



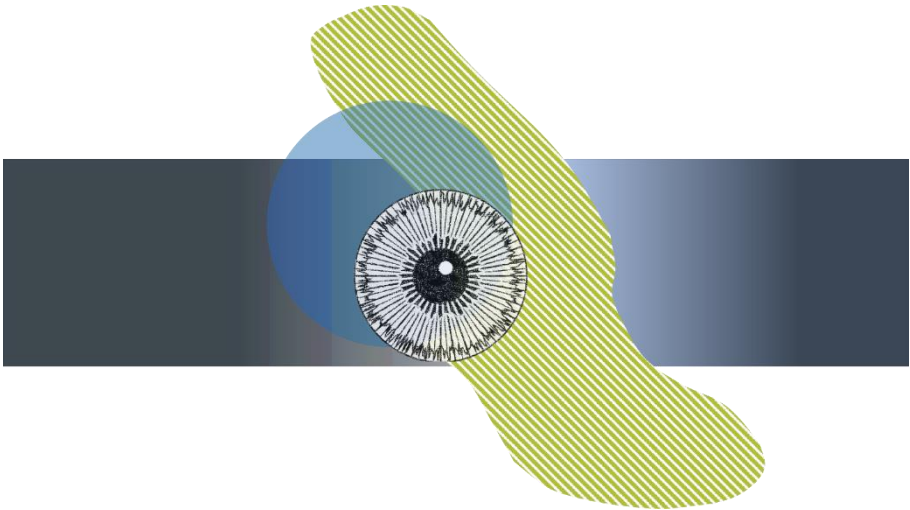
LATVIJAS
UNIVERSITĀTE

**CILVĒKA FIZIOLOĢIJAS UN UZTVERES AKTUĀLIE
PĒTĪJUMI
2022. GADĀ**

RAKSTU KRĀJUMS

**CURRENT RESEARCH IN HUMAN PHYSIOLOGY
AND PERCEPTION 2022**

COLLECTION OF PUBLICATIONS



2022

ISBN 978-9934-23-783-6

Cilvēka fizioloģijas un uztveres aktuālie pētījumi 2022. gadā.

Šajā izdevumā apkopoti LU FMOF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas un tās sadarbības partneru aktuālie pētījumi par cilvēka fizioloģiju un uztveri 2022. gadā. Pētījumi galvenokārt ir saistīti ar redzes zinātni un klīnisko optometriju.

Current Research in Human Physiology and Perception 2022

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 more closely related to vision science and clinical optometry.

Rakstu krājums sagatavots LU FMOF Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā, 2022

Recenzenti: Gatis Ikaunieks, Gunta Krūmiņa

Vāka noformējums: Karola Panke

ISBN 978-9934-23-783-6

Saturs

Redzes rakstura novērtēšana ar EYEDOO redzes skrīninga iekārtu

Slabcova, J., Yankilov, K.H., Kassaliete, E., Panke, K., Kalniča-Dorošenko, K., Jansone-Langina, Z., Trukša, R. un Krūmiņa, G. 1

EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testa aprobācija

Solima, D., Slabcova, J., Kassaliete, E., Panke, K., Kalniča-Dorošenko, K., Jansone-Langina, Z., Trukša, R. un Krūmiņa, G. 12

Datorizētais tāluma redzes asuma tests un pūļa efekts

Bukša I.A., Kassaliete E., Solima D., Slabcova J., Panke K., Kalniča-Dorošenko K., Jansone-Langina Z., Trukša R. un Krūmiņa G. 22

Verģences viegluma un fūzijas rezervju novērtēšana ar EYEDOO testiem

Eigusa, K., Slabcova, J., Kassaliete, E., Panke, K., Kalniča-Dorošenko, K., Jansone-Langina, Z., Trukša, R. un Krūmiņa, G. 30

Daudzplakņu ekrāna attēlu uztveres novērtējums

Kaulakane, G., Livitčuka, R., Pladere, T. un Krūmiņa, G. 42

Informācijas meklēšana 3D attēlos binokulāros un monokulāros apstākļos

Januškeviča, K., Pladere, T. un Krūmiņa, G. 48

EEG Signals During the Perception of Crossed and Uncrossed Disparity

Abdullayeva, A., Naderi, M., Pladere, T., and Krūmiņa, G. 55

Redzes rakstura novērtēšana ar EYEDOO redzes skrīninga iekārtu

Jeļena Slabcova*, Khaya Hely Yankilov, Evita Kassaliete, Karola Panke,
Kristīne Kalniča-Dorošenko, Zane Jansone-Langina, Renārs Trukša un
Gunta Krūmiņa

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

Anotācija

Redzes funkciju kvalitāte ir svarīgs faktors, kas ietekmē pirmsskolas un skolas vecuma bērnu fizisko, intelektuālo, sociālo un emocionālo attīstību. Binokulārā redze ir redzes rakstura veids, kas dod iespēju sapludināt abu acu objekta attēlus. Binokulārās redzes traucējumi var pasliktināt redzes asumu un kontrastjutību, apgrūtināt tādu redzes uzdevumu veikšanu kā lasīšana un rakstīšana, tādējādi negatīvi ietekmējot skolēnu akadēmiskus snieгumus. Redzes skrīnings ļauj īsā laika posmā izvērtēt dažādas redzes funkcijas lielam dalībnieku skaitam, tomēr eksistējošie skolas vecuma bērnu redzes skrīninga protokoli neiekļauj tiešus testus redzes rakstura izvērtēšanai. Šī pētījuma mērķis bija veikt Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas izveidotās skolas vecuma bērnu redzes skrīninga iekārtas EYEDOO redzes rakstura testa aprobāciju.

Pētījumā tika analizēta EYEDOO iekārtas redzes rakstura testa ticamība. Lēmuma pieņemšanai par iespējamo redzes rakstura veidu un redzes rakstura testa rezultāti tika analizēti kopā ar EYEDOO iekārtas heteroforiju testa rezultātiem. Tika apkopoti un izvērtēti rezultāti 50 Bērnu klīniskās universitātes slimnīcas pacientiem (vidējais vecums 9 ± 4 gadi). Pētījuma pirmajā daļā dalībnieki izpildīja datorizēto redzes rakstura testu un heteroforiju testu, bet otrajā daļā redzes raksturs dalībniekiem tika novērtēts, izmantojot klīnisko "zelta" standarta testu – TNO testa IV plati. Datorizētā testa ticamība tika izvērtēta, salīdzinot datorizētā testa rezultātus ar klīniskā testa atradnēm. Datu statistiskai analīzei tika veikts McNemar's Chi-squared tests. Lai attēlotu testa jutību un specifiskumu tika izmantota ROC (Receiver-Operating Characteristic) līknes analīze.

Rezultāti parādīja, ka datorizētā testa un TNO iegūtie redzes rakstura rezultāti nozīmīgi neatšķiras ($\chi^2 = 0,13$, $p = 0,72$). EYEDOO redzes rakstura testa jutība un specifiskums ir 96 %, AUC koeficients ir 0,96, kas nozīmē, ka izveidotajam testam ir teicama kvalitāte. Ar EYEDOO testu ir grūtības atšķirt monokulāri alternējošu redzi no monokulāras redzes vai vienlaicīgas redzes, bet var ticami atlasīt bērnus ar binokulāro redzi, kas ir būtiskāki redzes skrīninga nolūkiem.

Atslēgas vārdi: redzes raksturs, binokulāras redzes traucējumi, TNO testa IV plate, redzes skrīnings, EYEDOO tests

Ievads

Labai redzei ir liela loma bērna vispārējā attīstībā, jo lielāko daļu informācijas par apkārtējo pasauli mēs saņemam tieši ar redzi (Podugolnikova et al., 2014). Pateicoties redzei pirmajos dzīves gados, bērns veido lielāko daļu zināšanu un priekšstatu par apkārtējo pasauli. Redzes analizatora traucējumi agrīnajā dzīves posmā ne tikai negatīvi ietekmē vizuālās uztveres veidošanos, bet arī var negatīvi ietekmēt bērna smalko un lielo kustību motoriku, acu-roku koordināciju, runas prasmes, intelekta un kognitīvo spēju attīstību, psihoemocionālo attīstību (Glazunova, 2006; Podugolnikova et al., 2014). Skolas vecuma bērniem binokulārās redzes traucējumi var apgrūtināt tādu redzes uzdevumu veikšanu kā lasīšana un rakstīšana, radot šķēršļus zināšanu un prasmju apgūšanai, tādejādi ne tikai negatīvi ietekmējot skolēnu akadēmisko sniegumu (Podugolnikova et al., 2014; White et al., 2017), bet arī traucējot bērna sociālajai un garīgajai attīstībai, bērna personības veidošanai (Glazunova, 2006; Basch, 2011; Birch et al., 2019; Falkenberg et al., 2019). Redzes skrīnings pirmsskolas un skolas vecuma bērniem ļauj savlaicīgi konstatēt un, iespēju robežās, novērst nepilnīgu redzes sistēmas darbību (Chamberlain, 1984).

Pēc definīcijas skrīnings ir zinātniski pamatots pakalpojumu komplekss, kas norisinās tieši saskaņā ar standartizētas izmeklēšanas tehnoloģijas protokolu. Medicīnā skrīningu lieto, lai atklātu konkrētu slimību personām bez jebkādām slimības klīniskajām pazīmēm un simptomiem (Holland et al., 2006). Bieži skrīninga nolūkiem lietotie testi ir kvalitatīvi, jo to uzdevums ir tikai novērtēt meklētā stāvokļa (slimības) esamību vai neesamību (Gallaway, 2010). Redzes rakstura novērtēšana ir viens no svarīgākajiem soļiem pirmsskolas vecuma bērnu redzes skrīningā, jo binokulārās redzes trūkums var norādīt uz ambliopijas vai šķielēšanas esamību, kas traucē bērna pilnvērtīgu attīstību (Lagrèze, 2010; Le et al., 2018; Zimmerman et al., 2019).

Pārsvārā visi skolas vecuma bērnu redzes skrīninga protokoli iekļauj binokulārās redzes traucējumu novērtēšanas testus, bet tie neiekļauj tādus specifiskus redzes rakstura novērtēšanas testus, kā, piemēram, Vorsa vai Bagolini testi. Lai konstatētu binokulārās redzes traucējumus, skolas vecuma bērnu redzes skrīninga protokolos pārsvārā tiek iekļauti Hiršberga un/vai aizklāšanas testi šķielēšanas novērtēšanai un stereoredzes asuma novērtēšanas testi (Logan & Gilmartin, 2004; Hopkins et al., 2013; Metsing et al., 2018). Sakarā ar to, ka binokulārā redze ir vienīgais redzes rakstura veids, kas dod iespēju ne tikai sapludināt abu acu monokulāros attēlus vienā kopējā attēlā, bet arī nodrošina nosacījumus stereoredzes veidošanai, kas

dod iespēju novērtēt objekta lokalizāciju telpā. Redzes raksturu var netieši novērtēt ar stereoredzes asuma testu palīdzību, jo stereoredzes iztrūkumus var liecināt par nebinokulāru redzes raksturu (Švede u.c., 2008; Metsing et al., 2018; Evans, 2021).

Lai realizētu skolas vecuma bērnu redzes skrīningu, var izmantot atsevišķus klīniskos testus, speciāli izstrādātas datorizētas programmas vai automatizētas iekārtas (Griffiths et al., 2019; MDH, 2022). Pēdējos gados skolēnu redzes skrīningā arvien biežāk izmanto tieši automatizētās iekārtas un datorizētās programmas, jo šāds skrīnings ir vienkārši realizējams un īsā laika posmā ļauj novērtēt dažādas redzes funkcijas lielam bērnu skaitam (Atowa et al., 2019; Ali et al., 2021). Šādus skrīningus var realizēt nemedicīnas personāls, kas padara visu procesu efektīvāku (Priya et al., 2015; Chen et al., 2019). Tomēr, neeksistē pārliecinošu pētījumu par automatizētajās iekārtās un datorizētajās redzes skrīninga programmās iekļauto testu precizitāti (Perera et al., 2015). Mūsu pētījuma mērķis bija veikt EYEDOO redzes skrīninga iekārtas redzes rakstura testa aprobāciju. Iekārta un redzes pārbaudes metodika izstrādāta LIAA un LU projekta Nr. KC-PI-2020/10 "Redzes skrīninga un treniņu iekārtas izveide" ietvaros.

Metodika

Pētījumā piedalījās 50 Bērnu klīniskās universitātes slimnīcas pacienti (vidējais vecums 9 ± 4 gadi), ar aizdomām par nebinokulāro redzes raksturu (pacienti ar šķielēšanu, ambliopiju, kataraktu, pacienti pēc šķielēšanas labošanas operācijas) un ar binokulāro redzi. No visiem pētījuma dalībnieku likumīgajiem pārstāvjiem (vecākiem vai aizbildņiem) tika saņemta mutiska piekrišana iegūto datu apstrādei un izmantošanai pētījuma nolūkiem. Pētījuma ietvaros tika aprobēts izveidotās datorizētās redzes skrīninga iekārtas EYEDOO atsevišķais solis – redzes rakstura tests.

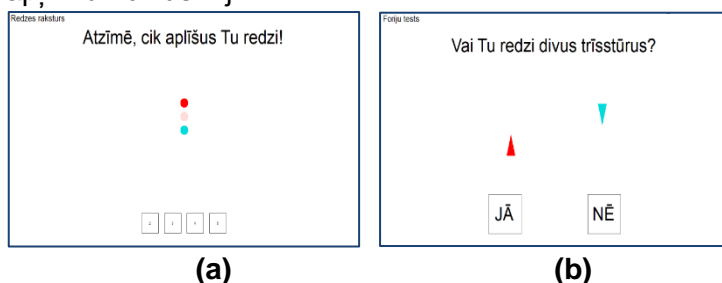
Lai pētījuma dalībniekiem novērtētu iespējamo redzes rakstura veidu ar EYEDOO ierīci, datorizētā redzes rakstura testa rezultāti tika analizēti kopā ar heteroforiju testa rezultātiem. Redzes rakstura un heteroforiju testi tika veikti 40 cm attālumā no datora ekrāna. Testu pildīšanas laikā pētījuma dalībnieks izmantoja savu ierasto optisko korekciju, ja tā bija nepieciešama. Abu acu testa stimulu atdalīšanai tika izmantoti krāsu filtri. Labās acs priekšā tika novietots sarkans filtrs, bet kreisās acs priekšā – ciānzaļš filtrs. Pirms uzsākt mērīšanu tika veikta stimula telpiskā kalibrēšana, lai pielāgotu testa objekta izmēru ekrāna pikseļu izmēram un sasniegtu tā nepieciešamo leņķisko izmēru. Telpiskai kalibrēšanai sekoja krāsu līdzsvara pielāgošana, lai

sasniegtu ekrāna krāsas intensitātes atbilstību izmantotajiem krāsu filtriem.

EYEDOO ierīcē redzes rakstura testa objekts sastāv no trim apljiem – sarkanā (redz ar kreiso aci), ciānzaļā (redz ar labo aci) un baltā (kopīgais fūzijas objekts – redz ar abām acīm) (skat. 1a.att.). Heteroforiju tests sastāv no diviem trijstūriem – sarkanā (redz ar kreiso aci) un ciānzaļā (redz ar labo aci) (skat. 1b.att.). Vispirms pētījuma dalībniekam rāda redzes rakstura testu un jautā, cik aplšus viņš redz, vai arī lūdz parādīt ar pirkstu, kur viņš redz aplšus, kad pētījuma dalībnieks nesaprot uzdevumu mazā vecuma dēļ. Pēc tam rāda heteroforiju testu un jautā, vai pētījuma dalībnieks redz divus trijstūrus, vai arī lūdz ar pirkstu parādīt trijstūrus. Katram pētījuma dalībniekam redzes rakstura tests un heteroforiju tests tika veikts tikai vienu reizi.

Pēc pētījuma dalībnieka atbildēm var interpretēt redzes rakstura veidu:

- binokulāra redze – redz trīs aplšus un divus trijstūrus;
- nestabila binokulāra redze – redz trīs aplšus un vienu trijstūri;
- monokulāra redze – redz divus aplšus un vienu trijstūri;
- monokulāri alternējoša redze – redz četrus aplšus un vienu trijstūri;
- monokulāra vai monokulāri alternējoša redze – redz divus aplšus un divus trijstūrus;
- vienlaicīga vai monokulāri alternējoša redze – redz četrus aplšus un divus trijstūrus.



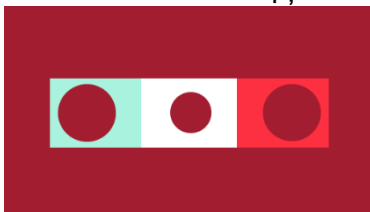
1.att. EYEDOO iekārtas (a) Redzes rakstura tests, (b) Heteroforiju tests.

Pēc tam pētījuma dalībniekiem tika novērtēts redzes raksturs ar klīnisko metodi – TNO testa IV plati. Testēšanas laikā pētījuma dalībnieks uzlika sarkani-zaļās brilles, kas iet komplektā ar TNO testu. Labās acs priekšā ir zaļš filtrs (redz testa objekta zaļganos elementus), bet kreisās acs priekšā – sarkans (redz testa objekta sarkanīgos elementus). TNO testa objekts sastāv no trim blakus novietotiem kvadrātiem zaļā, baltā un sarkanā krāsā, katrā kvadrātā ir iezīmēts

aplis – malējos kvadrātos ir lielāks aplis, bet vidējā (baltajā) – mazāks (skat. 2.att.). Vidējais kvadrāts ir kopīgais fūzijas objekts un ir redzams ar abām acīm.

Tests tika veikts 40 cm attālumā. Pētījuma dalībniekam rāda TNO testa IV plati un jautā, cik aplīšus viņš redz un kur atrodas lielākais aplis attiecībā pret mazo, vai arī lūdz uzrādīt ar pirkstu, kur viņš redz aplīšus (kad pētījuma dalībnieks nesaprot uzdevumu maza vecuma dēļ). Pēc pētījuma dalībnieka atbildēm var interpretēt redzes rakstura veidu (Švede u.c., 2008):

- binokulāra redze – redz trīs apļus vienlaicīgi;
- monokulāra redze (labā acs fiksējošā) – redz divus apļus, lielākais aplis pa kreisi;
- monokulārs (kreisā acs fiksējošā) – redz divus apļus, lielākais aplis pa labi;
- monokulāri alternējoša redze – redz divus vai četrus apļus, kas periodiski mainās;
- vienlaicīga redze – redz četrus apļus vienlaicīgi.



2.att. TNO redzes rakstura tests.

Dati par pētījuma dalībnieku redzes rakstura veidiem, iegūtiem ar EYEDOO redzes skrīninga programmu un TNO testa IV plati tika apkopoti, analizēti un salīdzināti, izmantojot programmas MS Excel un RStudio. Lai novērtētu EYEDOO redzes rakstura testa jūtību un specifiskumu tika izmantota ROC līknes analīze. Par atlases kritēriju EYEDOO testam, kad pētījuma dalībnieks ir nosūtāms uz padziļinātu redzes pārbaudi, tika pieņemts jebkurš redzes rakstura veids, kas atšķiras no binokulārās redzes. Datu statistiskai analīzei tika veikts McNemar's Chi-squared tests.

Rezultāti un to analīze

Redzes rakstura veidi, kas tika iegūti 50 pētījuma dalībniekiem ar EYEDOO redzes rakstura testu un klīnisko TNO testu, ir apkopoti 1.tabulā. 22 dalībniekiem gan EYEDOO tests, gan TNO tests norādīja uz binokulāru redzi (bin), bet septiņiem dalībniekiem abi testi norādīja uz monokulāru redzi (mon). 18 pētījuma dalībniekiem EYEDOO tests

norādīja uz monokulāru vai monokulāri alternējošu redzi (mon/mon alt), bet TNO tests sešiem no tiem norādīja uz monokulāru redzi (mon), un 12 no tiem – uz monokulāri alternējošu redzi (mon alt). Vienam no pētījuma dalībniekiem EYEDOO tests norādīja uz vienlaicīgu vai monokulāri alternējošu redzi (vienl/mon alt), bet TNO tests – uz vienlaicīgu redzi (vienl). EYEDOO redzes rakstura skrīninga tests neparedz nepieciešamo papildu jautājumu uzdošanu, lai precīzi atšķirtu savā starpā tādus redzes rakstura veidus, kā monokulāra un monokulāri alternējoša redze, kā arī vienlaicīga un monokulāri alternējoša redze. Tomēr, papildu heteroforijas testa izmantošana EYEDOO testā bija ieviesta ar nolūku, lai šādos gadījumos varētu vismaz prognozēt kādu no diviem konkrētiem redzes rakstura veidiem. Notikumi, kad datorizētais un klīniskais testi deva savstarpēji saistītus rezultātus [1.tabulā](#) ir atzīmēti ar zaļo krāsu.

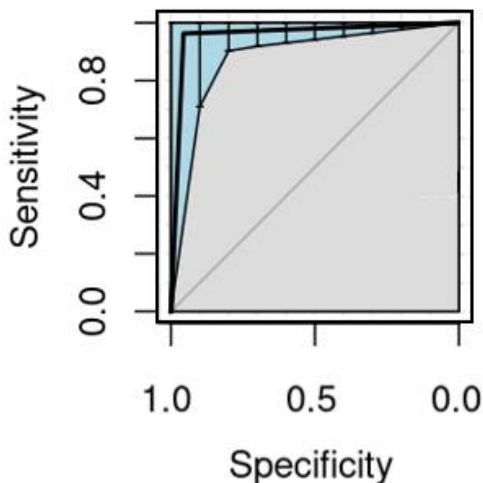
1.tabula

Pētījuma dalībnieku redzes rakstura veidi, kas tika iegūti, izmantojot EYEDOO redzes rakstura testu un TNO testa IV plati (n = 50).

	Klīniskā TNO redzes rakstura testa rezultāts				
	bin	mon	mon alt	vienl	
EYEDOO redzes rakstura testa rezultāts	bin	22		1	
	nest. bin	1			
	mon		7		
	mon alt				
	mon/ mon alt		6	12	
	vienl/ mon alt				1

Diviem pētījuma dalībniekiem EYEDOO testā iegūtais redzes rakstura veids nesakrīta ar klīniskā TNO testa rezultātu. Vienam no pētījuma dalībniekiem EYEDOO tests norādīja uz binokulāru redzi (bin), bet ar TNO testu viņam tika konstatēta monokulāri alternējoša redze (mon alt). Citam pētījuma dalībniekam EYEDOO tests norādīja uz nestabilu binokulāru redzi (nest. bin), bet TNO tests – uz binokulāru redzi (bin). Notikumi, kad EYEDOO un TNO testi deva savstarpēji pretējus rezultātus, [1.tabulā](#) ir atzīmēti ar sarkano krāsu. Tomēr, ar EYEDOO testu var ticami paredzēt iespējamo redzes rakstura veidu, jo McNemar's Chi-squared tests rāda, ka EYEDOO un TNO testu rezultāti nozīmīgi neatšķiras ($\chi^2 = 0,13$, $p = 0,72$).

Sakarā ar to, ka skrīninga testa galvenais uzdevums ir atšķirt pacientus ar normu no nenormas (Chamberlain, 1984), par atlasē kritēriju EYEDOO redzes rakstura testam, kad pacients ir nosūtāms uz padziļinātu redzes pārbaudi (pozitīvs testa rezultāts), tika pieņemts jebkurš redzes rakstura veids, kas atšķiras no binokulārās redzes. ROC analīzei 26 pētījuma dalībnieku iegūtie rezultāti tika pieņemti kā patiesi pozitīvi notikumi (viņiem nav binokulāra redze un uz to norādīja arī EYEDOO tests), 22 dalībnieku rezultāti – kā patiesi negatīvi notikumi (EYEDOO un TNO tests viņiem norādīja uz binokulāru redzi), viena dalībnieka rezultāti – kā viltus pozitīvs notikums (EYEDOO tests norādīja uz nestabilu binokulāru redzi, kaut patiesībā viņam bija stabila binokulāra redze), un viena dalībnieka rezultāti – kā viltus negatīvs notikums (EYEDOO tests norāda uz binokulāru redzi, kaut patiesībā viņam ir monokulāri alternējoša redze). EYEDOO un TNO testu



rezultātu sakritība ir attēlota atbilstošajā ROC līknē (skat. 3.att.). ROC analīzes rezultāti ir apkopoti 2.tabulā.

3.att. ROC līkne EYEDOO redzes rakstura testam (n = 50, P = 95 %).

Datorizētā redzes rakstura testa precizitāte (n = 50; P = 95 %).

ROC analīzes radītāji	
Laukums zem ROC līknes (AUC)	0,96
Testa jutība	96 %
Testa specifiskums	96 %
Viltus negatīvo atbilžu procents	4 %
Viltus pozitīvo atbilžu procents	4 %

No ROC analīzes var secināt, ka EYEDOO redzes rakstura testam piemīt augsta kvalitāte (AUC = 0,96). 96 % gadījumos tests spēs atlasīt bērnus ar nebinokulāru redzes raksturu (testa jutība ir 96 %), lai nosūtītu viņus uz padziļinātu redzes pārbaudi. Tests nemēdz būt pozitīvs bērniem ar binokulāru redzi, jo tā specifiskums ir 96 %. Tikai 4 % bērnu ar nebinokulāru redzes raksturu (nenormu) netiks atlasīti skrīninga laikā un netiks nosūtīti uz padziļinātu redzes pārbaudi (viltus negatīvo atbilžu procents). Līdzīgi, tikai 4 % bērnu ar binokulāru redzes raksturu (normu) tiks kļūdaini atlasīti skrīninga laikā un nevajadzīgi tiks nosūtīti uz padziļinātu redzes pārbaudi (viltus pozitīvo atbilžu procents).

Diskusija

Šis pētījums ir daļa no datorizētās redzes skrīninga ierīces EYEDOO dažādu testu aprobācijas. EYEDOO redzes rakstura testa aprobācijai kā "zelta" standarts tika izvēlēta klīniskā TNO testa IV plate, jo datorizētā testa uzbūve un disociācijas pakāpe ir vistuvāk tieši TNO testam. EYEDOO redzes rakstura testam piemīt augsta kvalitāte. McNemar's Chi-squared tests rāda, ka EYEDOO un TNO testu iegūtie redzes rakstura rezultāti nozīmīgi neatšķiras, tātad ar EYEDOO datorizēto testu var ticami paredzēt iespējamo redzes rakstura veidu. EYEDOO redzes rakstura testa jutība un specifiskums ir 96 %, tas nozīmē, ka 96 % gadījumos tests spēs atlasīt bērnus ar binokulārās redzes traucējumiem, lai nosūtītu viņus uz padziļinātu redzes pārbaudi. [Rychkova un Likhvantseva \(2020\)](#) skolēnu redzes rakstura novērtēšanai izveidoja modificētu Bagolīni testu, kura jutība ir 97,8 % un specifiskums 96,2 %, kas ir ļoti līdzīgi mūsu izstrādātā EYEDOO testa rezultātiem. Ar EYEDOO redzes rakstura testu nevar atšķirt monokulāri alternējošu redzi no monokulāras redzes vai vienlaicīgas redzes, jo skrīninga tests neparedz nepieciešamo papildu jautājumu uzdošanu, lai precīzi atšķirtu savā starpā šos redzes rakstura veidus.

Tomēr ar EYEDOO redzes rakstura testu var ticami atlasīt bērnus ar binokulāro redzi un bez tās, kas ir būtiski redzes skrīninga nolūkiem. Mēs secinām, ka redzes skrīninga iekārtas EYEDOO redzes rakstura testu kopā ar heteroforijas testu var izmantot redzes skrīningam.

EYEDOO redzes rakstura testa priekšrocības ir sekojošas – tas ir ātrs un interaktīvs un spēj piesaistīt bērna uzmanību; kompakts – testa realizācijai ir nepieciešams tikai portatīvs dators un sarkani-ciānzaļos filtrus. Atšķirībā no daudzām citām redzes skrīninga metodēm, piemēram, VERA, ar EYEDOO iekārtu var paredzēt iespējamo redzes rakstura veidu, bet ne tikai pastarpināti spriest par binokulārās redzes esamību, ja bērnam ir stereoredze, jo mēdz būt gadījumi, kad pacientam ir binokulāra redze, bet stereoredzes nav ([Heron & Lages, 2012](#)). Lai uzlabotu rezultātus ir novērots, ka regulāri jāveic krāsu filtru salāgošana ar datora ekrānu jeb kalibrēšana, jo redzes rakstura novērtēšanas testiem ir ļoti svarīgi, lai abu acu attēli tiktu atdalīti un tie nepārklātos.

Secinājumi

Ar redzes skrīninga iekārtas EYEDOO redzes rakstura testu var ticami paredzēt iespējamo redzes rakstura veidu ($\chi^2 = 0,13$, $p = 0,72$). EYEDOO redzes rakstura testam piemīt augsta kvalitāte, jo salīdzinājumā ar klīniskā TNO testa IV plati datorizētā testa jutība un specifiskums ir 96 %. Izmantojot EYEDOO redzes rakstura testu kopā ar heteroforijas testu, var atlasīt bērnus ar binokulāro redzi un tādus, kuriem ir binokulārās redzes traucējumi.

Pateicības

Pētījums veikts ar LIAA un LU projekta Nr. KC-PI-2020/10 “Redzes skrīninga un treniņu iekārtas izveide” atbalstu.

Literatūra

- Ali, Q., Heldal, I., Helgesen C.G., Krumina, G., Costescu, C., Kovari, A., Katona, J., & Thill, S. (2021). Current challenges supporting school-aged children with vision problems: A rapid review. *Applied Sciences*, 11(20), Article 9673.
- Atowa, U., Wajuihian, S., & Hansraj, R. (2019). A review of paediatric vision screening protocols and guidelines. *International Journal of Ophthalmology*, 12(7), 1194-1201.
- Basch, C.E. (2011). Vision and the achievement gap among urban minority youth. *Journal of School Health*, 81(10), 599-605.
- Birch, E.E., Castaneda, Y.S., Cheng-Patel, C.S., Morale, S.E., Kelly, K.R., Beauchamp, C.L. & Webber, A. (2019). Self-perception of school-aged children with amblyopia and its association with reading speed and motor skills. *JAMA Ophthalmology*, 137(2), 167-174.

- Chamberlain, J.M. (1984). Which prescriptive screening programmes are worthwhile? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 38(4), 270-277.
- Chen, A.-H., Bakar, N.F.A., & Arthur, P. (2019). Comparison of the pediatric vision screening program in 18 countries across five continents. *Journal of Current Ophthalmology*, 31(4), 357-365.
- Evans, B.J.W. (2021). *Pickwell's binocular vision anomalies* (6th ed.). Elsevier - Health Sciences Division.
- 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(1), Article 180.
- 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.
- Glazunova, S.J. (Ed.) (2006). *Classification of developmental disabilities in children*. Krasnoyarsk State Pedagogical University named after. V.P. Astafyev.
- Griffiths, H., Carlton, J., & Mazzone, P. (2019). *Summary report: Childhood vision screening in Europe*. EUScreen.
- Heron, S., & Lages, M. (2012). Screening and sampling in studies of binocular vision. *Vision Research*, 62, 228-234.
- Holland, W.W., Stewart, S., & Masseria, C. (2006). *Screening in Europe*. 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(5), 443-449.
- Le, T.D., Raashid R.A., Colpa, L., Noble, J., Ali, A., & Wong, A. (2018). Paediatric vision screening in the primary care setting in Ontario. *Paediatrics & Child Health*, 23(3), e33–e39.
- Lagrèze, W.A. (2010). Vision screening in preschool children. Do the data support universal screening? *Deutsches Ärzteblatt International*, 107(28-29), 495-499.
- Logan, N.S., & Gilmartin, B. (2004). School vision screening, ages 5–16 years: the evidence-base for content, provision and efficacy. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 24(6), 481-492.
- 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 444.
- MDH (Minnesota Department of Health). (2022). *Vision screening training manual*. Pieejams: <https://www.health.state.mn.us/docs/people/childreneyouth/ctc/visioncreen/visionscreeningmanual.pdf> (skatīts 20.05.2022.).
- Perera, C., Chakrabarti, R., Islam, F.M.A., & Crowston, J. (2015). The eye phone study: Reliability and accuracy of assessing Snellen visual acuity using smartphone technology. *Eye*, 29(7):888-894.
- Podugolnikova, T.A., Shubina, M.O., & Cherkasova, E.V. (2014). Visual screening for elementary school children: pilot study. *New Research*, 2(39), 41-51.
- Priya, A., Veena, K., Thulasiraj, R., Fredrick, M., Venkatesh, R., Sengupta, S., & Basset, K. (2015). Vision screening by teachers in southern Indian schools: Testing a new “all class teacher” model. *Ophthalmic Epidemiology*, 22(1), 60-65.

- Rychkova, S.I. & Likhvantseva, V.G. (2020). Application of the modified Bagolini test in the diagnosis of binocular vision disorders. *Ophthalmology in Russia*, 17(3), 435-441.
- Švede, A. (2008). Binokulāro funkciju izmeklēšana. Grām.: Švede, A., Krūmiņa, G., & Fridrihsons, J. *Pamatizmeklēšanas metodes optometrijā* (47.-131. lpp.), LU Akadēmiskais apgāds.
- White, S.L.J., Wood, J.M., Black, A.A., & Hopkins, S. (2017). Vision screening outcomes of Grade 3 children in Australia: Differences in academic achievement. *International Journal of Educational Research*, 83, 154-159.
- Zimmerman, D.R., Ben-Eli, H., Moore, B., Toledano, M., Stein-Zamir, C., & Gordon-Shaag, A. (2019). Evidence-based preschool-age vision screening: health policy considerations. *Israel Journal of Health Policy Research*, 8(1) Article 70.

EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testa aprobācija

Dana Solima, Jeļena Slabcova*, Evita Kassaliete, Karola Panke, Kristīne Kalniņa-Dorošenko, Zane Jansone-Langina, Renārs Trukša un Gunta Krūmiņa

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

*jelena.slabcova@lu.lv

Anotācija

Pēc definīcijas skrīnings ir zinātniski pamatots pakalpojumu komplekss, kas norisinās saskaņā ar standartizētas izmeklēšanas tehnoloģijas protokolu. Skolas vecuma bērniem redzes skrīnings palīdz savlaicīgi identificēt tādas redzes anomālijas, kuras varētu traucēt bērnu fizisko, intelektuālo, sociālo un emocionālo attīstību. Visos skolas vecuma bērnu redzes skrīninga protokolos tāluma redzes asuma novērtēšana tiek uzskatīta par "zelta standartu". Pazemināts redzes asums tālumā var liecināt par tādām redzes anomālijām, kā ambliopija, anizotropija un refrakcijas defekti. Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā ir izveidota jauna redzes skrīninga un treniņu iekārta EYEDOO, lai veiktu redzes novērtēšanu, monitoringu un treniņu skolas vecuma bērniem. Pētījumā mērķis bija veikt izveidotās EYEDOO redzes skrīninga ierīces tāluma redzes asuma testa aprobāciju.

Pētījumā piedalījās 75 dalībnieki (vidējais vecums 22 ± 5 gadi), Latvijas Universitātes darbinieki un studenti. Pētījums sastāvēja no divām daļām. Pirmajā pētījuma daļā tika novērtēta EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testa atkārtojamība. Šim nolūkam tika novērtēts monokulārais redzes asums tālumā ar izstrādāto EYEDOO testu trīs secīgos mērījumos. Otrajā pētījuma daļā tika novērtēta izstrādātā EYEDOO testa ticamība, salīdzinot tā rezultātus ar standartizētajām redzes asuma tabulām. Šim nolūkam monokulārais redzes asums 5 m attālumā tika novērtēts ar projektora Huvitz trim dažādiem optotipu veidiem (Landolta optotipiem, Snellena E optotipiem un ciparu optotipiem). Datu apstrādei tika izmantota Excel Data Analysis Toolpak programma. Lai veiktu datu statistisko analīzi tika izmantots vienfaktora ANOVA tests, Tukey HSD tests, tika novērtēta EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testa jutība un specifiskums.

Rezultāti parādīja, ka EYEDOO redzes asuma testu var pielietot klīniskajā praksē, jo ar vienfaktora ANOVA testu starp trīs mērījumu kārtu rezultātu vidējām vērtībām nebija novērota statistiski nozīmīga atšķirība ($F(2,447) = 0,21$, $p = 0,81$). Salīdzinot monokulārā tāluma redzes asuma vērtības, kas tika iegūtas ar jauno EYEDOO ierīces testu un ar standartizētajām tabulām (Landolta optotipiem, Snellena E optotipiem un ciparu optotipiem), tika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība starp grupu redzes asuma vidējām vērtībām ($F(3,576) = 3,90$, $p = 0,009$). EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testam vidējās vērtības būtiski atšķiras no rezultātiem, iegūtiem ar Landolta optotipiem ($p = 0,03$), bet ir līdzīgi rezultāti iegūti ar Snellena E optotipiem ($p = 0,28$) un ciparu optotipiem ($p = 0,74$). EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testam ir augsta jutība (94 %) un specifiskums (88 %), tas nozīmē, ka ar jaunās ierīces redzes asuma testu var ticami atlasīt cilvēkus ar pazeminātu redzes asumu tālumā.

Atslēgas vārdi: tāluma redzes asums, optotipi, redzes skrīnings, skolas vecuma bērni

Ievads

Ir daudz skrīninga definīciju, bet vienkārši sakot, skrīnings ir mēģinājums identificēt slimību cilvēkam bez jebkādam slimības klīniskajām pazīmēm un simptomiem (Wald, 2001). Ar skrīninga palīdzību var savlaicīgi identificēt veselības problēmu, kā rezultātā ārstēšana ir mazāk radikāla un tiek iekonomēti resursi (Holland et al., 2006). Lai veiktu redzes skrīningu efektīvāk, ir svarīgi zināt, kādi redzes refraktīvie defekti ir sastopami konkrētajā vecuma grupā. Eksistē trīs redzes refraktīvo defektu veidi, kas ir sastopami skolas vecuma bērniem – miopija, hipermetropija un astigmatisms (Carr & Stell, 2017). Skolas vecuma bērnu redzes skrīninga mērķis ir noteikt ambliopiju (sākumskolas bērniem), šķielēšanu un refrakcijas kļūdas (īpaši miopiju un anizometropiju) (Metsing et al., 2018).

Tāluma redzes asuma novērtēšana ir vispārpieņemta metode redzes skrīningos, un to uzskata par “zelta standartu” skolas vecuma bērnu redzes skrīningā (Ethan & Basch, 2008). Ir dažādi veidi kā var novērtēt redzes asumu tālumā (Kalloniatis & Luu, 2005). Mūsdienās vispopulārākais veids, kā novērtēt redzes asumu tālumā, ir dažādi tabulu testi (Gracheva et al., 2019). Logaritmiskais Landolta optotipu (gredzenu) tests tiek uzskatīts par “zelta standartu” pieaugušo redzes asuma testēšanai. Jebkuram redzes asuma testam, ko izmanto skrīningā, jābūt pēc iespējas tuvāk šim “zelta standartam”. Tomēr, Landolta optotipu tests ir grūti izmantojams sākumskolas vecuma bērnu populācijā. Šiem bērniem labāk izmantot Snellena E optotipus, tāpēc ka viņiem ir vieglāk nosaukt “E” optotipa kāju atrašanās četrus virzienus nekā Landolta optotipa astoņus atvēruma virzienus (EUscreen, 2020).

Redzes asuma pārbaudes laikā iegūto rezultātu var ietekmēt telpas apgaismojums un attālums līdz optotipu tabulai. Tāpēc tāluma redzes asuma pārbaudes laikā ir svarīgi pārliecināties, ka apgaismojums telpā un attālums līdz tabulai atbilst standartam. ETDRS pētījuma protokolā ir parādīts, ka pārbaudes laikā jāizmanto gaismas līmenis no 807 lx līdz 1345 lx (Tidbury et al., 2016). Šobrīd neeksistē vienots vispārpieņemts tāluma redzes asuma testēšanas attālums skrīninga nolūkiem, tomēr Starptautiskā oftalmologu padome uzskata, ka tāluma redzes pārbaudes jāveic vismaz četru metru attālumā.

Dotajā brīdī eksistē vairāki skolas vecuma bērnu redzes skrīninga protokoli. Daudzās valstīs no 1959. gada par vislabāko skolas vecuma bērnu redzes skrīninga modeli tiek uzskatīta MCT metode (The Modified Clinical Technique) (Paech, 2010), kuru izstrādāja H. Blum, H. Peters un J. Bettman. Tomēr, daži pētījumi norāda uz MCT

skrīninga modeļa nozīmīgiem trūkumiem, jo šajā redzes skrīninga protokolā nav iekļauta nekādu citu redzes funkciju novērtēšana, kā tikai tāluma redzes asums un aizklāšanas tests tālumā un tuvumā. Šos redzes skrīninga testus var veikt tikai pieredzējis speciālists, kā arī šādu skrīningu nav ekonomiski izdevīgi lietot skolās (Paech, 2010). Papildu pētījumi rāda, ka bērniem un viņu vecākiem ir lielāka līdzestība, ja redzes skrīningu veic ar automatizētajām iekārtām, jo šādā gadījumā bērni labprāt pārbauda redzes funkcijas uz vietas skolā (Logan & Gilmartin, 2004).

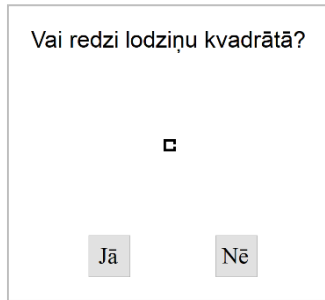
Redzes skrīnings nevar aizvietot pilno redzes pārbaudi, bet tikai nosaka tās nepieciešamību. Ja skrīninga laikā speciālists konstatē redzes problēmas iespējamību, viņš nevar uzstādīt konkrēto diagnozi. Tāpēc bērns ir nosūtāms uz tālāku padziļināto redzes pārbaudi. Diemžēl ne visi bērni, kuri tiek nosūtīti uz pilno redzes pārbaudi pēc redzes skrīninga rezultātiem, iziet to. Tāpat, ja bērns ir izgājis pilno redzes pārbaudi un ir saņēmis brillu recepti, tas vēl nenozīmē, ka brilles tik tiešām tiks iegādātas (Van Rijn et al., 2014). Mūsu pētījuma mērķis bija veikt izveidotās EYEDOO redzes skrīninga ierīces tāluma redzes asuma testa aprobāciju.

Metodika

Pētījumā piedalījās 75 dalībnieki (vidējais vecums 22 ± 5 gadi), LU darbinieki un studenti. Pētījuma ietvaros tika aprobēts redzes skrīninga iekārtas EYEDOO atsevišķais solis – tāluma redzes asuma tests.

Gan ar EYEDOO testu, gan ar standartizētajām redzes asuma tabulām, tāluma redzes asums pētījuma dalībniekiem tika vērtēts monokulāri ar esošo redzes korekciju (ja tāda bija) vai bez tās (ja redzes korekcija nebija vajadzīga).

Pētījums sastāvēja no divām daļām. Pirmajā pētījuma daļā tika novērtēta EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testa atkārtojamība. Šim nolūkam pētījuma dalībniekiem tika novērtēts monokulārais redzes asums tālumā (3 m attālumā) ar izstrādāto EYEDOO testu trīs secīgos mērījumos. Mērījums notika sekojoši: pirms redzes asuma novērtēšanas notika ierīces telpiskā kalibrēšana, lai pielāgotu testa objektu (optotipu) leņķisko izmēru. Pēc tam labajai acij 3 m attālumā tika demonstrēts izolēts optotips 0,2 logMAR vienībās (0,6 decimālās vienības) (skat. 1.att.).

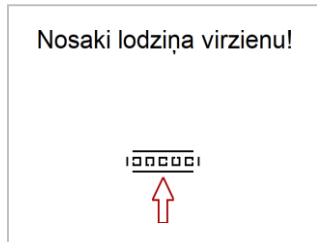


1.att. Izolēts optotips, kas tika demonstrēts (monokulāri) pirms tika uzsākta monokulārā redzes asuma novērtēšanu tālumā ar EYEDOO ierīces testu.

Dalībniekam vajadzēja pateikt, vai viņš redz vai neredz atvēruma virzienu optotipā. Ja dalībnieks neredzēja atvēruma virzienu optotipā vai arī atbildēja nepareizi, redzes asuma pārbaude tālumā labajai acij tika pārtraukta, datu failā tika ierakstīts, ka viņa redzes asums labajai acij ir lielāks vai vienāds ar 0,3 logMAR vienībām (mazāks vai vienāds ar 0,5 decimālajām vienībām), un tika vērtēts kreisās acs redzes asums.

Ja dalībnieks pareizi nosauca trīs līdz piecus optotipus, tika rādīti nākamie pieci optotipi ([skat. 2.att.](#)) ar lielumu 0,0 logMAR vienības (1,0 decimālās vienības), bet ja dalībnieks pareizi nenosauca nevienu vai tikai vienu vai divus optotipus, viņam tika demonstrēta rinda ar pieciem lielāka izmēra optotipiem, kas atbilst redzes asumam 0,2 logMAR vienības (0,6 decimālās vienības). Iegūtie un aprēķinātie dati par redzes asumu tālumā labajai acij tika ierakstīti datu glabātuvē logMAR un decimālajās vienībās. Pēc tam tāda pati procedūra redzes asuma novērtēšanai tālumā ar EYEDOO ierīces testu tika veikta kreisajai acij.

Otrajā pētījuma daļā tika novērtēta izstrādātās EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testa ticamība, salīdzinot tā rezultātus ar standartizētajām redzes asuma tabulām. Šim nolūkam pētījuma dalībniekiem tika novērtēts monokulārais redzes asums 5 m attālumā, pielietojot projektora Huvitz trīs dažādus optotipu veidus (Landolta optotipiem, Snellena E optotipus un ciparu optotipus). Katrai acij katram optotipu veidam mērījums tika veikts tikai vienu reizi. Vispirms redzes asumu novērtēja ar Snellena E optotipiem, pēc tam ar Landolta optotipiem, un beigās ar ciparu optotipiem.



2.att. EYEDOO tāluma redzes asuma tests.

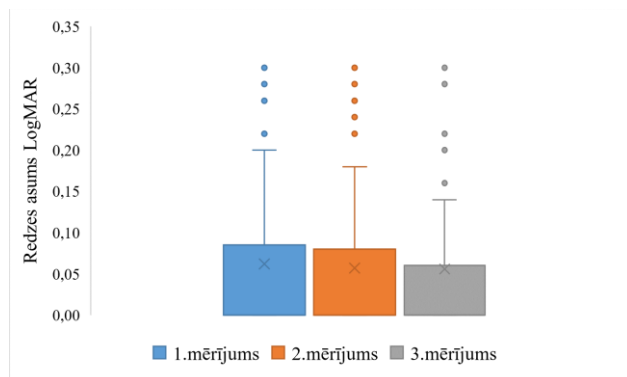
Datu apstrādei tika izmantota Excel Data Analysis Toolpak (version 16.0; Microsoft Corporation, USA) programma. Lai veiktu datu statistisko apstrādi tika izmantoti vienfaktora ANOVA tests un Tukey HSD tests. Ar vienfaktora ANOVA testu novērtēja, vai pastāv statistiski nozīmīga atšķirība starp grupu vidējām vērtībām trīs secīgos mērījumos, iegūtiem ar EYEDOO testu pirmajā pētījuma daļā. Ar vienfaktora ANOVA testu un Tukey HSD testu novērtēja, vai un kā atšķiras grupu vidējās vērtības mērījumiem, kas tika iegūti ar EYEDOO ierīces testu un ar trim dažādiem optotipu veidiem otrajā pētījuma daļā. Otrajā pētījuma daļā datu apstrādei bija iekļauti 145 acu mērījumu rezultāti. Izslēgšanas kritērijs – pētījuma dalībniekam nebija novērtēts redzes asums ar visiem trim redzes asuma testu optotipu veidiem.

Par atlasē kritēriju EYEDOO ierīces testam, kad pētījuma dalībnieks ir nosūtāms uz padziļināto redzes pārbaudi jeb redzes asuma tālumā kritiskā vērtība, tika pieņemts redzes asums kaut vienai no acīm lielāks par 0,12 logMAR vienībām jeb mazāks par 0,8 decimālām vienībām. Lai noskaidrotu EYEDOO ierīces testa spēju atlasīt cilvēkus ar pazeminātu redzes asumu tālumā, tika izmantotas speciālas formulas testa jutības un specifiskuma aprēķināšanai. Testa jutību aprēķināja, izmantojot formulu $\frac{a}{(a+b)}$, kur a ir patiesi pozitīvo notikumu skaits, b – viltus negatīvo notikumu skaits. Testa specifiskumu aprēķināja, izmantojot formulu $\frac{c}{(c+k)}$, kur c ir patiesi negatīvo notikumu skaits, k – viltus pozitīvo notikumu skaits.

Rezultāti un to analīze

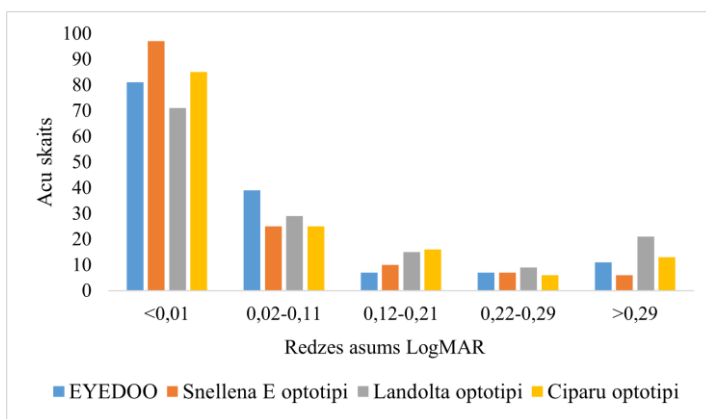
Lai novērtētu EYEDOO ierīces tāluma redzes asuma testa atkārtojamību, katram dalībniekam monokulārais tāluma redzes asums tika novērtēts trīs reizes. Mērīšanas laiks un apstākļi bija pilnīgi identiski. Kopumā redzes asums tālumā tika novērtēts 150 acīm. Lai noskaidrotu, vai pastāv statistiski nozīmīga atšķirība starp trim mērījumu kārtām, tika izmantots vienfaktora ANOVA tests. Tas parādīja, ka starp trīs mērījumu kārtās vidējo vērtību rezultātiem nav

novērota statistiski nozīmīga atšķirība ($F(2,447) = 0,21, p = 0,81$). Trīs secīgos mērījumos iegūtie redzes asuma rezultāti logMAR vienībās, izmantojot jauno datorizēto redzes asuma testu, ir attēloti 3. attēla grafikā.



3.att. Monokulāri noteiktā tāluma redzes asuma testa rezultāti trīs secīgos mērījumos (logMAR vienībās) iegūtie ar EYEDOO testu ($n = 150$).

Lai novērtētu EYEDOO ierīces testa ticamību, tika paņemts trīs secīgo mērījumu laikā iegūtais vidējais rezultāts (vidējā vērtība). Tad EYEDOO testa vidējā vērtība tika salīdzināta ar redzes asuma vērtībām, iegūtajām izmantojot redzes asuma pārbaudes testus ar trim dažāda veida optotipiem. Tāluma redzes asuma rezultāti logMAR vienībās, kas tika iegūti ar EYEDOO testu un ar dažādiem optotipu veidiem (Landolta optotipiem, Snellena E optotipiem un ciparu optotipiem), ir apkopoti un parādīti 4. attēla grafikā. Ar vienfaktora ANOVA testu tika konstatēts, ka starp redzes asuma vidējām vērtībām, kas ir iegūtas ar datorizēto testu un ar trim dažādiem optotipu veidiem, pastāv statistiski nozīmīgu atšķirību ($F(3,576) = 3,90, p = 0,009$). Ar Tukey HSD testu tika konstatēts, ka būtiski atšķiras grupu vidējās vērtības mērījumiem, iegūtiem ar EYEDOO testu un Landolta optotipiem ($p = 0,03$), bet ne starp EYEDOO testu un Snellena E optotipiem ($p = 0,28$), un ne starp EYEDOO testu un ciparu optotipiem ($p = 0,74$).



4.att. Tāluma redzes asums logMAR vienībās, iegūtais ar EYEDOO testu un ar trim dažādiem optotipu veidiem (Landolta optotipiem, Snellena E optotipiem un ciparu optotipiem) (n = 145).

Lai noteiktu EYEDOO tāluma redzes asuma testa jutību un specifiskumu, tā rezultāti tika salīdzināti ar redzes asuma vērtībām, iegūtajām ar Snellena E optotipiem. Tādu izvēli skaidrojam ar to, ka ar Tukey HSD testu netika konstatētas būtiskas atšķirības grupu vidējām vērtībām, iegūtajām ar EYEDOO testu un Snellena E optotipiem ($p = 0,28$). Kā arī EYEDOO tests deva tuvākus rezultātus Snellena E optotipu testam intervālā, kur tika definēta tāluma redzes asuma kritiskā vērtība (redzes asums, kas ir zemāks vai vienāds par 0,12 logMAR vienībām). Pie šādas redzes asuma testa kritiskās vērtības EYEDOO testa jutība ir 94 %, bet testa specifiskums – 88 %. Ja par testa kritisko vērtību pieņem redzes asumu zemāku par 0,12 logMAR, tad EYEDOO testa jutība un specifiskums palielinās (skat. 1.tab.)

1.tabula

Datorizētā testa jutība un specifiskums pie dažādām izvēlētām redzes asuma kritiskajām vērtībām.

Kritiskā vērtība (logMAR)	Jutība	Specifiskums
≤0,12	94 %	88 %
≤0,15	95 %	95 %
≤0,20	95 %	100 %

Diskusija

Redzes skrīninga ierīces EYEDOO tāluma redzes asuma testa aprobācijas rezultāti sniedz sākotnējo priekšstatu par testa darbību un efektivitāti. EYEDOO tāluma redzes asuma testam ir laba atkārtojamība, jo ar vienfaktora ANOVA testu starp trīs mērījumu kārtu rezultātiem nebija novērota statistiski nozīmīga atšķirība. Var secināt, ka šo testu var pielietot klīniskajā praksē. Salīdzinot monokulāros redzes asuma tūlumā rezultātus, kas tika iegūti ar EYEDOO ierīci, un ar dažādiem optotipu veidiem (Landolta optotipi, Snellena E optotipi un ciparu optotipi), statistiski nozīmīga atšķirība redzes asuma vidējām vērtībām tika konstatēta tikai starp EYEDOO testu un Landolta optotipiem. Faktori, kas varētu ietekmēt šādu rezultātu, ir atšķirīga optotipu sarežģītības un izplūšanas pakāpes. Bieži vien atpazīstot optotipu tiek ierosināts kognitīvais mehānisms – burtu vai ciparu atpazīšanas faktors. Landolta optotipi ir vissarežģītākie optotipi atminēšanai, jo tiem trūkst atpazīšanas faktors (Aliev et al., 2019). Vienā no pētījumiem tika konstatēts, ka redzes asums, ko nosaka ar Landolta optotipiem, ir aptuveni par vienu rindu zemāks nekā ar ciparu optotipiem (Rohrschneider et al., 2019), kas apstiprina Landolta optotipu atpazīšanas sarežģītību. EYEDOO tāluma redzes asuma testam, salīdzinot ar līdzvērtīgu standarta optometrisko redzes pārbaudi, ir augsta jutība (94 %) un specifiskums (88 %). Tas nozīmē, ka ar jauno testu var ticami atlasīt cilvēkus ar pazeminātu redzes asumu tūlumā.

Galvenās datorizētās redzes skrīninga ierīces EYEDOO priekšrocības, salīdzinot ar citām ierīcēm, ir tādas, ka to var izmantot cilvēks bez īpašām zināšanām optometrijas jomā, kā arī šī ierīce ir automatizēta, kas nodrošinās vecāku un bērnu lielāku līdzestību (Logan & Gilmartin, 2004). Lai noskaidrotu, cik labi EYEDOO tāluma redzes asuma tests ir piemērots skrīningam skolās, to būtu jāaprobē

tieši skolas vecuma bērnu populācijā. EYEDOO tāluma redzes asuma testa aprobācijai skolās mēs piedāvājam izmantot tieši Snellena E optotipus, jo ar to netika konstatētas būtiskas atšķirības grupu vidējām vērtībām starp EYEDOO testu un Snellena E optotipiem. EYEDOO tests deva tuvākus rezultātus Snellena E optotipu testam intervālā, kur tika definēta tāluma redzes asuma kritiskā vērtība ($\leq 0,12$ logMAR), kā arī maziem bērniem ir viegli nosaukt "E" optotipa kāju atrašanās četrus virzienus (EUscreen, 2020).

Secinājumi

Redzes skrīninga ierīces EYEDOO tāluma redzes asuma testam ir laba atkārtojamība ($F(2,447) = 0,21$, $p = 0,81$) un to var pielietot klīniskajā praksē. EYEDOO tāluma redzes asuma testa rezultāti ir līdzīgi iegūtiem rezultātiem ar Snellena E optotipu ($p = 0,28$) un ciparu optotipu ($p = 0,74$) tabulām. Izmantojot definēto tāluma redzes asuma kritisko vērtību (≤ 12 logMAR), ar EYEDOO testu var ticami atlasīt cilvēkus ar pazeminātu redzes asumu tālumā, jo testam ir augsta jutība (94 %) un specifiskums (88 %).

Pateicības

Pētījums veikts ar LIAA un LU projekta Nr. KC-PI-2020/10 "Redzes skrīninga un treniņu iekārtas izveide" atbalstu.

Literatūra

- Aliev, A.-G.D., Aliev, A.A.-G., Nurudinov, M.M. (2019). A new optotype and chart for precision visometry. *Russian Ophthalmological Journal*, 12(4), 8-12.
- Carr, B.J., & Stell, W.K. (2017). The science behind myopia. In Kolb, H., Fernandez, E., & Nelson, R. (Eds.), *Retina and visual system*. University of Utah Health Sciences Center. Pieejams: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470669/> (skatīts 27.05.2022.).
- Ethan, D., & Basch, C.E. (2008). Promoting healthy vision in students: progress and challenges in policy, programs, and research. *Journal of School Health*, 78(8), 411-416.
- EUscreen. (2020). *Appendix 1: Childhood vision screening after the neonatal period – procedure*. EUscreen vision & hearing. Pieejams: <https://www.euscreen.org/manual-app-1-childhood-vision-screening-procedure/#easy-footnote-bottom-1-3490> (skatīts 01.01.2022.).
- Gracheva, M.A., Kazakova, A.A., Pokrovskiy, D.F., & Medvedev, I.B. (2019). Visual acuity charts: analytical review, basic terms. *Annals of The Russian Academy of Medical Sciences*, 74(3), 192-199.
- Holland, W.W., Stewart, S., & Masseria, C. (2006). *Screening in Europe*. World Health Organization, on behalf of the European Observatory on Health Systems and Policies.
- Kalloniatis, M., & Luu, C. (2005). Visual acuity. In Kolb, H., Fernandez, E., & Nelson, R. (Eds.), *Webvision: The organization of the retina and visual system*.

- University of Utah Health Sciences Center. Pieejams: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11509/> (skatīts 20.05.2022.).
- Logan, N.S., & Gilmartin, B. (2004). School vision screening, ages 5–16 years: the evidence-base for content, provision and efficacy. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 24(6), 481-492.
- Metsing, I.T., Jacobs, W., & Hansraj, R. (2018). A review of vision screening methods for children. *African Vision and Eye Health*, 77(1), Article 446.
- Paech M. (2010). The Orinda Study: should the 'modified clinical technique' retain its 'gold standard' status as a vision screening tool? *Clinical & Experimental Optometry*, 93(1), 31-36.
- Rohrschneider, K., Spittler, A.R., & Bach, M. (2019). Vergleich der Sehschärfenbestimmung mit Landolt-Ringen versus Zahlen (Comparison of visual acuity measurement with Landolt rings versus numbers). *Der Ophthalmologe: Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 116(11), 1058-1063.
- Tidbury, L.P., Czanner, G., & Newsham, D. (2016). Fiat Lux: the effect of illuminance on acuity testing. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 254(6), 1091-1097.
- Van Rijn, L.J., Krijnen, J.S.M., Nefkens-Molster, A.E., Wensing, K., Gutker, E., & Knol, D.L. (2014). Spectacles may improve reading speed in children with hyperopia. *Optometry and Vision Science*, 91(4), 397-403.
- Wald, N.J. (2001). Editorial. The definition of screening. *Journal of Medical Screening*, 8(1), 1.

Datorizētais tāluma redzes asuma tests un pūļa efekts

Ieva Ance Bukša, Evita Kassaliete*, Dana Solima, Jeļena Slabcova, Karola Panke, Kristīne Kalniča-Dorošenko, Zane Jansone-Langina, Renārs Trukša un Gunta Krūmiņa

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

Anotācija

Objektu izšķirtspēja ir būtiskākā redzes sistēmas funkcija. Redzes asuma izvērtēšana ļauj spriest par anatomiskajām un funkcionālām izmaiņām redzes sistēmā. Kā viens no faktoriem, kas ietekmē redzes asumu, ir pūļa efekts. Pētījumā tika izveidots datorizēts tests ar mērķi salīdzināt datorizētā testa redzes asuma novērtēšanas stimulus ar standartā pieņemtajiem redzes asuma stimuliem, izvērtējot pūļa efekta ietekmi uz redzes asuma sliekšni. 42 pētījuma dalībniekiem izvērtēja redzes asumu ar Freiburg Vision Test (FrACT), Early Treatment of Diabetic Retinopathy (ETDRS) redzes asuma tabulu, kā arī ar datorizēto redzes asuma novērtēšanas testu. Datorizētajā testā varēja mainīt pūļa efekta ietekmi uz redzes izšķirtspēju. Samazinot datorizētajā testā atstarpes starp optotipiem – 0,5 un 0,25 no optotipa augstuma, redzes asuma sliekšnis būtiski nemainījās un tas neuzrādīja statistiski un klīniski nozīmīgas atšķirības redzes asuma vērtībās, salīdzinot ar ETDRS redzes asuma novērtēšanas tabulu.

Atslēgas vārdi: redzes asums, pūļa efekts, Landolta optotipi, Snellena E optotipi, Sloan burtu optotipi

Ievads

Redze ir viena no maņām, kas ļauj radīt priekšstatu par apkārtējo pasauli. Kā viens no pirmajiem mērījumiem, ko veic optometrists savā kabinetā, ir redzes asuma novērtējums. Redzes asums ir acs spēja identificēt stimulus kādā konkrētā attālumā. Redzes asuma mērījums ļauj spriest par to, vai ir kādas izmaiņas redzes sistēmā (Marsden et al., 2014). Situāciju, kad, nosakot redzes asumu, apkārt optotipam ir vēl citi optotipi vai stimuli, sauc par pūļa efektu (van den Berg et al., 2007). Pūļa efektam ir būtiska ietekme uz redzes asumu, kā arī liela nozīme klīnikā. Jo pūļa efekta ietekme mazāka, jeb atstarpe starp optotipiem ir lielāka, jo augstvērtīgāku iegūst redzes asumu (Hairoi et al., 2016; Lator et al., 2016).

Attālums, kurā pacientam jāatrodas, no redzes novērtēšanas tabulas, ir noteikts katrai redzes asuma tabulai. Visbiežāk pacientam no redzes asuma tabulas jāatrodas 3 m vai 6 m attālumā (Rabbetts & Bennett, 1998). Cilvēka telpiskā izšķirtspējas pieņemtā norma ir viena loka minūte (1'). Šajā gadījumā redzes asums ir 1,0 decimālās vienības. Redzes asuma novērtēšanas tabulās simbols, kurš atbilst

redzes asumam 1,0 decimālās vienības ir 5 loka minūtes (5') liels ([Rabbetts & Bennett, 1998](#)).

Ir vairākas redzes asuma novērtēšanas tabulas. Mūsdienās vairāk pielieto logaritmiskās redzes asuma tabulas, piemēram, Bailey-Lovie un Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) tabulas ([Bailey & Lovie-Kitchin, 2013](#)). Redzes asumu novērtējot ar ETDRS redzes asuma novērtēšanas tabulu, tiek iegūtas visprecīzākās redzes asuma vērtības. Tā tiek uzskatīta par zelta standartu redzes asuma novērtēšanā ([Kasier, 2009](#)). ETDRS tabulā pūļa efekta ietekme ir standartizēta. FrACT (Freiburg Visual Acuity and Contrast Test) ir datorizēta programma ar kuru var noteikt gan redzes asumu, gan kontrastjutību. To var pielietot redzes skrīningos un klīnikā. Var noteikt redzes asuma sliekšni ar Landolta optotipiem, Snellena E optotipiem un ar Sloan burtu optotipiem, kā arī ar šo testu var novērtēt hiperasumu ([Bach, 1996](#); [Bach, 1997](#)).

Ikdienā objektu atpazīšanai ir liela nozīme. Pūļa efekta ietekme ir nespēja atpazīt objektus drūzmā, tas rada vizuālās uztveres un atpazīšanas ierobežojums perifērijā. Regulāri ikdienā tiek radīta ilūzija, ka mūsu redzes sistēma spēj visu attēlot ar augstu izšķirtspēju, tomēr šo ilūziju var viegli izkliegt, mēģinot fiksēt skatu uz kādu objektu un censties saskatīt kaut ko perifērijā. Objekti, kurus viegli atpazīt izolētus, var būt grūtāk atpazīt, ja tiem apkārt ir citi objekti ([Whitney & Levi, 2011](#)).

Redzes asumu var noteikt pēc vairākām skalām. Zemākā optotipu rinda redzes asuma tabulā, kurā pacients ir spējīgs izšķirt vismaz trīs no pieciem optotipiem, atbilst pacienta redzes asumam. Tādēļ, ka klīniski nozīmīgas atšķirības iegūtajā redzes asuma rezultātā ir trīs optotipi. Ja redzes asums atšķiras par mazāk kā trīs optotipiem, to novērtējot ar vairākiem testiem vai metodēm, tad tam klīniski nav nozīmes ([Marsden et al., 2014](#)). Pētījuma mērķis bija salīdzināt datorizētā testa redzes asuma novērtēšanas stimulus ar standartā pieņemtajiem redzes asuma stimuliem un izvērtēt pūļa efekta ietekmi uz redzes asuma sliekšni.

Metodika

Pētījumā piedalījās 42 dalībnieki (39 sievietes un 3 vīrieši). Dalībnieki bija vecuma grupā no 19 līdz 46 gadiem. Iekļaušanas kritēriji bija redzes asums sākot no 0,63 (decimālās vienības).

Dalībnieki sēdēja 3 m attālumā no datora, uz kura ekrāna tika demonstrēta FrACT redzes asuma novērtēšanas programma. Izmantotā FrACT versija 3.10.5. Bija nepieciešama arī otra persona,

kas sēž pie datora, un ar tastatūras taustiņiem reģistrē pacienta sniegto atbildi, spiežot vai nu bultas vai burtus. Tika demonstrēti Landolta optotipi, Snellena E optotipi un Sloan burtu optotipi. Dalībniekam tika dots uzdevums ar katru aci atsevišķi nosaukt optotipus, kurus dalībnieks vēl var izšķirt. Kad pacients bija nosaucis visus optotipus, FrACT datorizētā programma gan decimālajās, gan logaritmiskajās vienībās uzrādīja pacienta redzes asumu. Atšķirībā no pārējiem redzes asuma novērtēšanas testiem, šajā redzes asums tika novērtēts neņemot vērā pūļa efektu.

Jaunizveidotajai datorizētai redzes asuma novērtēšanas programmai bija specifisks optotipu dizains (skat. 1.att.), kā arī bija iespējams variēt ar atstarpes lielumu starp optotipiem – 0,5 un 0,25 no optotipa augstuma un ieskaujošo līniju attālumu līdz optotipiem, tādā veidā mainot redzes uztveres īpašību kā pūļa efekts Pētījuma dalībnieks monokulāri sauca optotipus, kurus spēja izšķirt, līdz redzes asuma mērījums beidzās un programmas algoritms aprēķināja dalībnieka iegūto redzes asumu. Ar datorizēto programmu bija iespējams noteikt redzes asumu robežās no 0,63 līdz 1,0 decimālās vienības. Lai ar datorizēto testu varētu noteikt redzes asuma sliekšni, tika mainīts attālums starp pētījuma dalībnieku un datora ekrānu. Tas, cik tālu atradīsies redzes asuma novērtēšanas programma no pacienta, bija atkarīgs no dalībnieka redzes asuma, kas tika iegūts ar FrACT (skat. 1.tab.).



1.att. Datorizētā testa stimuls.

1.tabula

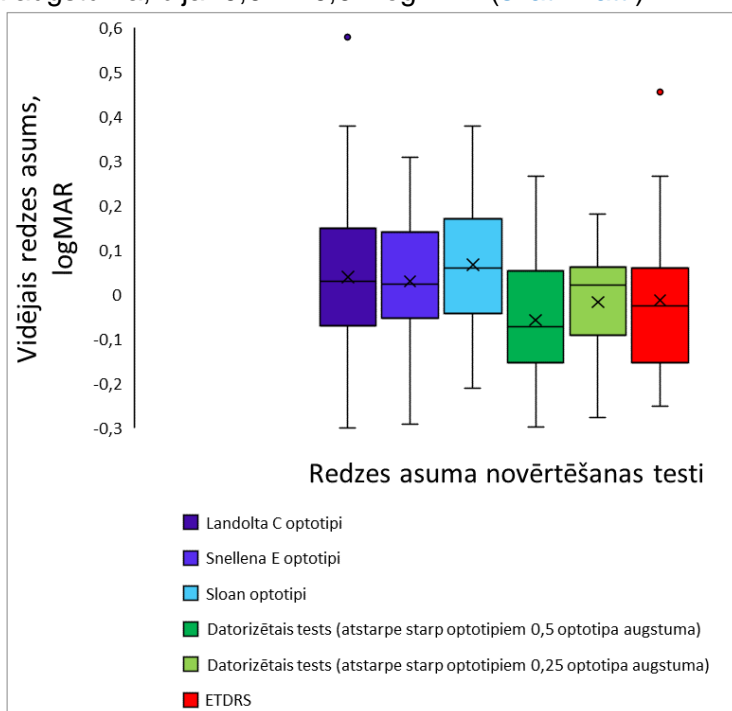
Attālums no eksperimenta dalībnieka līdz datorizētajam testam.

Redzes asums iegūts ar FrACT (decimālajās vienībās)	Attālums, kādā jāatrodas datorizētajam testam no dalībnieka
zem 1,0	3 m
no 1,0 līdz 1,26	3,5 m
no 1,26 līdz 1,62	4,5 m
virs 1,62	5,7 m

Dalībnieks, sēžot 8,9 m attālumā no ETDRS tabulas, no sākuma ar labo aci skatoties uz optotipu rindu, sauca optotipu, kuru viņš spēja izšķirt. Pēc tam tas tika atkārtots, skatoties ar kreiso aci.

Rezultāti un to analīze

Novērtējot katram dalībniekam redzes asumu ar FrACT redzes asuma novērtēšanas testu, ETDRS tabulu un jaunizveidoto datorizēto testu, tika iegūtas vidējās redzes asuma vērtības. Vidējais redzes asums ar FrACT redzes asuma novērtēšanas testa Landolta optotipiem bija $0,04 \pm 0,02$ logMAR, ar Snellena E optotipiem $0,03 \pm 0,01$ logMAR un ar Sloan optotipiem $0,07 \pm 0,02$ logMAR. Vidējais redzes asums ar ETDRS redzes asuma novērtēšanas tabulu bija $-0,01 \pm 0,02$ logMAR. Vidējais redzes asums ar datorizēto testu situācijā, kad atstarpe starp optotipiem, bija 0,5 jeb puse optotipa augstuma bija $-0,06 \pm 0,01$ logMAR. Vidējais redzes asums ar datorizēto testu situācijā, kad atstarpe starp optotipiem bija 0,25 jeb ceturtdaļa no optotipa augstuma, bija $-0,02 \pm 0,01$ logMAR (skat. 2.att.).



2.att. Vidējās iegūtās redzes asuma vērtības ar visām redzes asuma novērtēšanas metodēm.

Datorizētā testa mērījumi neuzrāda statistiski nozīmīgas atšķirības vidējās redzes asuma vērtībās, kad atstarpe starp optotipiem

datorizētajā testā bija 0,5 no optotipa augstuma un kad atstarpe starp optotipiem tika vēl uz pusi samazināta līdz 0,25 no optotipa augstumam ($p > 0,01$), kas norāda, ka, izmainot atstarpes attiecību starp burtiem, tas uzrāda vienādu pūļa efektu redzes uztverē Otrkārt, datorizētā testa rezultāti neuzrāda būtisku atšķirību redzes asuma sliekšņi no ETDRS redzes asuma novērtēšanas tabulas, apstiprinot, ka datorizētā redzes asuma tests ir salīdzināms ar standarta testu, kur pūļa efekts tiek ņemts vērā.

Analizējot datorizēto testu, kad atstarpe starp optotipiem bija 0,25 no optotipa augstuma, un ETDRS redzes asuma novērtēšanas metodi, tika noskaidrots, ka atšķirība starp vidējām iegūtajām redzes asuma vērtībām ar šīm abām metodēm bija - 0,005 logMAR vienības, kas atbilst 2,5 optotipu atšķirībai. Savukārt salīdzinot datorizēto testu, kad atstarpe starp optotipiem bija 0,5 no optotipa augstuma, un ETDRS tabulu – atšķirība starp vidējām iegūtajām vērtībām bija -0,04 logMAR vienības, kas atbilst divu optotipu atšķirībai. Abos gadījumos tas netiek klīniski uzskatīts par būtisku atšķirību. Salīdzinājums veikts starp redzes asuma novērtēšanas testiem, ka ietver pūļa efektu.

Diskusija

Ar FrACT redzes asuma novērtēšanas programmu tika iegūts zemāks redzes asums, salīdzinot ar datorizēto testu un ETDRS redzes asuma novērtēšanas tabulu. Novērtējot redzes asumu ar datorizēto testu un ETDRS tabulu, tika ņemts vērā pūļa efekts, kas netika ņemts vērā FrACT datorprogrammas izvēlētajos testos, kur tika demonstrēts izolēts optotips. No pētījuma rezultātiem izriet, ka redzes asums tiek iegūts augstvērtīgāks, ja pūļa efekta ietekme tiek ņemta vērā, kas ir pretrunā ar literatūru (Hairoi et al., 2016; Lalor et al., 2016). Nekonsekvenci var skaidrot ar datorizētā testa optotipu specifiku – kvadrātiski C simboli, kas ienes cita veida telpisko frekvenču sadalījumu redzes uztveres analizatorā. Otrkārt, atšķirību var ienest sliekšņa vērtības aprēķināšanas algoritma atšķirības, kur FrACT redzes asuma novērtēšanas programmā tiek izmantota piespiedu izvēles un “Best PEST” procedūra sliekšņa izvērtēšanai (Bach, 1997), savukārt datorizētā testa procedūra bija atšķirīga, kur redzes asuma aprēķinā fikseja mazāko optotipu rindu, parādīto optotipu skaitu un pareizi atbildēto optotipu skaitu. Rezultātā redzes asums tika aprēķināts pēc formulas: $RA = \text{“pēdējā rinda (logMAR)”} + (\text{“kopā rādītājs”} - \text{“pareizie kopā”}) \times 0,02 \text{logMAR}$, kur (“kopā rādītājs” – “pareizie kopā”) atbilst nepareizi nosaukto optotipu skaitam atbilstošajā testa setā, kas tiek sareizināts ar viena optotipa atbilstošo nominālo vērtību

(0,02 logMAR). Treškārt, pacientiem bija tendence pieliekties tuvāk, lai varētu izšķirt kādu optotipu, mērījuma kļūda ETDRS tabulai ir 0,013 logMAR jeb nepilns optotips, pieņemot, ka dalībnieks pieliecās tuvāk tabulai par 25 cm, bet FrACT redzes asuma novērtēšanas programmai ir 0,032 logMAR jeb pusotrs optotips, arī pieņemot, ka dalībnieks pieliecās tuvāk tabulai par 25 cm.

Pētījumā iegūtās vērtības precizitāti varēja ietekmēt sekojoši faktori: (1) redzes skrīninga princips datorizētajā testā – tests veidots, lai varētu novērtēt redzes kvalitātes atbilstību normai, redzes asums, kas atbilst no 0,63 līdz 1,0 decimālajām vienībām; (2) attāluma maiņa starp datora ekrānu un pētījuma dalībnieku, lai datorprogramma varētu precīzi aprēķināt redzes asuma sliekšni; (3) pētījuma dalībnieka atbildība ievērot noteikumus un nepieliekties tuvāk ekrānam redzes asuma pārbaudes brīdī, kad viņš nevarēja saskatīt optotipu; (4) atbildes reģistrēšanas precizitāte, jo pētījuma realizācijai nebija iespējams pielietot attālinātās vadības pultis un dalībnieka atbildes reģistrēja cita persona, kas prasīja lielu koncentrēšanos cilvēkam, kurš reģistrēja pacienta sniegtās atbildes.

Metodes priekšrocības (1) īsā laikā var veikt tāluma redzes asuma izvērtējumu skrīninga apstākļos, (2) testam var mainīt atstarpes lielumu starp optotipiem, ņemot vērā dažādas pakāpes pūļa efektu.

Datorizētais redzes asuma tests veiksmīgi atlasa dalībniekus ar samazinātu redzes asumu skrīninga apstākļos, kuriem nepieciešama refraktīvā korekcija, bet, lai varētu analizēt redzes sliekšņa izvērtēšanu ar esošo metodiku, precizitāte uzlabotos, ja tests tiktu veikts 6 m un ar papildus redzes asuma rindām (-0,1; -0,2; -0,3 log MAR). Tas novērstu vairākus pašreizējos metodikas trūkumus. Savukārt pūļa efekta ietekme uz redzes asuma izšķirtspēju netiek pierādīta šīs vecuma grupas dalībnieku vidū, kas norāda, ka datorizētā redzes asuma testa rezultāts nav būtiski atšķirīgs, ja atstarpe starp optotipiem tiek samazināta no 0,5 un 0,25 no optotipa augstuma. Nākotnes pētījumā varētu noteikt ar datorizēto testu redzes asumu skolēniem un izvērtēt pūļa efekta ietekmes lielumu dažāda vecuma grupās, lai spriestu par to vai šo datorprogrammu var pielietot skolēnu skrīningā.

Pētījuma rezultātu precizitāte uzlabotos, ja datorizētai tests noteiktu redzes asumu no 0,63 līdz 2,0 decimālajām vienībām. Tas novērstu vairākus pašreizējos pētījuma trūkumus. Nākotnes pētījumā varētu noteikt ar datorizēto testu redzes asumu skolēniem, un spriest par to vai šo datorprogrammu var pielietot skolēnu skrīningā.

Secinājumi

Datorizētais tests neuzrāda statistiski un klīniski nozīmīgas atšķirības redzes asuma sliekšņī salīdzinot ar ETDRS redzes asuma novērtēšanas tabulu. Datorizētais tests neuzrāda statistiski un klīniski nozīmīgas atšķirības redzes asuma sliekšņī, samazinot datorizētajā testā atstarpes lielumu no 0,5 uz 0,25 no optotipa augstuma. Savukārt datorizētais tests uzrāda statistiski nozīmīgi augstvērtīgāku redzes asuma sliekšni salīdzinājumā ar FrACT redzes asuma novērtēšanas programmu, kurā tika izmantoti atsevišķi optotipi, neņemot vērā pūļa efektu. Tas norāda, ka redzes asuma izvērtēšanas metodika ir būtiskāks faktors nekā pūļa efekts attiecīgajā dalībnieku vecuma grupā.

Pateicības

Pētījums veikts ar LIAA un LU projekta Nr. KC-PI-2020/10 "Redzes skrīninga un treniņu iekārtas izveide" atbalstu. Paldies asociētajai profesorei Aigai Švedei par palīdzību un padomiem pētījuma rezultātu apstrādē!

Literatūra

- Bach, M. (1997). Manual of the Freiburg vision tests "FrACT", version 3.10.0. Pieejams: https://michaelbach.de/fract/media/FrACT3_Manual.pdf
- Bach, M. (1996). The Freiburg visual acuity test - automatic measurement of visual acuity. *Optometry and Vision Science*, 73(1), 49-53.
- Bailey, L. I., & Lovie-Kitchin, E. J. (2013). Visual acuity testing. From the laboratory of the clinic. *Vision Research*, 90(1), 2-9.
- Hairol, M. I., Omair, Q. M., & Kaur, S. (2016) Effects of flanker type and position on foveal letter recognition. *ision Research*, 153(1), 13-23.
- Kaiser P. K. (2009). Prospective evaluation of visual acuity assessment: a comparison of snellen versus ETDRS charts in clinical practice. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 107, 311-324.
- Lalor, S., Formankiewicz, M. A., & Waugh, S. J. (2016). Crowding and visual acuity measured in adults using paediatric test letters, pictures and symbols. *Vision Research*, 121(1), 31-38.
- Marsden, J., Stevens, S., & Ebri, A. (2014). How to measure distance visual acuity. *Community Eye Health*, 27(85), 16-v.
- Rabbets, R., B. & Bennett, A., G. (1998). Bennett and Rabbett's Clinical Visual Optics. Butterworth Heinemann (Fourth Edition).
- van den Berg, R., Roerdink, J. B., & Cornelissen, F. W. (2007). On the generality of crowding: visual crowding in size, saturation, and hue compared to orientation. *Journal of Vision*, 7(2), 1-11.
- Whitney, D. & Levi, M. D. (2011). Visual crowding: a fundamental limit on conscious perception and object recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(4), 160-168.

Vergences viegluma un fūzijas rezervju novērtēšana ar EYEDOO testiem

Krista Eigusa, Jeļena Slabcova*, Evita Kassaliete, Karola Panke, Kristīne Kalniņa-Dorošenko, Zane Jansone-Langina, Renārs Trukša un Gunta Krūmiņa

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

Anotācija

Samazinoties vecumam, kurā bērni uzsāk lietot viedās ierīces, arvien agrāk sāk izpausties redzes funkciju traucējumi. Tieši redzes funkciju kvalitāte ir viens no faktoriem, kas ietekmē bērna mācīšanās spējas. Tādēļ ir būtiski laicīgi atklāt bērnam radušās redzes problēmas, lai tās novērstu vai kavētu to attīstību. Redzes skrīnings ir metode, kura ļauj īsā laika posmā izvērtēt redzes funkciju kvalitāti lielam bērnu skaitam, un, pamatojoties uz redzes funkciju novirzēm no normas, noteikt, kuriem bērniem ir nepieciešama padziļināta redzes pārbaude pie speciālista. Šī pētījuma mērķis bija apobēt izveidotās EYEDOO ierīces vergences viegluma un fūzijas rezervju testus.

Pētījumā tika analizēta EYEDOO ierīces vergences viegluma un fūzijas rezervju testu rezultātu atkārtojamība un ticamība. Tika apkopoti un izvērtēti rezultāti no 74 LU studentiem un darbiniekiem (vidējais vecums 22 ± 5 gadi). Pētījuma pirmajā daļā dalībnieki veica EYEDOO vergences viegluma un fūzijas rezervju testus, bet otrajā daļā šīs pašas funkcijas tika novērtētas, izmantojot klīniskos "zelta" standarta testus: vergences vieglums tika vērtēts ar 3 pd BIE / 12 pd BĀ prizmu fliperi, bet horizontālās fūzijas rezerves – ar prizmu lineālu. Analizējot iegūtos datus, tika veikta EYEDOO testu rezultātu atkārtojamības novērtēšana, savstarpēji salīdzinot trīs mērījumu kārtu rezultātus, un tad testa rezultāti tika salīdzināti ar klīnisko testu atradnēm, izvērtējot EYEDOO testa ticamību. Datu statistiska analīze tika veikta, izmantojot vienfaktora ANOVA testu un nosakot Pīrsona korelācijas koeficientu.

Rezultāti parādīja, ka EYEDOO vergences viegluma testam ($F(2,180) = 2,40, p = 0,09$), negatīvajām ($F(2,171) = 0,16, p = 0,85$) un pozitīvajām ($F(2,189) = 1,17, p = 0,31$) fūzijas rezervju testam ir augsta atkārtojamība, kas turpmāk ļauj dalībniekam šos testus veikt tikai vienu reizi. EYEDOO vergences viegluma testa rezultāti, pārskatot ciklu ieskaites kritērijus, nav uzrādījuši statistiski nozīmīgu atšķirību no klīniskā testa rezultātiem ($F(1,120) = 0,01, p = 0,94$). Savukārt, starp EYEDOO un klīniskā fūzijas rezervju testa rezultātiem pastāvēja būtiska atšķirība gan pozitīvajām ($F(1,126) = 33,01, p < 0,05$), gan negatīvajām fūzijas rezervjēm ($F(1,114) = 10,73, p < 0,05$), kas liecina, ka EYEDOO fūzijas rezervju testam ir jādefinē atsevišķas normas.

Atslēgas vārdi: redzes skrīnings, apobācija, vergences vieglums, fūzijas rezerves, binokulārā redze

Ievads

Veiksmīgai mācību materiālu apgūšanai būtiska ir vairāku maņu orgānu vienlaicīga stimulācija, līdz ar to redzes problēmas var negatīvi ietekmēt bērna akadēmiskos sasniegumus (White et al., 2017). Bērniem arvien agrāk un vairāk saskaroties ar digitālajām ierīcēm (Kim et al., 2016), samazinās vecums kurā paradās un sāk izpausties redzes funkciju traucējumi (Morgan et al., 2020). Bieži vien tie ir binokulārās redzes traucējumi, kuri izraisa bērnam galvassāpes, dubultošanos un acu nogurumu (Birch & O'Connor, 2016). Laicīgi pamanīt redzes sistēmas nepilnīgu darbību ļauj redzes skrīnings (White et al., 2017; Podugolnikova, 2017).

Pēc savas būtības skrīnings ir testa vai izmeklēšanas metodes sistemātisks pielietojums, parasti lielai cilvēku grupai, ar mērķi atlasīt indivīdus, kuriem pastāv noteikts traucējums vai traucējuma risks, lai būtu iespēja veikt padziļinātu attiecīgo funkciju izmeklēšanu un, nepieciešamības gadījumā, piemērot ārstēšanu vai preventīvos pasākumus (Wald, 2006). Redzes skrīninga mērķis ir īsā laika posmā veikt redzes testus lielam cilvēku skaitam, lai atklātu pacientus ar redzes traucējumu pastāvēšanas varbūtību. Redzes skrīnings neļauj uzstādīt precīzu diagnozi, bet palīdz noteikt, kuriem pacientiem būtu nepieciešama padziļināta pārbaude ar klīniskajiem testiem (Chamberlain, 1984).

Kad medicīnā vai citā nozarē paradās jauna skrīninga metode, pirms to sāks plaši pielietot, ir jāapstiprina tās precizitāte. Parasti jauno testēšanas metodi novērtē, salīdzinot jaunās metodes sniegtos rezultātus ar attiecīgās funkcijas izmeklēšanas "zelta" standarta testa rezultātiem (Parikh et al., 2008). Salīdzinot dažādas redzes skrīninga testu kombinācijas var secināt, ka precīzākiem testiem ar lielāku jutību un specifiskumu parasti ir nepieciešama sertificēta speciālista uzraudzība un līdzdalība. Tieši tādēļ ir aktuāla datorizētas redzes skrīninga programmas un iekārtas izveide, kura ļaus skrīninga testu izpildīšanai piesaistīt nevis tikai redzes aprūpes speciālistus, bet arī cilvēkus bez padziļinātām zināšanām redzes aprūpes jomā (Atowa et al., 2019).

Pārbaudot bērnu redzes funkcijas, skrīninga testi pārsvarā ir vērsti uz ambliogēno faktoru atklāšanu (Metsing et al., 2018), kaut gan novirze no normas vergences viegluma un fūzijas rezervju testos var norādīt uz abu acu sadarbības nepilnībām (Hullar et al., 2020). Vergences viegluma neatbilstība normai var norādīt uz akomodācijas un vergences funkciju traucējumiem (Švede u.c., 2008). Savukārt, fūzijas rezervju noteikšana, pie nosacījuma, ka pacientam pastāv

heteroforija, ļauj novērtēt, kādā mērā tā tiek kompensēta, saglabājot binokularitāti (Barrett, 2020).

Vergences viegluma tests ļauj izvērtēt, cik ātri un precīzi fūzijas vergences mehānisms spēj pielāgoties vergences pieprasījuma izmaiņām laika gaitā (Gall et al., 1998). Pieliekot vienas acs priekšā prizmu ar bāzes virzienu uz iekšu, tiek stimulēta diverģence – attēls sadubultojas un kalpo kā stimulētais fūzijas vergences mehānisma darbībai, tādēļ normāli pēc īsā laika tiek atjaunota bifoveāla fiksācija (fūzija) un cilvēks spēj ieraudzīt apvienotu attēlu. Līdzīgas izmaiņas notiek, vienas acs priekšā pieliekot prizmu ar bāzi uz āru – attēls sadubultojas un stimulē konvergenci, lai novērstu dubultošanu un atjaunotu fūziju (Švede u.c., 2008). Parasti acu konverģējošās spējas ir lielākas nekā diverģējošās, tādēļ par “zelta” standarta testu vergences viegluma pārbaudei tuvumā un tālumā ir pieņemta prizmu kombinācija ar 3 prizmatiskām dioptrijām (pd) ar bāzi uz iekšu (BIE) un 12 pd ar bāzi uz āru (BĀ) (Evans, 2007). Vergences viegluma testa rezultātus izsaka kā ciklu skaitu minūtē (cikli/min), kas nozīmē, ka izmeklēšana tiek veikta vienas minūtes laikā un vienam ciklam atbilst fūzijas atjaunošanās pie 3 pd BIE un secīgi pie 12 pd BĀ (Gall et al., 1998). Par normu, testu veicot tuvumā ar šādu prizmu kombināciju, uzskata rezultātu, kas ir vismaz 15 ± 3 cikli/min (Krūmiņa u.c., 2013).

Fūzijas rezervju novērtēšana ļauj pārbaudīt fūziju mehānisma spējas kompensēt heteroforiju, nodrošinot skaidra, nesadubultota attēla veidošanos uz abu acu tīklenēm (Švede u.c., 2008). Visbiežāk fūziju rezerves pārbauda, izmantojot prizmu lineālu (Evans, 2007). Horizontālās fūzijas rezerves tiek vērtētas, vispirms pieliekot vienas acs priekšā prizmas ar bāzi uz iekšu – tādējādi nosakot negatīvās jeb diverģentās fūzijas rezerves. Un tad, pieliekot vienas acs priekšā prizmas ar bāzi uz āru, nosaka pozitīvās jeb konverģentās fūziju rezerves, kurām parasti ir lielāka amplitūda nekā negatīvajām. Testu sāk ar 1 pd stipru prizmu un pakāpeniski palielina to stiprumu, kamēr pacients ziņo par fiksācijas attēla nepārejošu dubultošanu – prizmas stiprums, kas tajā brīdī atradās acs priekšā tiek uzskatīts par dubultošanās punkta vērtību. Kad tika sasniegta dubultošanās, prizmas stiprumu pakāpeniski samazina līdz pacients ziņo par spēju ieraudzīt apvienotu attēlu – prizmas stiprums, pie kura pacientam izdevās pārvarēt dubultošanu, atjaunojot fūziju, tiek uzskatīts par atjaunošanās punkta vērtību. Pieliekot acs priekšā prizmas, attēls ne tikai sadubultojas, bet mēdz arī palikt miglains, līdz ar to prizmas stiprumu, pie kura pacients ziņo par attēla miglošanu, attiecīgi uzskata par miglošanās punkta vērtību (Barrett, 2020). Vai pacienta

heteroforiju izdodas kompensēt ar fūzijas rezervēm, parasti vērtē pēc Šerda kritērija: fūzijas rezervju miglošanās vai dubultošanās (ja pacients nemanīja miglošanos) punktam ir jābūt divas reizes lielākam nekā esošā heteroforija (Evans, 2007; Švede u.c., 2008).

Izstrādājot jaunu testēšanas metodi, ir būtiski nodrošināt piemērotu noteiktās funkcijas vai parametra mērīšanu, kā arī, lai iegūtajiem rezultātiem būtu augsta atkārtojamība un ticamība. Atkārtojamība tiek pārbaudīta, veicot vienu un to pašu testu nemainīgai indivīdu grupai vairākas reizes, un savstarpēji salīdzinot dažādu mērījumu kārtu rezultātus. Ja starp tiem nepastāv statistiski nozīmīga atšķirība ($p > 0,05$), tad tiek uzskatīts, ka testam ir laba atkārtojamība. Savukārt, ticamība tiek novērtēta, salīdzinot jaunā testa un “zelta” standarta testa iznākumus. Ja starp testu rezultātiem nepastāv būtiska atšķirība, var secināt, ka jaunajam testam ir augsta ticamība (Kennedy, 2016). Pētījuma mērķis bija aprobēt izveidotās redzes skrīninga ierīces EYEDOO verģences viegluma un fūzijas rezervju testus.

Metodika

Pētījumā piedalījās 75 LU studenti un darbinieki (vidējais vecums 22 ± 5 gadi). Vienīgais dalībai pētījumā izslēgšanas kritērijs bija presbiopijas vecums jeb virs 45 gadiem, jo nepilnīga akomodācijas darbība varēja ietekmēt testu rezultātus. Savukārt, cilvēki ar refrakcijas kļūdām un binokulārās redzes traucējumiem varēja piedalīties pētījumā, jo tādējādi pētījums tika tuvināts īstā skrīninga apstākļiem.

Šī pētījuma ietvaros tika aprobēti redzes skrīninga iekārtas EYEDOO atsevišķie soļi – verģences viegluma un fūzijas rezervju testi. Abi testi tika veikti 40 cm attālumā no datora ekrāna. Testu pildīšanas laikā dalībnieks izmantoja savu ierasto optisko redzes korekciju, ja tā bija nepieciešama. Kā stimulš abos redzes testos tika izmantota izkliedēto punktu karte ar telpisku bultu, uz kuru dalībniekam bija jāskatās binokulāri cauri krāsu filtriem, ar kuru palīdzību abu acu attēli tika atdalīti. Labās acs priekšā atradās sarkans filtrs, bet kreisās – ciānzaļš. Pirms katra testa uzsākšanas tika veikta stimula telpiskā kalibrēšana, lai pielāgotu testa objekta izmēru ekrāna pikseļu izmēram, sasniedzot testa veikšanai nepieciešamā prizmatiskā efekta simulāciju. Telpiskai kalibrēšanai sekoja krāsu līdzsvara pielāgošana, lai sasniegtu ekrāna krāsas intensitātes atbilstību izmantotajiem krāsu filtriem.

Verģences viegluma testa pildīšanas laikā dalībniekam uz ekrāna tika rādīts telpiskās bultas attēls ar fiksētu relatīvo krustoto disparitāti – 20 loka minūtes, un mērījuma laikā tika mainīta fona jeb absolūtā

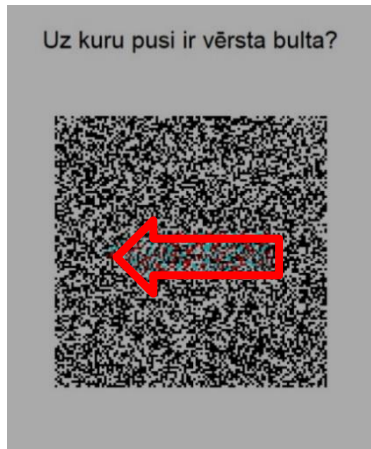
disparitāte. Sākumā, izmantojot fona nekrustoto disparitāti, tika simulēta skatīšanās caur prizmu 2 pd BIE, un tad ar krustoto fona disparitāti tika simulēta skatīšanās caur prizmu 4 pd BĀ (skat. 1.att.). Rādot dalībniekam katru nākamo izklaidēto punktu karti, fona disparitāte tika mainīta uz pretējo un mainījās arī rādītās telpiskās bultas virziens.



1.att. Verģences viegluma telpiskā testa objekta simulācija pie krustotās fona disparitātes. Pateicoties abu acu attēlu sadalīšanai ar krāsu filtru palīdzību, testa veicējs redz uz ekrāna telpisko bultu.

Verģences viegluma tests turpinājās vienu minūti. Ja 10 sekunžu laikā dalībnieks nespēja reģistrēt atbildi par telpiskās bultas virzienu, mērijums turpinājās, parādot stereoplātī ar pretējās disparitātes attēlu. Testa noslēgumā dalībnieka iesniegtās atbildes tika automātiski saglabātas un analizētas MS Excel tabulās, rezultātu izvadot kā ciklu skaitu minūtē un vidējo laiku katrai cikla fāzei (pie BIE un BĀ) sekundēs.

Fūziju rezervju novērtēšanas laikā, līdzīgi kā verģences viegluma testā, dalībniekam uz ekrāna tika rādīts telpiskās bultas attēls ar fiksētu relatīvo krustoto disparitāti – 20 loka minūtes, bet mērijuma laikā pakāpeniski tika palielināta fona jeb absolūtā disparitāte pie nekrustotās un krustotās disparitātes. Fūziju rezervēm EYEDOO testā tika reģistrēta dubultošanās punkta vērtība, no sākuma mērot negatīvās fūzijas rezerves pie nekrustotās disparitātes (simulējot skatīšanos caur prizmām ar BIE) (skat. 2.att.) un tad mērot pozitīvās fūzijas rezerves pie krustotās disparitātes (simulējot skatīšanos caur prizmām ar BĀ).



2.att. Fūzijas rezervju telpiskā testa objekta simulācija pie nekrustotās disparitātes. Pateicoties abu acu attēlu sadalīšanai ar krāsu filtru palīdzību, testa veicējs redz uz ekrāna telpisko bultu.

Vērtējot negatīvās fūzijas rezerves, pēc katra dalībnieka pareizās atbildes par telpiskās bultas virzienu, nākamā telpiskā attēla fona disparitāte tika palielināta ar soli 0,76 pd, papildus tika mainīts arī telpiskās bultas virziens. Ja dalībnieks divas reizes pēc kārtas kļūdījās vai nespēja sniegt atbildi 4 sekunžu laikā par telpiskās bultas virzienu, testēšana automātiski tika pārtraukta. Tests beidzās arī tad, ja dalībnieks sasniedza 32 pd BIE sliekšni, jo šī ir maksimālā vērtība, kuru EYEDOO tests ļāva nomērīt. Uzreiz pēc negatīvo fūzijas rezervju mērīšanas tika automātiski iesākta pozitīvo fūzijas rezervju novērtēšana, testa izpildīšanas un pārtraukšanas nosacījumiem paliekot nemainīgiem. Līdzīgi kā verģences viegluma testa gadījumā, atbildes tika automātiski saglabātas un analizētas MS Excel tabulās, rezultāts tika iegūts kā prizmu lielums dubultošanās punktam pie BIE un BĀ.

EYEDOO verģences testi katram dalībniekam tika atkārtoti trīs reizes, lai pastāvētu iespēja novērtēt to atkārtojamību. Pēc šiem testiem dalībniekiem tika veikta verģences viegluma un fūzijas rezervju novērtēšana pielietojot klīniskās metodes. Verģences vieglums tika mērīts, izmantojot 12 pd BĀ/3 pd BIE prizmu fliperi, reģistrējot verģences ciklu skaitu minūtē. Savukārt fūziju rezerves tika mērītas ar prizmu lineālu, reģistrējot attiecīgajām rezervēm miglošanās, dubultošanās un atjaunošanās punktus.

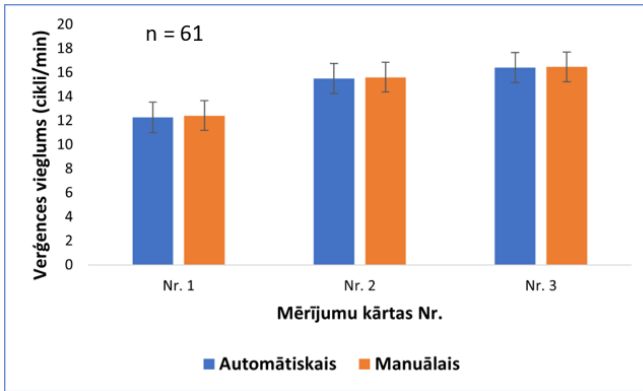
Analizējot iegūtos datus, no sākuma tika novērtēta katra EYEDOO testa atkārtojamība, salīdzinot trīs mērījumu kārtu rezultātus, un tad tika salīdzināti EYEDOO un klīnisko testu rezultāti, lai novērtētu

EYEDOO testu ticamību. Statistiskā analīze tika veikta, izmantojot programmas MS Excel un RStudio. Statistiskai analīzei netika izmantoti visu 75 skrīninga dalībnieku dati, jo viens no pētījuma dalībniekiem nespēja izpildīt EYEDOO vergences testus sakarā ar stereoredzes trūkumu. Kā arī katrā no testiem analīzei tika izmantoti tikai pilnās kopas dati, kur visās trīs mēģinājumu kārtās dalībniekam tika iegūts skaitlisks rezultāts. Līdz ar to vērtējot vergences viegluma ciklu skaitu minūtē, nevarēja izmantot 15 dalībnieku rezultātus. Analizējot vergences fāzes vidējo laiku, nederīgi izrādījās 29 dalībnieku rezultāti. Negatīvo fūzijas rezervju gadījumā nevarēja analizēt 16 dalībnieku datus, bet pozitīvo fūziju rezervju gadījumā nederīgi bija 10 dalībnieku dati.

Rezultāti un to analīze

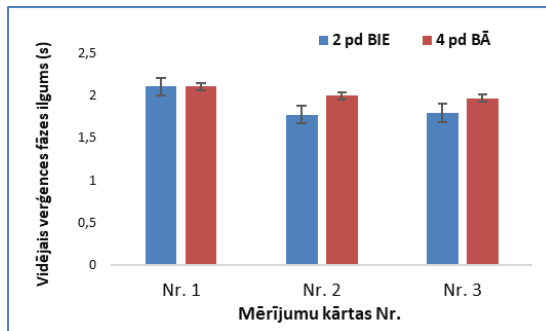
EYEDOO vergences testu atkārtojamības novērtēšanai tika izmantots vienfaktora ANOVA tests. Ja starp trīs mērījumu kārtu rezultātiem netika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība, tad tika uzskatīts, ka testam ir laba atkārtojamība. Papildus tika aprēķināts arī Pīrsona korelācijas koeficients katram mēģinājumu pārim: pirmā ar otro reizi, otrā ar trešo reizi un trešā ar pirmo reizi.

Vērtējot vergences viegluma testa rezultātu atkārtojamību ciklu skaitu minūtē, tika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība. Post-Hoc Tukey tests norādīja, ka statistiski nozīmīga atšķirība pastāv tieši starp pirmo un trešo mērījumu kārtu ($F(2,174) = 3,31, p = 0,04$), bet ne starp pirmo un otro ($p = 0,14$) un ne starp otro un trešo ($p = 0,77$). Viens no iemesliem šādam iznākamam varēja būt mācīšanās efekts, kurš uzlaboja dalībnieku sniegumu katrā nākamajā mērījumu kārtā. Savukārt vēl viens iemesls būtiskai atšķirībai starp rezultātiem bija EYEDOO esošais vergences ciklu ieskaites kritērijs. Cikls tika ieskaitīts tikai gadījumā, ja pareizai atbildei pie 2 pd BIE sekojas pareizā atbilde pie 4 pd BĀ. Līdz ar to tika pieņemts lēmums veikt manuālo ciklu pārrēķinu, katram dalībniekam ieskaitot tik daudz ciklu, cik katrā mēģinājumā bija pareizo atbilžu pāru pie 2 pd BIE un 4 pd BĀ. Piemēram, ja pie 2 pd BIE dalībnieks ir sniedzis divas pareizas atbildes, bet pie 4 pd BĀ – vienu pareizo atbildi, pat ja tās nebija secīgas, tika ieskaitīts viens vergences darbības cikls. Pēc manuālā ciklu pārrēķina vienfaktora ANOVA tests neuzrādīja statistiski nozīmīgu atšķirību starp trīs mērījumu kārtu rezultātiem ($F(2,180) = 2,40, p = 0,09$) (skat. 3.att.).



3.att. Verģences viegluma (cikli/min) vidējo vērtību atšķirība trīs mērģjumu kārtās pie automātiskā un manuālā ciklu pārrēķina.

Savukārt analizējot trģs mērģjumu kārtu datus katras cikla fāzes vidējam laikam, gan pie 2 pd BIE ($F(2,108) = 1,39, p = 0,25$), gan pie 4 pd BĀ ($F(2,111) = 0,21, p = 0,81$), starp rezultātiem būtiska atšķirģba netika konstatēta. Vidējais verģences cikla fāzes ilgums pie 2 pd BIE bija $1,89 \pm 0,15$ sek., bet pie 4 pd BĀ – $2,02 \pm 0,06$ sek ([skat. 4.att.](#)). Savukārt aprēķinot Pģrsona korelācijas koeficientus tika noskaidrots, ka gan pie 2 pd BIE, gan pie 4 pd BĀ starp 1. un 2., 2. un 3., un 1. un 3. mērģjumu kārtām pastāv statistiski nozģmģga ($p < 0,05$) vidēģi ciešā korelģcija.



4.att. Verģences vidējā fāzes ilguma atšķirģba sekundēs (s) dažādās mērģjumu kārtās pie 2 pd BIE un pie 4 pd BĀ ($n = 45$).

Fģzģjas rezervģu EYEDOO testam arī tika konstatēta augsta atkārtojamģba gan mērģjumos ar BIE ($F(2,171) = 0,16, p = 0,85$), gan mērģjumos ar BĀ ($F(2,189) = 1,17, p = 0,31$). Veicot Pģrsona korelācijas koeficienta aprēķinus tika konstatēts, ka negatģvajām fģzģjas rezervģm starp trģs mērģjumu kārtu pāriem pastāv nedaudz

ciešāka korelācija ($p < 0,05$) nekā pozitīvo fūzijas rezervju gadījumā ($p < 0,05$) (skat. 1.tab.).

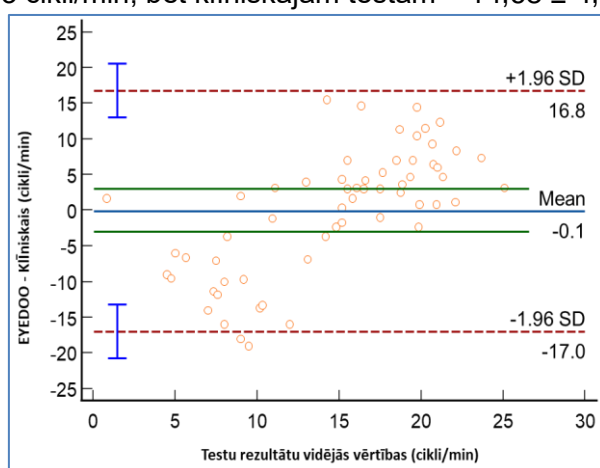
1.tabula

Test-retest koeficienti starp dažādu mērījumu kārtu pāriem horizontālajām fūzijas rezervēm ($n = 58$).

Horizontālo FR veids	Mēģinājumu kārtu Nr.	Pīrsona korelācijas koeficients, r	p -vērtība
Negatīvās FR (BIE)	1. un 2.	0,68	$< 0,001$
	2. un 3.	0,76	$< 0,001$
	1. un 3.	0,68	$< 0,001$
Pozitīvās FR (BĀ)	1. un 2.	0,61	$< 0,001$
	2. un 3.	0,64	$< 0,001$
	1. un 3.	0,65	$< 0,001$

EYEDOO un klīnisko vergēnces testu rezultāti tika salīdzināti, izmantojot vienfaktora ANOVA testu. Datorizētajam vergēnces viegluma un fūzijas rezervju testam datu turpmākai analīzei tika izmantotas vidējās vērtības, kuras tika izrēķinātas no visu trīs mērījumu kārtu rezultātiem.

Salīdzinot vergēnces viegluma manuālā ciklu pārrēķina un klīniska testa rezultātus, netika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība ($F(1,120) = 0,01$, $p = 0,94$), kas nozīmē, ka EYEDOO testam var tikt piemērotas klīniskā testa normas. Datus attēlojot diagrammas veidā nav novērojama būtiska datu izkliede ārpus normas robežām (skat. 5.att.). Vergēnces viegluma vidēja vērtība EYEDOO testam ir $14,58 \pm 9,13$ cikli/min, bet klīniskajam testam – $14,68 \pm 4,09$ cikli/min.



5.att. Vergēnces viegluma EYEDOO un klīniskā testa rezultātu atbilstība.

Salīdzinot EYEDOO un klīniskā fūzijas rezervju testu rezultātus, gan pozitīvo ($F(1,126) = 33,01, p < 0,05$), gan negatīvo fūzijas rezervju ($F(1,114) = 10,73, p < 0,05$) gadījumā tika novērota būtiska atšķirība. Negatīvo fūzijas rezervju novērtēšanas gadījumā lielākas dubultošanās punktu vērtības tika iegūtas ar klīnisko testu ($10,82 \pm 6,60$ pd BIE), savukārt pozitīvo fūzijas rezervju gadījumā, lielākas dubultošanās punktu vērtības tika iegūtas ar datorizēto testu ($29,30 \pm 8,01$ pd BĀ), kas liecina par papildus pētījumu nepieciešamību, lai definētu datorizētā fūzijas rezervju testa normas.

Diskusija

Redzes skrīninga ierīce EYEDOO ir paredzēta redzes funkciju novērtēšanai un monitoringam, tāpēc ir svarīgi, lai tajā iekļautiem testiem būtu laba atkārtojamība un ticamība. EYEDOO verģences viegluma testā tika simulēta skatīšanās caur prizmām ar 2 pd BIE un 4 pd BĀ, jo datorizētā testa uzbūves pamatā ir izkliedēto punktu karte un testa veicējs nebūtu spējīgs saskatīt telpisko attēlu pie absolūtās jeb fona disparitātes ar 3 pd BIE un 12 pd BĀ. Pētījumā tika konstatēts, ka EYEDOO verģences viegluma testam ir augsta atkārtojamība, ja par ciklu ieskaitīšanas kritēriju vērtē katras cikla fāzes vidējo laiku. Mūsu piedāvājums ir ieskaitīt katram dalībniekam tik daudz ciklu, cik katrā mēģinājumā bija pareizo atbilžu pāru pie 2 pd BIE un 4 pd BĀ, neņemot vērā to secību, tādejādi iegūstot labu testu atkārtojamību. Salīdzinot EYEDOO un klīniskā verģences viegluma testa rezultātus, netika konstatēta statistiski nozīmīga atšķirība. Papildu esošajā dalībnieku izlasē ar abiem testiem iegūtās verģences viegluma vērtības iekļaujas normas robežās ar literatūrā noteikto normu, kas ir 15 ± 3 cikli/minūtē (Krūmiņa u.c., 2013).

EYEDOO horizontālo fūzijas rezervju testam ir augsta atkārtojamība. Tomēr, vērtējot EYEDOO un klīniskā testa rezultātus, tie ir uzrādījuši statistiski nozīmīgu atšķirību. Par iemeslu šādam iznākumam mēs uzskatām EYEDOO un klīniskā testa uzbūves atšķirības. EYEDOO metodes pamatā ir izkliedēto punktu karte un prizmatiskā efekta simulācija notiek ar disparitātes izmaiņām. Savukārt klīniskā testa gadījumā fiksācijas objekts bija klasiskais drukātais optotips un mērījumam tika izmantots prizmu lineāls. Līdz ar to šie atšķirīgi testu veikšanas apstākļi dažādos veidos ir stimulējuši fūzijas mehānisma darbību. Būtiska atšķirība starp EYEDOO un klīniskā testa rezultātiem nozīmē, ka standarta testa normas nebūtu korekti pielietot, lai interpretētu jaunā datorizētā testa rezultātus, bet gan būtu jāturpina pētījumi, lai definētu EYEDOO fūzijas rezervju testa normas vērtības.

Neskatoties uz to, ka EYEDOO testa rezultātiem nav piemērojamas vispārēji pieņemtas klīnisko testu normas, tajos ir saglabājusies zināmā tendence: pozitīvo fūzijas rezervju vērtība ir lielāka nekā negatīvo fūzijas rezervju vērtība. Šāds iznākums atbilst gan šajā pētījumā iegūtajiem klīniskā testa rezultātiem, gan literatūrā pieejamai informācijai (Scheiman & Wick, 2008).

Secinājumi

Redzes skrīninga ierīces EYEDOO vergences viegluma un fūzijas rezervju testu rezultātiem ir laba atkārtojamība, ja par rezultātu vergences viegluma testā vērtē cikla fāzes vidējo laiku. EYEDOO vergences viegluma testam ir jāpārskata cikla ieskautes kritērijs, jo manuālais vergences viegluma ciklu pārrēķins ir uzrādījis labu rezultātu atkārtojamību starp trīs mērījumu kārtām un būtiska atšķirība no klīniskā testa rezultātiem netika konstatēta. EYEDOO un klīniskā fūzijas rezervju testu rezultāti uzrādīja statistiski nozīmīgu atšķirību, līdz ar to ir nepieciešami papildu pētījumi, lai noteiktu EYEDOO fūzijas rezervju testa normas.

Pateicības

Pētījums veikts ar LIAA un LU projekta Nr. KC-PI-2020/10 "Redzes skrīninga un treniņu iekārtas izveide" atbalstu.

Literatūra

- Atowa, U., Wajuihian, S., & Hansraj, R. (2019). A review of paediatric vision screening protocols and guidelines. *International Journal of Ophthalmology*, 12(7), 1194-1201.
- Barrett, B.T. (2020). Assessment of binocular vision and accommodation. In Elliott, D.B. (Ed.), *Clinical procedures in primary eye care*, 5th Ed., Elsevier, pp. 150-204.
- Birch, E.E., & O'Connor, A.R. (2016). Binocular vision. In Lambert, S., & Lyons, C. (Eds.), *Taylor and Hoyt's pediatric ophthalmology and strabismus*, 5th Ed., Elsevier, pp. 746-753.
- Chamberlain, J.M. (1984). Which prescriptive screening programmes are worthwhile? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 38(4), 270-277.
- Evans, B.J.W. (2007). *Pickwell's binocular vision anomalies*. Butterworth-Heinemann.
- Gall, R., Wick, B., & Bedell, H. (1998). Vergence facility: Establishment clinical utility. *Optometry and Vision Science*, 75(10), 731-742.
- Hullar, T.E., Zee, D.S., & Minor, L.B. (2020). Evaluation of the patient with dizziness. In Flint, P., Haughey, B., Lund, V., Robbins, K., Thomas, J.R., Lesperance, M., & Francis, H.W. (Eds.), *Cummings otolaryngology: Head and neck surgery*, 7th Ed., Elsevier, pp. 2495-2516.
- Kennedy, A.G. (2016). Evaluating diagnostic tests. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 22(4), 575-579.

- Kim, S.J, Shin, Y., & Woo, D.J. (2016). 5.64 Analysis of factors that influence smartphone exposure and use from ages 3 to 5 years. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 55(10), S204.
- 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.
- 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 444.
- Morgan, I.G., Amanda N., French, A.N., & Rose, K.A. (2020). Risk factors for myopia: Putting causal pathways into a social context. In Ang, M., & Wong, T.J. (Eds.), *Updates on myopia. A clinical perspective*, Springer Verlag, pp. 133-170.
- Parikh, R., Mathai, A., Parikh, S., Sekhar, G.C., & Thomas, R. (2008). Understanding and using sensitivity, specificity and predictive values. *Indian Journal of Ophthalmology*, 56(1), 45-50.
- Podugolnikova, T.A. (2017). Impact of binocular vision impairments on reading skills in first-year schoolchildren with high visual acuity. *Human Physiology*, 43(1), 1-6.
- Scheiman, M., & Wick, B. (2008). *Clinical management of binocular vision: Heterophoric, accommodative, and eye movement disorders*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Švede, A. (2008). Binokulāro funkciju izmeklēšana. Grām.: Švede, A., Krūmiņa, G., & Fridrihsons, J. *Pamatizmeklēšanas metodes optometrijā*, LU Akadēmiskais apgāds, 47.-131.lpp.
- Wald, N.J. (2006). Guidance on terminology. *Journal of Medical Screening*, 13(1), 50.
- White, S.L.J., Wood, J.M., Black, A.A., & Hopkins, S. (2017). Vision screening outcomes of Grade 3 children in Australia: Differences in academic achievement. *International Journal of Educational Research*, 83, 154-159.

Daudzplakņu ekrāna attēlu uztveres novērtējums

Gita Kaulakane, Reičela Livitčuka, Tatjana Pladere* un Gunta Krūmiņa

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

*tatjana.pladere@lu.lv

Anotācija

Mūsdienās izstrādā daudzveidīgus ekrānus, kuros var parādīt telpiskus attēlus, balstoties uz stereoskopisko efektu. Attēlu lielumu trešajā dimensijā var ierobežot ekrāna uzbūve, kā tas ir novērojams daudzplakņu ekrāna gadījumā. Lai novērtētu informācijas attēlošanas kvalitāti ņemot vērā tehniskus ierobežojumus, bieži ekrāna lietotāji tiek aicināti noteikt, cik telpiski izskatās attēli. Pētījuma mērķis bija noteikt, cik precīzi tiek novērtēti daudzplakņu ekrāna radītie telpiskie attēli.

Pētījumā piedalījās 23 dalībnieki, kuru uzdevums bija saskaņot attālumu starp atbildes iesniegšanas ierīces stieņiem ar attālumu starp daudzplakņu ekrāna attēla tuvāko un tālāko daļu (attēla dziļumu). Katrā mēģinājumā 30 vienāda leņķiskā izmēra aplī tika demonstrēti 3, 6 vai 10 ekrāna plaknēs, līdz ar ko mainījās attālums starp attēla tuvāko un tālāko daļu. Rezultātā tika noskaidrots, ka vairākumā gadījumu daudzplakņu ekrāna attēlu dziļums tika novērtēts mazāks nekā patiesībā. Turklāt relatīvās atšķirības būtiski ietekmēja skatīšanās attālums. Bastoties uz darbā iegūtajiem rezultātiem, var pieņemt, ka daudzplakņu ekrāna lietotāji nevarēs pilnvērtīgi novērtēt attēla dziļumu pie ierobežotas telpiskās informācijas apjoma un bez iepriekšējās apmācības.

Atslēgas vārdi: attēla dziļums, telpiskā uztvere, daudzplakņu ekrāns

Ievads

Spriest par attēlu dziļumu ekrāna lietotājs var pateicoties dažādiem informācijas avotiem, ko sauc par telpiskuma pazīmēm (angļu val. – depth cues). No visām telpiskuma pazīmēm binokulārā disparitāte ir vissvarīgākā tuvajos skatīšanās attālumos, lai precīzi novērtētu attēlu dziļumu (Hibbard et al., 2017; Rogers, 2019). Tomēr šīs pazīmes efektivitāte samazinās līdz ar skatīšanās attāluma pieaugumu (Howard & Rogers, 2012).

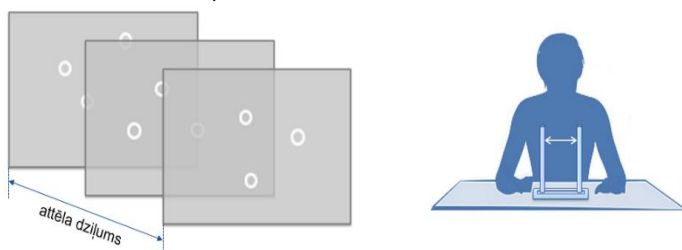
Daudzplakņu ekrānā parāda attēlus, ko cilvēks uztver kā telpisks attēlus jeb attēlus ar dziļumu (Sullivan, 2005). Ekrāna galvenās sastāvdaļas ir daudzplakņu optiskais elements un ātrgaitas projektors. Attēla slāņi tiek projicēti dažādās vietās optiskajā elementā pietiekami ātri, lai cilvēks uztvertu tos vienotā telpiskajā attēlā. No iepriekš veiktiem pētījumiem ir zināms, ka daudzplakņu ekrāna attēls tiek uztverts kā trīsdimensiju attēls pie noteiktiem nosacījumiem (Konošonoka, 2018; Jankovska, 2019; Pladere, 2021; Zizlāne, 2021), taču nav zināms, vai ekrāna tehnoloģija stimulē stereoskopisko efektu tādā apmērā, kā to paredz teorētiskais modelis. To ir svarīgi noskaidrot, lai pilnvērtīgi spriestu par lietotāju pieredzi darbā ar ekrānu. Tādēļ pētījuma mērķis bija novērtēt, cik precīzi tiek novērtēti

daudzplakņu ekrāna radītie telpiskie attēli tuvajos skatīšanās attālumos.

Metodika

Pētījumā piedalījās 23 pieaugušie vecumā no 21 līdz 26 gadiem. Iekļaušanas kritēriji atbilda sekojošiem: binokulārais redzes asums tuvumā bija vismaz 1,0 dec.vien. (noteikts ar tuvuma redzes tabulu) un stereoredzes asums tuvumā bija 60 loka sekundes vai labāks (noteikts ar Titmusa testu). Ja dalībniekam bija nepieciešama optiskā korekcija, tad uzdevums tika veikts lietojot kontaktlēcas.

Attēli tika demonstrēti daudzplakņu ekrānā (SIA "LightSpace Technologies", modelis: x1907), dalībniekam atrodoties 45 cm un 65 cm attālumā. Katrā mēģinājumā uz 3 sekundēm tika parādīti 30 vienāda diametra 0,3° apli, kuri bija projicēti vairākās secīgās ekrāna plaknēs. Bija trīs attēla dziļumi jeb attālumi starp attēla tuvāko un tālāko slāni – 10 mm, 25 mm un 45 mm. Dalībnieka uzdevums bija ar atbildes iesniegšanas iekārtu (skat. 1.att.), pārbīdot tuvāk un tālāk ierīces stieņus, atveidot attālumu starp daudzplakņu ekrāna attēla slāņiem. Katrā skatīšanās attālumā katram dziļumam tika veikti pieci mērījumi. Secība, kādā tika mainīts attēla dziļums uzdevumos, bija jaukta. Vairāk par pētījuma norisi var uzzināt detalizētā aprakstā ([Kaulakane, 2022](#)).

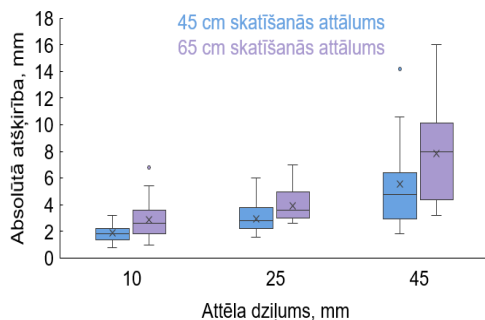


1.att. Pa kreisi – shematiskais attēlojums aplu izkārtojuma daudzplakņu ekrānā. Pa labi – atbildes iesniegšanas iekārtas stieņi tika pārbīdīti līdz brīdim, kad attālums, kas apzīmēts ar dubultu bultu, atbilda attēla dziļumam.

Rezultāti un to analīze

Lai noteiktu daudzplakņu ekrāna attēla novērtēšanas precizitāti, tika analizēta absolūtā atšķirība, kas atspoguļo, cik lielā mērā atšķiras dalībnieku atbildes no patiesiem attēlu dziļumiem, neņemot vērā kļūdas veidu. Iegūtie rezultāti norādīja, ka gadījumā, ja attēla dziļums atbilst 10 mm un 25 mm, absolūta atšķirība bija mazāka nekā 45 mm attēla dziļuma gadījumā abos skatīšanās attālumos ([skat. 2.att.](#)).

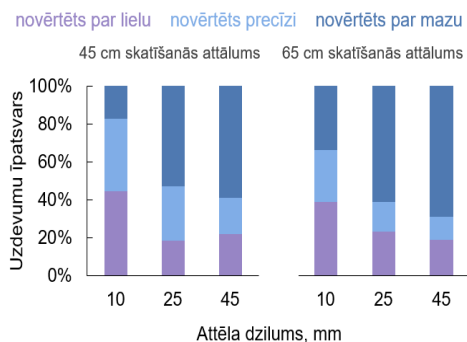
Izmantojot divfaktoru dispersijas analīzi (ezANOVA), netika noteikts, ka skatīšanās attālumam ($F_{1,22} = 19,69$, $p = 0,10$) un attēla dziļumam ($F_{1,22} = 35,54$, $p = 0,41$) būtu statistiski nozīmīga ietekme uz rezultātiem. Taču abu faktoru mijiedarbībai tika pierādīta statistiski nozīmīga ietekme uz absolūto atšķirību ($F_{1,83; 40,92} = 2,54$, $p = 0,01$). Ir redzams, ka pieaugot skatīšanās attālumam, attēla dziļuma noteikšanas precizitāte vairāk samazinājās 10 mm attēla dziļuma gadījumā nekā 25 mm un 45 mm attēla dziļumu gadījumos.



2.att. Absolūtā atšķirība uzdevumos 45 cm un 65 cm skatīšanās attālumā atkarībā no attēla dziļuma. Krusts – vidējā rezultātu vērtība, vidējā līnija – mediāna, kastes augšējā līnija – augšējā kvartile, kastes apakšējā līnija – apakšējā kvartile.

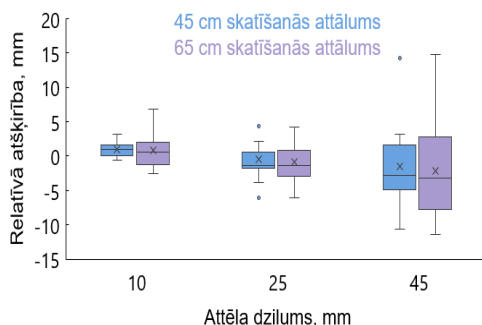
Papildus tika novērtēts procentuālais uzdevumu īpatsvars, kad attēla dziļums tika novērtēts precīzi (1 mm atšķirību ietvaros), par mazu un par lielu nekā bija patiesībā divos skatīšanās attālumos. Iegūtie rezultāti, kas apkopoti [3.attēlā](#), norādīja, ka atbildes tika sniegtas precīzi salīdzinoši reti.

Neatkarīgi no skatīšanās attāluma, rezultāti uzrādīja, ka attēla izmērs vairāk tika pārvērtēts gadījumā, kad attēla dziļums atbilda 10 mm. Savukārt, līdzīgi kā citos pētījumos ([Hartle & Wilcox, 2016](#); [Hibbard et al., 2017](#); [Peillard et al., 2019](#)), palielinoties attēla dziļumam, tas arvien biežāk tika novērtēts kā mazāks, nekā patiesībā. To ir svarīgi ņemt vērā daudzplakņu ekrāna izmantošanas pieredzes izvērtēšanā.



3.att. Kopējais uzdevumu īpatsvars novērtējot attēlu par lielu, par mazu un precīzi atkarībā no attēla dziļuma divos skatīšanās attālos.

Lai uzzinātu, ne tikai to, cik bieži daudzplakņu ekrāna attēli tika novērtēti par mazu un par lielu, bet arī noskaidrot, cik lielas atšķirības bija katrā virzienā, tika analizēta relatīvā atšķirība jeb starpība starp attēla patieso dziļumu un dalībnieka sniegto atbildi. Visu dalībnieku vidējie rezultāti ir parādīti **4.attēlā**.



4.att. Relatīvā atšķirība atkarībā no attēla dziļuma. Krusts – vidējā rezultātu vērtība, vidējā līnija – mediāna, kastes augšējā līnija – augšējā kvartile, kastes apakšējā līnija – apakšējā kvartile.

Tika novērots, kad attēla dziļums bija 10 mm, tas tika vairāk pārvērtēts, īpaši tad, kad skatīšanās attālums līdz daudzplakņu ekrānam bija 65 cm. Bet pie 25 mm un 45 mm attēla dziļuma relatīvā atšķirība bija lielāka tad, kad attēla dziļums tika novērtēts mazāks nekā patiesībā. Divfaktoru dispersijas analīze (ezANOVA) uzrādīja, ka skatīšanās attālumam ir statistiski nozīmīga ietekme uz relatīvo atšķirību ($F_{1,22} = 2,39$, $p = 0,01$), tomēr attēla dziļumam, tāpat kā abu faktoru mijiedarbībai, statistiski nozīmīga ietekme netika pierādīta (attiecīgi $F_{2,44} = 3,45$, $p = 0,06$ un $F_{1,36; 29,92} = 2,52$, $p = 0,11$).

Diskusija

Kopumā pētījumā tika noteikts, ka, palielinoties attālumam starp telpiskā attēla daļām cilvēkiem ir grūtāk novērtēt attēla dziļumu precīzi, turklāt attēli bieži tiek novērtēti mazāki nekā patiesībā. Līdzīgas atradnes ir novērojamas pie atšķirīgiem atkārtotu mērījumu skaitiem, taču tiek piebilsts, ka iespēja izmēģināt uzdevumu var palīdzēt uzlabot uzdevuma izpildīšanas precizitāti (McKee & Taylor, 2010; Yakushijin & Jacobs, 2011; Hartle & Wilcox, 2016), kaut arī ne visiem cilvēkiem (Rousset et al., 2018). Arī papildus telpiskuma pazīmes var sekmēt telpisko uztveri digitālajā vidē (Vienne et al., 2020). Tādēļ turpmāk būtu svarīgi noskaidrot, kā lielāks saskaņoto telpiskuma pazīmju skaits un daļbnieku apmācība ietekmē daudzplakņu ekrāna attēla dziļuma noteikšanas precizitāti.

Secinājumi

Daudzplakņu ekrāna attēlu dziļuma novērtēšanas precizitāti var sekmēt, samazinot skatīšanās attālumu. Taču jāņem vērā, ka novērtēšanas precizitāte var atšķirties dažāda dziļuma attēliem.

Pateicības

Pētījums veikts ar Latvijas Zinātnes padomes atbalstu, projekts Nr. Izp-2021/1-0399 "Inovātīvo 3D displeju vizuālās efektivitātes un ergonomiskuma novērtēšanas vadlīniju izstrāde".



Literatūra

- Hartle, B., & Wilcox, L. M. (2016). Depth magnitude from stereopsis: Assessment techniques and the role of experience. *Vision Research*, 125, 64-75.
- Hibbard, P. B., Haines, A. E., & Homsey, R. L. (2017). Magnitude, precision, and realism of depth perception in stereoscopic vision. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(1), 25.
- Howard, I. P., & Rogers, B. I. (2012). *Perceiving in Depth*, Vol. 2: Stereoscopic Vision. Oxford University Press.
- Jankovska, G. (2019). Dziļuma uztvere darbā ar volumetrisko ekrānu atkarībā no skatīšanās attāluma: Bakalaura darbs. LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte.
- Kaulakane, G. (2022). Daudzplakņu ekrāna radītās telpiskās uztveres novērtējums: Bakalaura darbs. LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte.
- Konošonoka, V. (2018). Dziļuma uztvere uz volumetriskā ekrāna: Bakalaura darbs. LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte.

- McKee, S. P., & Taylor, G. D. (2010). The precision of binocular and monocular depth judgments in natural settings. *Journal of Vision*, 10(10), 5.
- Peillard, E., Sanz, A.F., Normand, J. M., Lecuyer, A., & Moreau, G. (2019). Studying exocentric distance perception in optical see-through augmented reality. *ISMAR 2019 – 18th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Oct 2019, Beijing, China*, pp. 1-8.
- Pladere, T. (2021). Vizuālās efektivitātes novērtējums uz volumetriskā daudzplakņu ekrāna: Promocijas darbs. LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte.
- Rogers, B. J. (2019). Toward a new theory of stereopsis: A critique of Vishwanath (2014). *Psychological Review*, 126(1), 162-169.
- 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.
- Sullivan, A. (2005). 3 Deep: new displays render images you can almost reach out and touch. *IEEE Spectrum*, 42(4), 30-35.
- Yakushijin, R., & Jacobs, R. A. (2011). Are people successful at learning sequences of actions on a perceptual matching task? *Cognitive Science*, 35(5), 939-962.
- Vienne, C., Masfrand, S., Bourdin, C., & Vercher, J. L. (2020). Depth perception in virtual reality systems: Effect of screen distance, environment richness and display factors. *IEEE Access*, 8, 29099-29110.
- Zizlāne, K. (2021). Stimula izvietojuma uz volumetriskā ekrāna ietekme uz acu kustībām: Bakalaura darbs. LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte.

Informācijas meklēšana 3D attēlos binokulāros un monokulāros apstākļos

Karīna Januškeviča, Tatjana Pladere* un Gunta Krūmiņa

Latvijas Universitāte, Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultāte,

Optometrijas un redzes zinātnes nodaļa, Rīga, Latvija

*tatjana.pladere@lu.lv

Anotācija

Visbiežāk, lai atrastu interesējošo elementu redzes ainā, ir nepieciešams pievērst tiešo uzmanību. Ir zināms, ka uzmanības pievēršana trīsdimensiju (3D) un divdimensiju (2D) attēlu aplūkošanas laikā atšķiras, jo uzmanības darbību ietekmē binokulārās disparitātes analīze. Taču literatūrā nav izveidojies vienots priekšstats par to, vai telpiskā informācijas attēlošana un binokulārās disparitātes ietekme sekmē meklēšanu. Tādēļ darba mērķis bija izpētīt, kā mainās vizuālā meklēšana aplūkojot 3D attēlus binokulāri un monokulāri.

Pētījuma piedalījās 15 dalībnieki. Viņi meklēja mērķa apļus, kas atšķīrās ar palielinātu līnijas platumu no citiem apļiem (distraktoriem), 3D attēlos. Uzdevumos bija dažāds mērķa-distraktora līdzības lielums un kopējais elementu skaits. Meklēšanas laikā dalībnieki varēja mainīt attēla elementu izkārtojumu ekrāna plaknēs. Uzdevumi tika izpildīti binokulāri un monokulāri.

Palielinoties mērķa-distraktora līdzībai un elementu skaitam, pieauga meklēšanas laiks un samazinājās pareizo atbilžu īpatsvars gan binokulāros, gan monokulāros skatīšanās apstākļos. Taču aplūkojot daudzplakņu attēlus binokulāri būtiski samazinājās laiks un kļūdu skaits salīdzinot ar sniegumu monokulāros apstākļos. Kopumā pētījumā iegūtie rezultāti norāda, ka telpiskā informācijas attēlošana var sekmēt meklēšanas sniegumu, ko ir būtiski ņemt vērā izvēloties veidu, kā attēlot informāciju ekrānā.

Atslēgas vārdi: vizuālā meklēšana, uzmanība, binokulārā disparitāte, trīsdimensiju attēls, daudzplakņu ekrāns

Ievads

Vizuālā meklēšana un uzmanības darbība trīsdimensiju (3D) attēlu aplūkošanas gadījumā ir īpatnēja, jo redzes uzmanību ietekmē telpiskuma pazīmes, kuru nav divdimensiju attēlos. No visām telpiskuma pazīmēm vislielāko ieguldījumu uztverē sniedz relatīvā binokulārā disparitāte tuvajos skatīšanās attālumos (Rogers, 2019).

Binokulārajai disparitātei ir būtiska loma vizuālajā meklēšanā 3D attēlos. Vairākos pētījumos tika parādīts, ka uzmanība tiek ātri pievērsta tuvāk esošiem elementiem (O'Toole & Walker, 1997; Findlay & McSorley, 2001; Havig et al., 2011; Reis et al., 2011; Finlayson et al., 2013; Plewan & Rinkenauer, 2018; Farel & Ng, 2019), ko skaidro uzvedības neatliekamības hipotēze (Franconeri & Simons, 2003). Savukārt uzmanības pievēršana tālāk esošiem elementiem nav prioritāra un aizņem ilgāku laiku (Downing & Pinker, 1985).

Agrāk pētījumos tika izmantoti tikai divi dziļuma līmeņi, vienā no kuriem atradās mērķa elements, un citā – distraktori. Turpmāk lielāka dziļuma līmeņu izmantošana ļāva precizēt, kā uzmanība var tikt sadalīta starp vairāk nekā diviem dziļumiem (Finlayson & Grove, 2015). Izradās, resursu sadalījums nav vienmērīgs – tuvākiem attēla slāņiem tiek pievērsts vairāk uzmanības, salīdzinot ar tālākiem attēla slāņiem. Turklāt, informācijas meklēšana lielākos 3D apjomos var būt lēnāka, jo ir jāapstrādā vairāk informācijas (Finlayson et al., 2013; Finlayson & Grove, 2015).

Tādējādi joprojām nav zināms, vai informācijas attēlošana telpisko attēlu veidā sekmētu vizuālo meklēšanu. No vienas puses, uzmanība varētu tikt ātri pievērsta tuvākiem elementiem pateicoties ātrai informācijas apstrādei par atšķirībām binokulārajās disparitātēs. No citas puses, lielāks informācijas apjoms un uzmanības resursu sadalījums telpā var rezultēties ilgākā meklēšanā. Lai noskaidrotu vai atšķirības binokulārajās disparitātēs sekmē vizuālo meklēšanu 3D attēlos, šī pētījuma mērķis bija noteikt, kā mainās vizuālās meklēšanas sniegums un stratēģija, kad daudzplakņu attēli tiek aplūkoti binokulāri un monokulāri.

Metodika

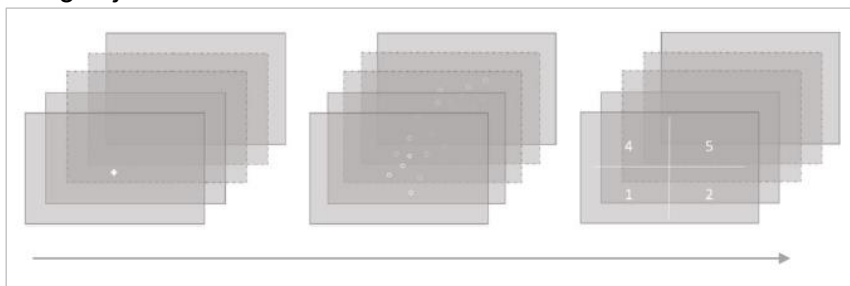
Pētījumā piedalījās 15 cilvēki, vecumā no 21 līdz 34 gadiem. Visi dalībnieki atbilda sekojošiem kritērijiem: tuvumā redzes asums monokulāri un binokulāri $\geq 1,0$ (dec. vien., noteikts ar tuvuma redzes asuma tabulu) un stereoredzes asums ≥ 60 loka sekundes (noteikts ar Titmus testu). Turklāt katram dalībniekam tika noteikta dominējošā acs.

Attēli tika demonstrēti daudzplakņu ekrānā (SIA “LightSpace Technologies”, modelis: x1907). 20 un 40 apļi tika projicēti 10 secīgās plaknēs (vienāds skaits katrā plaknē). Visiem apļiem bija vienāds ārējais diametrs ($0,5^\circ$), taču vienam no tiem bija palielināts līnijas platums apļa centra virzienā. Proti, distraktoriem līnijas platums bija $0,1^\circ$, bet mērķa elementam tas atšķīrās par 15 % (augsta mērķa-distraktora līdzība) un 25 % (zema mērķa-distraktora līdzība).

Pirms katra mēģinājuma ekrānā parādījās fiksācijas krusts, uz kuru bija jāsauglabā skatiens. Tad parādījās apļi un sākās meklēšanas uzdevums (skat. 1.att.). Dalībnieka uzdevums bija pareizi un ātri atrast mērķa elementu. Dalībnieks varēja mainīt attēla slāņu izkārtojumu ekrāna plaknēs izmantojot datora tastatūras “uz augšu” un “uz leju” bultas, respektīvi, “pārvietot” elementus tuvāk un tālāk. Atrodot mērķa elementu, dalībniekam bija jāspiež atstarpes taustiņš. Tad ekrānā

parādījās četri atbilžu varianti. Dalībniekam bija jāizvēlas viena no četrām atbildēm, atbildot, kurā no kvadrantiem redzēja mērķa elementu. Pēc atbildes sniegšanas parādījās fiksācijas krusts, un sekoja nākamais meklēšanas uzdevuma mēģinājums. Vairāk par 3D attēla veidošanas principiem un attēla projicēšanu ekrānā var uzzināt detalizētā vizuālās meklēšanas uzdevuma aprakstā (Pladere, 2021).

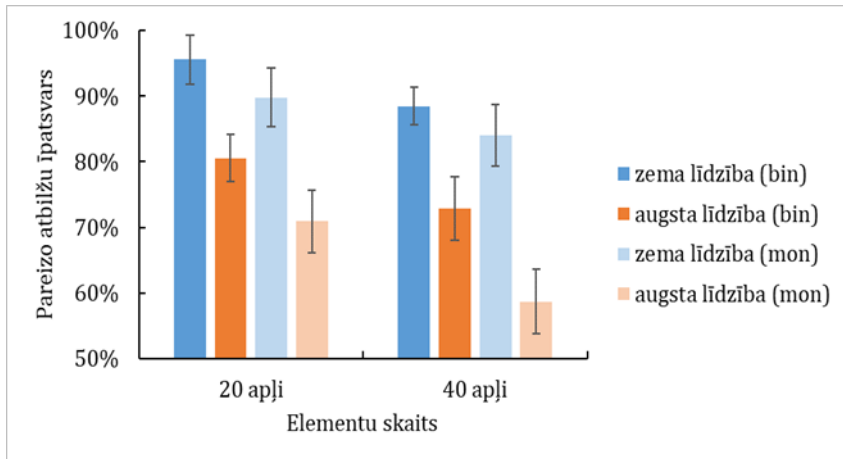
Uzdevumi tika izpildīti aplūkojot 3D attēlus 2 skatīšanās apstākļos – binokulāri un monokulāri (skatoties ar dominējošo aci). Katrā no skatīšanās apstākļiem katrs dalībnieks izpildīja 60 mēģinājumus = 2 mērķa-distraktora līdzības × 2 elementu skaiti × 15 mēģinājumi.



1.att. Meklēšanas uzdevuma secība. Vispirms priekšējās plaknes centrā parādījās fiksācijas krusts. Tad tika attēloti apļi vairākās ekrāna plaknēs. Dalībniekam tika parādīti četri atbilžu varianti, no kurām bija jāizvēlas viena atbilde – kurā no kvadrantiem bija attēlots mērķa elements (attēls adaptēts pēc Pladere, 2021).

Rezultāti un to analīze

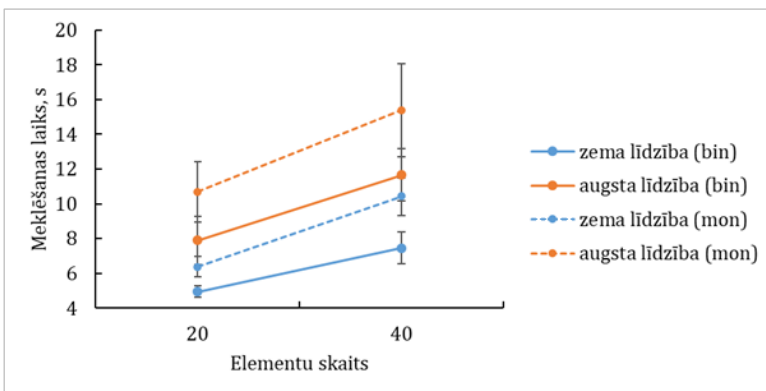
Sākumā tika analizēts pareizo atbilžu īpatsvars. Apkopojot gūtos rezultātus, tika noteikts, ka visaugstākais vidējais sniegums bija sasniegts meklēšanas uzdevumos ar zemu mērķa-distraktora līdzību. Tomēr, kā redzams 2.attēlā, pareizo atbilžu īpatsvars samazinājās palielinoties gan mērķa-distraktora līdzībai, gan elementu skaitam. Turklāt ir novērojams, ka aplūkojot 3D attēlus binokulāri vidējais pareizo atbilžu īpatsvars bija augstāks nekā monokulāros apstākļos.



2.att. Vidējais pareizo atbilžu īpatsvars visiem dalībniekiem meklēšanas uzdevumos ar dažādu mērķa-distraktora līdžību atkarībā no elementu skaita 3D attēlos, kad tie tika aplūkoti binokulāri (bin) un monokulāri (mon).

Atkārtoto mērījumu dispersijas analīzē (ANOVA) bija apliecināts, ka pareizo atbilžu īpatsvaru būtiski ietekmēja mērķa-distraktora līdžība ($p < 0,001$), kopējais elementu skaits meklēšanas uzdevumā ($p = 0,006$) un skatīšanās apstākļi ($p < 0,005$).

Turklāt tika noteikts, cik ilgs laiks bija nepieciešams, lai atrastu nepieciešamo informāciju 3D attēlos. Pētījumā gūtās vidējās meklēšanas laika vērtības ir redzamas [3.attēlā](#).



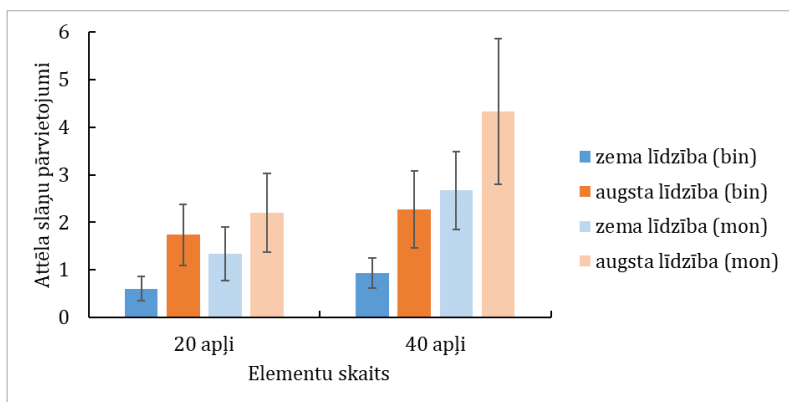
3.att. Vidējais meklēšanas laiks visiem dalībniekiem meklēšanas uzdevumos ar dažādu mērķa-distraktora līdžību atkarībā no elementu skaita 3D attēlos, kad tie tika aplūkoti binokulāri (bin) un monokulāri (mon).

Iegūtie rezultāti norādīja, ka visātrāk meklēšanas uzdevums bija paveikts pie zemas mērķa-distraktora līdžības un maza informācijas

apjoma, kad daudzplakņu ekrāna attēli tika aplūkoti binokulāri. Savukārt gandrīz divreiz ilgāks laiks bija nepieciešams, meklēšanas laikā skatoties tikai ar vienu aci. Atkārtoto mērījumu dispersijas analīzē (ANOVA) apliecināts, ka mērķa-distraktora līdzība ($p = 0,001$), elementu skaits ($p < 0,001$) un skatīšanās apstākļi ($p = 0,02$) būtiski ietekmēja meklēšanas laikus.

Lai raksturotu meklēšanas stratēģiju, katrā uzdevumā tika saskatīts kopējais attēla slāņu pārvietojumu skaits, kas ļāva noteikt, cik daudzas reizes dalībnieks veica informācijas izkārtojuma un apjoma izmaiņas meklējot mērķa elementu daudzslāņu attēlos. Vidējie attēla slāņu pārvietojumu skaiti ir apkopoti [4.attēlā](#).

Zems vidējais attēla slāņu pārvietojumu skaits nozīmē, ka pārsvarā tika izskatīta visa telpiskā attēla kopaina ekrānā. Šāda situācija ir novērojama meklēšanas uzdevumos ar zemu mērķa-distraktora līdzību. Taču visvairāk tika mainīts attēla slāņu izkārtojums un informācijas apjoms ekrānā meklēšanas laikā, kad attēli ar augstu mērķa-distraktora līdzību tika aplūkoti monokulāri. Atkārtoto mērījumu dispersijas analīzē (ANOVA) tika noteikts, ka attēlu slāņu pārvietojumu skaits būtiski mainījās gan mērķa-distraktora līdzības iespaidā ($p = 0,03$), gan skatīšanās apstākļu iespaidā ($p = 0,03$), taču statistiskā nozīmība netika sasniegta elementu skaitam ($p = 0,06$).



4.att. Vidējais attēla slāņu pārvietojumu skaits visiem dalībniekiem meklēšanas uzdevumos ar dažādu mērķa-distraktora līdzību atkarībā no elementu skaita 3D attēlos, kad tie tika aplūkoti binokulāri (bin) un monokulāri (mon).

Diskusija

Parādoties 3D attēlu attēlošanas iekārtām, mainās veids, kā cilvēki meklē informāciju šajos attēlos. Ir zināms, ka vizuālo meklēšanu ietekmē mērķa-distraktora līdzība (Duncan & Humphreys, 1989; Finlayson & Grove, 2015) un elementu skaits (Castiello & Umilta, 1990; Greene et al., 2021), taču nav izveidojusies vienota izpratne par informācijas telpiskās attēlošanas lomu. Šī pētījuma rezultāti papildina atradnes, norādot, ka atšķirības binokulārajā disparitātē, aplūkojot daudzplakņu ekrāna attēla elementus, var sekmēt vizuālo meklēšanu, kas atspoguļojas pareizo atbilžu īpatsvarā meklēšanas laikā un stratēģijā.

Secinājumi

Ņemot vērā visus rezultātus, var apgalvot, ka binokulārā disparitāte sekmēja meklēšanas uzdevuma izpildi – varēja ātri un pareizi atrast telpiskos attēlos. Tādējādi informācijas attēlošana vairākās dziļuma plaknēs un iespēja aplūkot 3D attēlus binokulāri var sekmēt vizuālo meklēšanu.

Pateicības

Pētījumu atbalstīja Latvijas Zinātnes padome, projekts Nr. Izp-2021/1-0399 “Inovātīvo 3D displeju vizuālās efektivitātes un ergonomiskuma novērtēšanas vadlīniju izstrāde”.



Literatūra

- Castiello, U., & Umilta, C. (1990). Size of the attentional focus and efficiency of processing. *Acta Psychologica*, 73, 195-209.
- Downing, C. J., & Pinker, S. (1985). The spatial structure of visual attention. In: M. Posner & O. Marin (Eds.), *Attention and Performance XI: Mechanisms of Attention and Visual Search*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96(3), 433-458.
- Farel, B., & Ng, C. J. (2019). Attentional selection in judgements of stereo depth. *Vision Research*, 158, 19-30.
- Findlay, J. M., & McSorley, E. (2001). Visual search in depth. *Vision Research*, 41(25-26), 3487-3496.
- Finlayson, N. J., & Grove, P. M. (2015). Visual search is influenced by 3D spatial layout. *Attention, Perception & Psychophysics*, 77(7), 2322-2330.

- Finlayson, N. J., Grove, P. M., Remington, R. W., & Retell, J. D. (2013). Segmentation by depth does not always facilitate visual search. *Journal of Vision, 13*(8):11, 1-14.
- Franconeri, S. L., & Simons, D. J. (2003). Moving and looming stimuli capture attention. *Perception & Psychophysics, 65*(7), 999-1010.
- Greene, C. M., Murphy, G., & Januszewski, J. (2017). Under high perceptual load, observers look but do not see. *Cognitive Psychology, 31*, 431-437.
- Havig, P., Heft, E., Liu, Y., & Reis, G. (2011). The effects of target location and target distinction on visual search in a depth display. *Journal of Intelligent Manufacturing, 22*, 29-41.
- O'Toole, A. J., & Walker, C. L. (1997). On the preattentive accessibility of stereoscopic disparity: Evidence from visual search. *Perception & Psychophysics, 59*(2), 202-218.
- Pladere, T. (2021). Vizuālās efektivitātes novērtējums volumetriskajam daudzplakņu ekrānam. Promocijas darbs. Latvijas Universitāte.
- Plewan, T., & Rinkenauer, G. (2018). Surprising depth cue captures attention in visual search. *Psychonomic Bulletin & Review, 25*(4), 1358-1364.
- Reis, G., Liu, Y., Havig, P., & Heft, E. (2011). The effects of target location and target distinction on visual search in a depth display. *Journal of Intelligent Manufacturing, 22*, 29-41.
- Rogers, B. (2019). Toward a new theory of stereopsis: A critique of Vishwanath (2014). *Psychological Review, 126*(1), 162-169.

EEG Signals During the Perception of Crossed and Uncrossed Disparity

Albina Abdullayeva*, Mehrdad Naderi, Tatjana Pladere and Gunta Krumina

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

*albina.abdullayeva@lu.lv

Abstract

The brain activity associated with the perception of binocular disparities was extensively studied. It was revealed that the major activity can be observed in the parietal and occipital regions of the cortex. However, the effect of crossed and uncrossed disparity received was largely overlooked. The study was performed to elucidate how brain activity differs depending on the type of binocular disparity. Ten healthy participants performed two sessions of visual search tasks with disparity-defined targets on a flat-panel display. The type of disparity varied in each session. An electroencephalography (EEG) system was used to record their brain activity in the form of event-related potentials (ERPs) and brain oscillations.

Analysis of the results revealed greater activity in the posterior part of the brain (P2 component of the ERPs) in the case of uncrossed disparity compared to crossed disparity. Additionally, the higher amplitude of beta waves was registered for the crossed disparity potentially indicating that larger attention demand is required to perceive depth based on processing uncrossed disparity.

Keywords: crossed disparity, uncrossed disparity, ERPs, EEG, brain oscillations, 3D

Introduction

Spatial perception relies on various depth cues. Binocular disparity is the depth cue which plays an essential role in the precise estimation of spatial relationships between objects at close viewing distances (Parker, 2007; Hibbard et al., 2017). Higher neural activity in the parietal and occipital regions of the brain is associated with the perception of binocular disparity (Backus et al., 2001; Pegna et al., 2018; Naderi et al., 2020; Pladere et al., 2020) which is important to consider when defining biomarkers that can be used in the objective assessment of three-dimensional (3D) display user experience (Frey et al., 2016).

Binocular disparities are classified as crossed or uncrossed based on the relationship between the fixation point and other objects in the scene (Howard & Rogers, 2012). Processing of crossed and uncrossed disparities might occur involving separate neural mechanisms in the visual cortex (Poggio, 1995; Cumming & DeAngelis, 2001). Using electroencephalography (EEG), it was revealed that recognizing the type of disparity takes more than 100 ms (Wang & Yan, 2016). Moreover, a considerably larger amplitude of event-related potentials (ERPs) at 120-280 ms (N1 component) was observed during the perception of uncrossed disparities in comparison to crossed

disparities (Kasai & Morotomi, 2001). The differences in brain activity might be associated with a higher level of cognitive engagement when processing uncrossed disparities (Arnott & Shedden, 2000; Li et al., 2017).

Overall, it appears to be easier to perceive objects which are closer to the viewer than the fixation object in comparison to those which are further away. That can be reflected in performance accuracy (Patten et al., 2015). However, to the best of our knowledge, it has remained unclear whether the associated differences in cognitive processing affect not only ERPs but also neural oscillations. The study was conducted to address this issue and elucidate whether differences in neural oscillations should be considered when assessing display user experience for 3D images based on containing crossed and uncrossed disparities.

Method

The study involved ten healthy participants (4 male and 6 female) aged 25-30 years. Vision assessment was performed before the experiment, and all the participants had to meet the following criteria: normal or corrected-to-normal visual acuity (1.0 dec. or better, assessed using near vision chart), stereoacuity of 20 arcsec or better (using Randot stereo test), and normal colour vision (using Ishihara test). The experiment was approved by the Ethics Committee of the University of Latvia and conducted according to the principles of the Declaration of Helsinki.

The anaglyph 3D images were presented on a flat-panel display (Samsung S24C650, 23.6" diagonal, image refresh rate – 60 Hz). Red-cyan glasses were used to separate images for both eyes. Four bright circles of constant angular size (0.6° outer diameter) were presented on a dark background at 1.0° field eccentricity from the centre of the screen. The fixation cross was presented in the centre of the screen for 1 sec before circles. In each trial, one of the presented circles contained a disparity-defined target and appeared closer (crossed disparity) or further away (uncrossed disparity) from the observer compared to the other circles. The participant's task was to find the target, define whether it appears closer or further away in comparison to the other circles, and then submit their response using the keyboard (Abdullayeva, 2022).

There were two task sessions (the sequence was randomized). Each session contained 300 trials. In one session, 57 trials contained the target defined by crossed disparity, and others – uncrossed

disparity (the oddball paradigm). The number of trials with crossed and uncrossed disparity targets was reversed in another session. (1 – crossed disparity, 2 – uncrossed disparity, the sequence of sessions was randomized). The completion of each session required 10-15 minutes. In addition, the order of the trials was randomized for participants.

The neural activity of the subjects' brains was recorded using the EEG system Nicolet vs32. Electrodes were placed on the subjects' scalps and attached to an amplifier. The impedance was kept at 10 kOhm or lower level to reduce noise during the recording. The bandpass of the signals was set within the range of 0.01-70 Hz. The sampling rate was 1024 Hz.

Before the experiment, participants were provided with information about the process and tasks and their informed consent was obtained. The participants performed tasks at a 90 cm viewing distance from the flat-panel display. Between each session, there was a 5 min break.

The obtained EEG data consisting of ERP and brain oscillations were analyzed in EEGLAB 2019.1.0 and MATLAB R2015a. Before the analysis of data, artefacts were removed. The ERPs (based on P3, P4, O1, O2, and Pz electrodes) were evaluated in three-time windows (50-100 ms, 100-200 ms, and 200-500 ms from the onset of circles on the screen). Each time window is associated with a different ERP component (N1, P2, and P3, respectively). The following neural oscillations were analyzed – theta (4-8 Hz; Fz electrode), alpha (8-13 Hz; P3, P4, O1, O2, and Pz electrodes), and beta (13-30 Hz; Cz, C3, and C4 electrodes).

In addition to EEG data, subjects' reaction time and correct response rate were analyzed. The statistical analysis of both EEG data and behaviour performance was completed using RStudio 2022.02.2 (with R Language Statistical Software 4.2.0.). The Wilcoxon rank sum test was used to analyze the data.

Results and Analysis

On average, subjects task performance did not differ considerably for crossed (2.85 sec, 96% correct response rate) and uncrossed disparities (2.93 sec, 95% correct response rate). As expected, brain activity was the most pronounced in the parietal and occipital areas of the cortex during all time windows (see [Figure 1A](#)). Moreover, a slight asymmetry was observed comparing the neural activity in right and left

hemispheres at 100-200 ms and 200-500 ms time from the onset of circles on the screen.

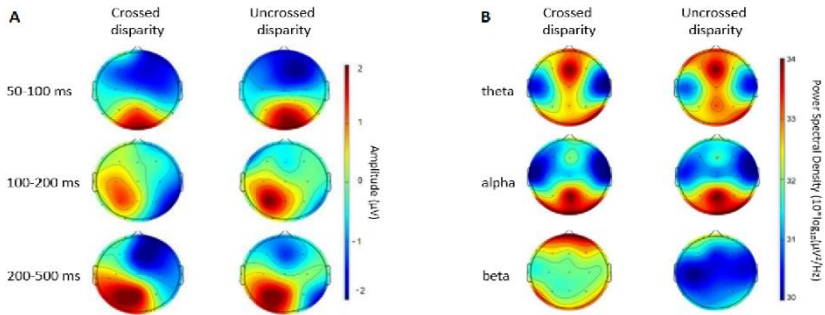


Figure 1. Topographical maps of (A) ERPs in three time windows and (B) brain oscillations for crossed and uncrossed disparity (averaged across all participants).

Statistical analysis of ERPs for the parietal and occipital electrodes (P3, P4, O1, O2, and Pz) showed no significant differences in N1 ($p = 0.05$) and P3 component of ERPs ($p = 0.08$) comparing the results for crossed and uncrossed disparity. However, the average amplitude of P2 was significantly higher in case of uncrossed disparity ($p < 0.05$).

In addition to ERPs, brain oscillations were analyzed (see Figure 1B). As a result, no considerable differences were observed in the amplitudes of alpha and theta waves for both types of disparity ($p = 1.0$). Nevertheless, the amplitude of beta waves was significantly larger for crossed disparity in comparison to uncrossed disparity ($p < 0.05$).

Discussion

The analysis of brain activity might be a useful tool in the assessment of display user experience (Frey et al., 2016; Naderi et al., 2020; Pladere et al., 2020). Thus, there is a need to define biomarkers associated with different properties of images and individuals' cognitive response.

Altogether, the results of the study reconfirm that the parietal and occipital areas are the most active parts of the brain during the perception of 3D images based on binocular disparity. In comparison with crossed disparity viewing, it has been expected that viewing images with uncrossed disparities would require more attention. As a result, considerable differences in P2 component of ERPs and beta waves were found which might be associated with differences in attention demand and concentration (Arnott & Shedden, 2000; Li et al., 2017). In further research, the effect of more complex images and

individual variations in brain activity should be explored to develop the assessment method.

Conclusion

To sum up, the behavioral measures (response time and response rate) were similar when different types of disparities were used in images. However, EEG measures demonstrated significant differences in P2 component of ERPs and beta waves. This should be considered in the objective assessment of 3D display user experience.

Acknowledgements

The authors acknowledge the support from the Latvian Council of Science project “Development of guidelines for evaluating the visual effectiveness and ergonomics of innovative 3D displays” (No. Izp-2021/1-0399).



References

- Abdullayeva, A. (2022). The assessment of brain activity by EEG in crossed and uncrossed disparity. Bachelor thesis: University of Latvia.
- Arnott, S. R., & Shedden, J. M. (2000). Attention switching in depth using random-dot autostereograms: Attention gradient asymmetries. *Perception & Psychophysics*, *62*(7), 1459–1473.
- Backus, B. T., Fleet, D. J., Parker, A. J., & Heeger, D. J. (2001). Human cortical activity correlates with stereoscopic depth perception. *Journal of Neurophysiology*, *86*(4), 2054–2068.
- Cumming, B. G., & DeAngelis, G. C. (2001). The physiology of stereopsis. *Annual Review of Neuroscience*, *24*(1), 203–238.
- Frey, J., Appriou, A., Lotte, F., & Hachet, M. (2016). Classifying EEG signals during stereoscopic visualization to estimate visual comfort. *Computer Intelligence and Neuroscience*, *2016*, 2758103.
- Hibbard, P. B., Haines, A. E., & Hornsey, R. L. (2017). Magnitude, precision, and realism of depth perception in stereoscopic vision. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *2*(1), 25.
- Howard, I. P., & Rogers, B. I. (2012). *Perceiving in Depth*, Vol. 2: Stereoscopic Vision. Oxford University Press.
- Kasai, T., & Morotomi, T. (2001). Event-related brain potentials during selective attention to depth and form in global stereopsis. *Vision Research*, *41*(10–11), 1379–1388.
- Li, Y., Zhang, C., Hou, C., Yao, L., Zhang, J., & Long, Z. (2017). Stereoscopic processing of crossed and uncrossed disparities in the human visual cortex. *BMC Neuroscience*, *18*(1), 80.

- Naderi, M., Pladere, T., & Krumina, G. (2020). EEG based assessment of user performance for a volumetric multiplanar display. *Proceedings of SPIE*, 11350, 113500C.
- Parker, A. J. (2007). Binocular depth perception and the cerebral cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(5), 379–391.
- Patten M. L., Welchman, A. E. (2015). fMRI activity in posterior parietal cortex relates to the perceptual use of binocular disparity for both signal-in-noise and feature difference tasks. *PLoS ONE* 10: e0140696.
- Pladere, T., Naderi, M., Zabels, R., Osmanis, K., & Krumina, G. (2020). Comparative assessment of brain activity during depth perception of stereoscopic and volumetric images. *Proceedings of SPIE*, 11481, 1148108.
- Pegna, A. J., Darque, A., Roberts, M. V., & Leek, E. C. (2018). Effects of stereoscopic disparity on early ERP components during classification of three-dimensional objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 71(6), 1419–1430.
- Poggio G. E. (1995). Mechanisms of stereopsis in monkey visual cortex. *Cerebral Cortex*, 5(3), 193–204.
- Wang, Y. G., & Yan, W. (2016). A study on the different neural mechanisms of stereopsis between fine crossed and uncrossed disparity. *2016 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS)*, 63–66.

