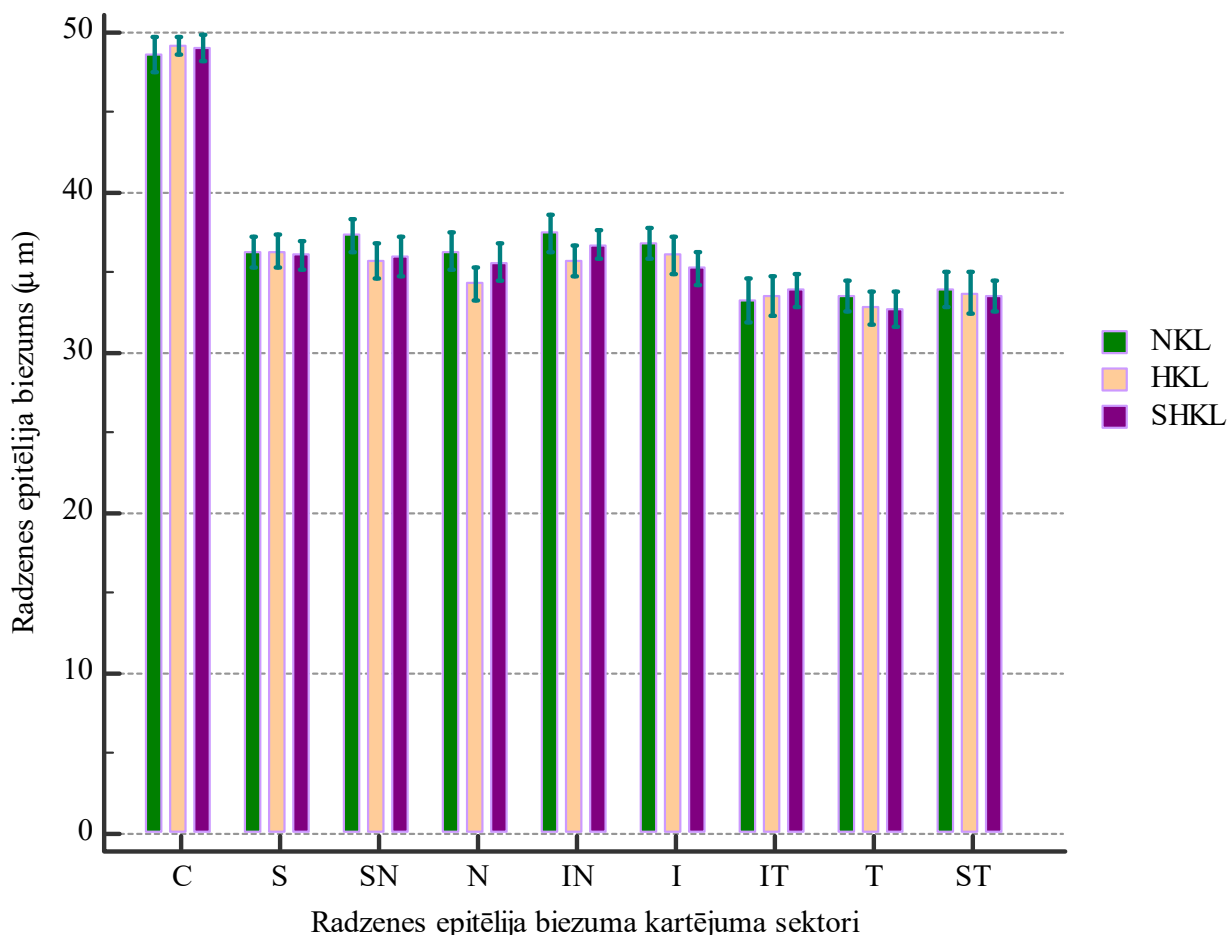
Rezultāti

Radzenes epitēlija biezums (REB) ir nozīmīgi lielāks centrā kā paracentrālos sektoros gan dalībniekiem, kuri nelieto kontaktlēcas (NKL), gan kontaktlēcu lietotājiem (KL). Saskaņā ar jaukta modeļa ANOVA analīzi $F(5,43, 672,95) = 311,64, p < 0,01$. Tā kā neizpildījās sfēriskuma nosacījums ($p = 0,14$, epsilon = 0,68), tad tika pielietota *Greenhouse-Geisser* korekcija. Savukārt starp dalībnieku grupām nebija statistiski nozīmīga atšķirība REB centrā un paracentrālos sektoros ($F(5,43, 672,95) = 1,89, p = 0,09$). Rezultāti attēloti 1. attēlā.



1. att. Radzenes epitēlija biezuma sadalījums centrā un paracentrālos sektoros veicot 6 mm radiālo 12 līniju skenējumu ar AS-OCT. KL – dalībnieki, kuri lieto kontaktlēcas, NKL – dalībnieki, kuri nelieto kontaktlēcas. Marķieri norāda gadījumus, kas ir ārpus grupu vidējā mērījumu diapazona.

Lai noteiktu kontaktlēcū materiāla ietekmi uz REB mērijumiem centrā un paracentrālos sektoros, tika veikta jaukta modeļa ANOVA analīze starp-dalībnieku 3 faktoriem – 1) nelieto kontaktlēcas (n=40), 2) lieto hidrogēla kontaktlēcas (n=38), 3) lieto silikonhidrogēla kontaktlēcas (n=48). Netika atrasta nozīmīga atšķirība radzenes epitēlija biezuma mērijumiem starp dalībniekiem, kuri nelieto kontaktlēcas un dalībniekiem, kuri lieto hidrogēla un silikonhidrogēla kontaktlēcas ($F(10,79, 663,52) = 1,55, p = 0,11$). Tā kā neizpildījās sfēriskuma nosacījums ($p = 0,31, \text{epsilon} = 0,67$), tad tika pielietota *Greenhouse-Geisser* korekcija. Rezultāti atspoguļoti 2. attēlā.



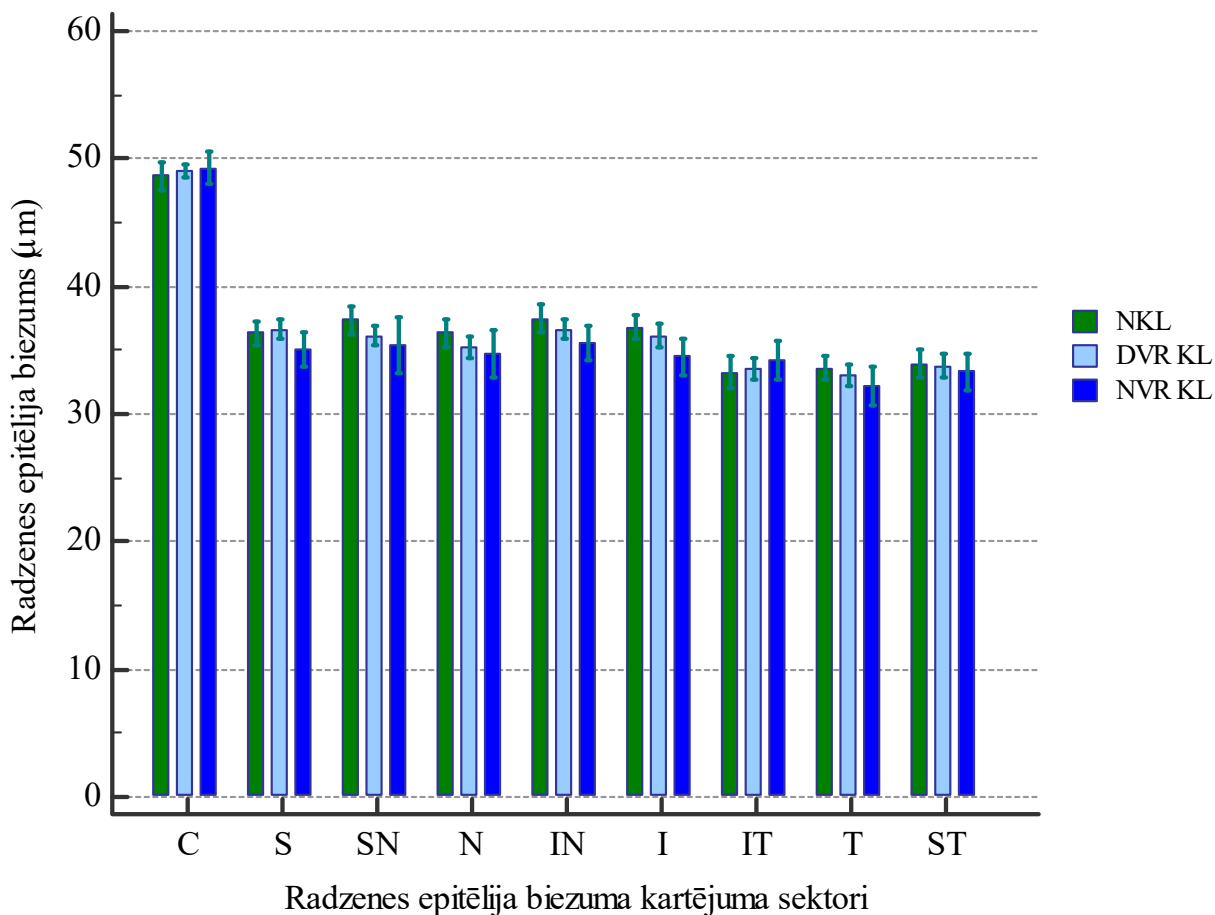
2. att. Radzenes epitēlija biezums centrā un paracentrālos sektoros atkarībā no kontaktlēcū materiāla un dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto (NKL). HKL – hidrogēla kontaktlēcas. SHKL – silikonhidrogēla kontaktlēcas.

Analizējot kontaktlēcū valkāšanas modalitātes ietekmi uz REB mērijumiem, tika veikta jaukta modeļa ANOVA analīze starp-dalībnieku 3 faktoriem – 1) nelieto kontaktlēcas (n = 40), 2) – lieto kontaktlēcas dienas valkāšanas režīmā (n = 62), 3) lieto kontaktlēcas nepārtrauktā valkāšanas režīmā (n = 24). Netika atrasta nozīmīga atšķirība starp dažādu valkāšanas modalitāšu kontaktlēcū lietotājiem un dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto ($F(10,80, 664,42) = 1,57, p = 0,11$). Tika pielietota *Greenhouse-Geisser* korekcija, jo neizpildījās sfēriskuma nosacījums ($p = 0,14, \text{epsilon} = 0,68$). Rezultāti apskatāmi 3.attēlā.

Maestro 3D (Topcon) OCT mērijumu atkārtojamība tika aprēķināta starp-mērijumu standarta novirzes ($\pm SD$), variācijas koeficienti (CoV) un starpklašu korelācijas koeficienti (SKK (2,1) – divpusējais modelis, absolūta atbilstība, 1 vērtējais visiem mērijumiem). Rezultāti apkopoti 1.tabulā.

Paracentrālos sektoros radzenes epitēlija biezuma mērijumiem bija augsta mērijumu izkliede un zems starpklašu korelācijas koeficients (SKK(2,1) < 0,50). Centrālā zonā REB mērijumu izkliede ir pieņemama (CoV < 4%) un REB mērijumu atkārtojamība dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto

bija vidēja (SKK(2,1) robežās no 0,50 līdz 0,75), savukārt kontaktlēcu lietotājiem – zema (SKK(2,1) < 0,50) (Koo & Li, 2016).



3. att. Radzenes epitēlija biezums centrā un paracentrālos sektoros atkarībā no kontaktlēcu valkāšanas modalitātes un dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto (NKL). DVR – dienas valkāšanas režīms. NVR – nepārtrauktais valkāšanas režīms.

AS-OCT *Maestro 3D* (Topcon) mērījumu atkārtamība tika aprēķināta kā starp-mērījumu standarta novirzes (\pm SD), variācijas koeficienti (CoV) un starpklašu korelācijas koeficienti (SKK (2,1) – divpusējais modelis, absolūta atbilstība, 1 vērtējais visiem mērījumiem). Rezultāti ir apkopoti 2.tabulā.

Paracentrālos sektoros radzenes epitēlija biezuma mērījumiem bija augsta mērījumu izkliede un zems starpklašu korelācijas koeficients (SKK(2,1) < 0,50). Centrālā zonā REB mērījumu izkliede bija pieņemama (CoV < 4%) un REB mērījumu atkārtamība dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto bija vidēja (SKK(2,1) robežās no 0,50 līdz 0,75), savukārt kontaktlēcu lietotājiem – zema (SKK(2,1) < 0,50) (Koo & Li, 2016).

OCT REB mērijumu atkārtojamība centrā un paracentrālos sektoros

REB sektori	starp-mērijumu \pm SD		CoV (%)		SKK(2,1)	
	NKL (n=40)	KL (n=86)	NKL (n=40)	KL (n=86)	NKL (n=40)	KL (n=86)
C	1,80	1,81	3,7	3,7	0,69	0,48
S	2,52	3,14	7,0	8,7	0,37	0,28
SN	2,69	2,77	7,6	7,8	0,39	0,50
N	2,66	2,74	7,4	8,0	0,51	0,52
IN	3,41	3,05	9,3	8,5	0,37	0,34
I	3,56	3,09	9,8	8,8	0,15	0,41
IT	3,18	3,41	9,7	10,4	0,49	0,29
T	2,66	3,13	8,1	9,6	0,36	0,36
ST	3,43	3,01	10,3	9,2	0,26	0,44

Diskusija

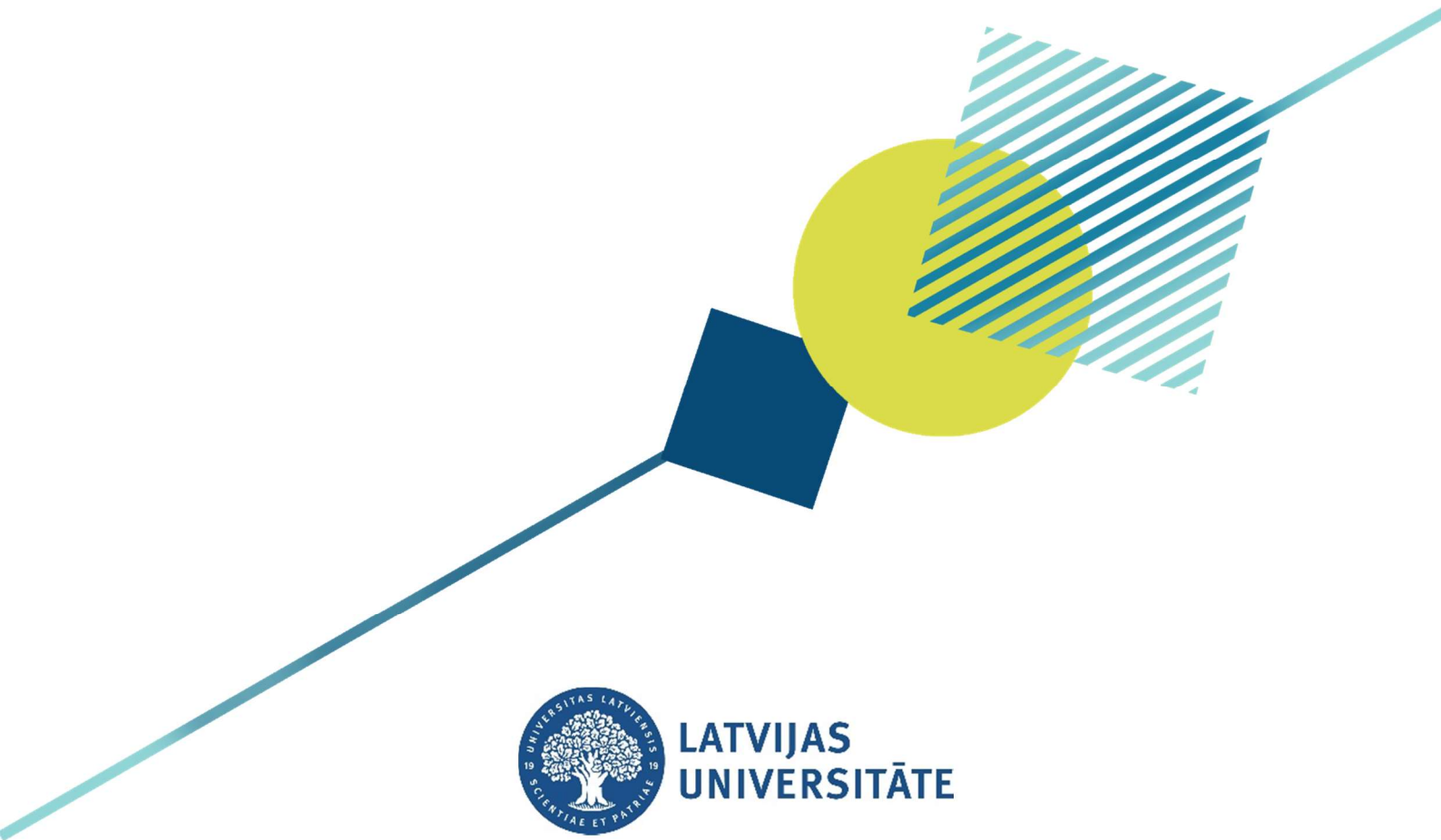
Tā kā pētījumā piedalījās dalībnieki, kuru kontaktlēcu lietošanas stāžs ir 2 gadi un vairāk, tad tika sagaidīts, ka, līdzīgi kā *Ersan et al. (2016)* un *Lei et al. (2015)* pētījumos, kontaktlēcu lietotājiem tiks novērota epitēlija biezuma samazināšanās salīdzinājumā ar dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto. Tomēr tika iegūti pretēji rezultāti. Jāatzīmē, ka *Ersan et al. (2016)* REB mērija ar SD-OCT *Cirrus (Zeiss Meditec)*, šai ierīcei REB mērijumu atkārtojamība ir augsta gan centrā, gan paracentrālos sektoros (*Prakash et al., 2012*). *Lei et al. (2015)* REB mērijumus veica ar SD-OCT *RTVue (Optovue)*, šai ierīcei arī ir augsta mērijumu atkārtojamība (*Sella et al., 2019*). Savukārt šajā pētījumā tika izmantots SD-OCT *Maestro 3D (Topcon)*. Literatūrā nav pieejami pētījumi par šīs ierīces REB mērijumu atkārtojamību, tādēļ tā tika aprēķināta pētījuma ietvaros. *Maestro 3D (Topcon)* uzrādīja zemu mērijumu atkārtojamību, tādēļ rezultāti var tikt apšaubīti. Pētījuma rezultāti sasaucas ar *Turhan et al. (2020)* pētījumu, kurā tika konstatēts, ka vienas dienas kontaktlēcas neietekmē REB. Šajā pētījumā epitēlija biezuma kartes tika iegūtas ar SD-OCT *RTVue (Optovue)* un šai ierīcei ir augsta mērijumu atkārtojamība. Šajā pētījumā gan autori nesalīdzināja kontaktlēcu lietotājus ar kontrolgrupu, bet veica REB mērijumus pirms kontaktlēcu ielikšanas acī un atkārtoti pēc 8h lēcu lietošanas. Tātad autori pētīja kontaktlēcu inducētas īstermiņa REB izmaiņas 1 dienas kontaktlēcu lietotājiem. Arī *Stapleton et al. (2001)* pētīja īstermiņa mīksto kontaktlēcu ietekmi uz radzenes epitēlija biezumu. Šajā pētījumā arī netika atrasta nozīmīga REB atšķirība starp nepārtraukta valkāšanas režīma kontaktlēcu lietotājiem, vienas dienas kontaktlēcu valkātājiem un dalībniekiem, kuri kontaktlēcas nelieto. Tomēr, rezultāti nav salīdzināmi, jo šajā pētījumā tika analizētas ilgtermiņa kontaktlēcu inducētas REB izmaiņas.

Tā kā *Maestro 3D (Topcon)* OCT uzrādīja zemu mērijumu atkārtojamību un augstu starp-mērijumu izkliedi, tad secināms, ka konkrēto ierīci nevar izmantot pētījumos, kuros tiek analizētas radzenes epitēlija biezuma izmaiņas dažādu ārējo faktoru un radzenes sasilšanu ietekmē. Lai noteiktu kontaktlēcu inducētas radzenes epitēlija biezuma izmaiņas, būtu nepieciešams pētījuma dalībniekiem atkārtot mērijumus izmantojot komerciālu ierīci, kas nodrošina augstu mērijumu atkārtojamību tieši radzenes epitēlija biezuma mērijumiem.

Literatūra

- Dawson, D. G., Ubels, J. L., & Edelhauser, H. F. (2011). Cornea and Sclera. In *Adler's Physiology of the Eye* (Eleventh Edit, pp. 71-130. el.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-05714-1.00004-2>
- Efron, N. (2019). Epithelial Oedema. *Contact Lens Complications*, 216–220. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7020-7611-4.00020-0>
- Ersan, I., Arikan, S., Kara, S., Gencer, B., Koklu, A., & Tufan, H. A. (2016). Non-invasive assessment of corneal and conjunctival deterioration in soft contact lens users using anterior segment optical coherence tomography. *Clinical and Experimental Optometry*, 99(6), 564–567. <https://doi.org/10.1111/cxo.12363>
- Farjo, A. A., Brumm, M. V, Soong, H. K., & Hood, C. T. (2019). 4.1 - Corneal Anatomy, Physiology, and Wound Healing. In *Ophthalmology* (Fifth Edit, pp. 155-159.e1). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52819-1.00203-6>
- Feng, Y., & Simpson, T. L. (2008). Corneal, limbal, and conjunctival epithelial thickness from optical coherence tomography. *Optometry and Vision Science: official publication of the American Academy of Optometry*, 85(9), E880-3. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318185272d>
- Forrester, J. V., Dick, A. D., McMenamin, P. G., Roberts, F., & Pearlman, E. (2021). Biochemistry and cell biology. In *The Eye* (Fifth Edit, pp. 162-274.e6). Elsevier Limited. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-7993-1.00004-7>
- Hashwani, N., Hashmani, S., & Saad, C. M. (2018). Wide Corneal Epithelial Mapping Using an Optical Coherence Tomography. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 59(3), 1652–1658. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-23717>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Lei, Y., Zheng, X., Hou, J., Xu, B., & Mu, G. (2015). Effects of long-term soft contact lens wear on the corneal thickness and corneal epithelial thickness of myopic subjects. *Molecular Medicine Reports*, 11(3), 2020–2026. <https://doi.org/10.3892/mmr.2014.2964>
- Loureiro, T. de O., Rodrigues-Barros, S., Lopes, D., Carreira, A. R., Gouveia-Moraes, F., Vide-Escada, A., & Campos, N. P. (2021). Corneal Epithelial Thickness Profile in Healthy Portuguese Children by High-Definition Optical Coherence Tomography. *Clinical Ophthalmology*, Volume 15, 735–743. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S293695>
- Ma, X. J., Wang, L., & Koch, D. D. (2013). Repeatability of corneal epithelial thickness measurements using fourier-domain optical coherence tomography in normal and post-LASIK eyes. *Cornea*, 32(12), 1544–1548. <https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e3182a7f39d>
- Nishida, T., Saika, S., & Morishige, N. (2017). Cornea and Sclera: Anatomy and Physiology. In M. Mannis (Ed.), *Cornea* (Fifth Edit, pp. 1–22). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-67240-5.00001-9>
- Prakash, G., Agarwal, A., Mazhari, A. I., Charz, M., Kumar, D. A., Kumar, G., & Singh, B. (2012). Reliability and reproducibility of assessment of corneal epithelial thickness by fourier domain optical coherence tomography. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 53(6), 2580–2585. <https://doi.org/10.1167/iovs.11-8981>
- Robertson, D. (2013, January). The Effects of Silicone Hydrogel Lens Wear on the Corneal Epithelium and Risk for Microbial Keratitis. *Eye Contact Lens*, 39(1), 67-72. [doi:10.1097/ICL.0b013e31827c5b73](https://doi.org/10.1097/ICL.0b013e31827c5b73)
- Sella, R., Zangwill, L. M., Weinreb, R. N., & Afshari, N. A. (2019). Repeatability and Reproducibility of Corneal Epithelial Thickness Mapping with Spectral-Domain Optical Coherence Tomography in Normal and Diseased Cornea Eyes. *American Journal of Ophthalmology*, 197, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.09.008>

- Sridhar, M. S. (2018). Anatomy of cornea and ocular surface. *Indian Journal of Ophthalmology*, 66(2), 190–194. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_646_17
- Stapleton, F., Kasses, S., Bolis, S., & Keay, L. (2001). Short term wear of high Dk soft contact lenses does not alter corneal epithelial cell size or viability. *British Journal of Ophthalmology*, 85(2), 143–146. <https://doi.org/10.1136/bjo.85.2.143>
- Turhan, S. A., Yigit, D. D., & Toker, E. (2020). Corneal epithelial thickness and corneal curvature changes during the day: The effects of daily disposable contact lens wear. *Contact Lens and Anterior Eye*, 43(4), 389–394. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2019.11.017>



**LATVIJAS
UNIVERSITĀTE**

RĪGA 2021