

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS, MATEMĀTIKAS UN OPTOMETRIJAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**Heteroforijas un AK/A testa aprobācija datorizētajam
redzes skrīningam**

MAGISTRA DARBS

Autors: **Anete Kancāne – Zustere**

Studenta apliecības Nr. ak11206

Darba vadītājs: Dr. phys. Evita Kassaliete

RĪGA 2022

ANOTĀCIJA

Maģistra darbs uzrakstīts latviešu valodā uz 40 lapaspusēm. Tas satur 13 attēlus, 4 tabulas un 55 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis: Izpētīt datorizētā EYEDOO testa heteroforijas un AK/A mērījumu sakritību ar klīniskās metodes rezultātiem un iespējas to izmantot kā skrīninga metodi redzes pārbaudēs.

Dalībnieki: 75 dalībnieki, vidējais vecums 22 ± 5 gadi, brīvprātīgie dalībnieki, ar un bez refrakcijas korekciju.

Metode: Ar modificēto Thorington testu un datorizēto EYEDOO testu iegūti heteroforijas un AK/A mērījumi, kas savstarpēji salīdzināti datorizētā testa aprobācijai.

Rezultāti: Datorizētajam EYEDOO testam nepieciešams veikt uzlabojumus rezultātu precizitātes uzlabošanai.

Atslēgvārdi: Heteroforija, AK/A, EYEDOO, datorizētais tests heteroforijas novērtēšanai

ABSTRACT

The master thesis is written in latvian on 40 pages. It contains 13 pictures, 4 tables and 55 references.

Purpose: To study the agreement between the computerized EYEDOO test for measuring heterophoria, AC/A and clinical methods and the possibilities of using it as a screening method in vision tests.

Subjects: 75 participants, mean age 22 ± 5 years, volunteers, with and without refractive correction.

Method: Obtained heterophoria and AC/A data with modified Thorington test and computerized EYEDOO test, which are compared for the approbation of a computerized test.

Results: Improvements for computerized EYEDOO test are needed to improve the accuracy of the results.

Key words: Heterophoria, AC/A, EYEDOO, computerized tests for heterophoria measure

SATURS

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	3
1.1. Heteroforija	3
1.1.1. Heteroforijas novērtēšanas standartmetodes	4
1.1.2. Heteroforijas normas	7
1.2. AK/A novērtēšana.....	9
1.2.1. Heteroforiju metode.....	10
1.2.2. Gradientu metode	11
1.2.3. AK/A novērtēšanas metožu salīdzinājums	12
1.2.4. AK/A normas.....	13
1.3. Datorizētie heteroforiju testi	15
2. METODE	19
2.1. Pētījuma dalībnieki	19
2.2. Pētījuma iekārtas, izmantotie testi un metodes	19
3. REZULTĀTI.....	24
3.1. Bland – Altman analīze.....	26
3.1.1. Bland – Altman testa rezultāti bez un ar +2,00 D lēcu dalībniekiem ar ortoforiju .	26
3.1.2. Bland – Altman testa rezultāti bez un ar +2,00 D lēcu dalībniekiem ar eksoforiju.	27
3.1.3. Bland – Altman testa rezultāti bez un ar +2,00 D lēcu dalībniekiem ar ezoforiju ..	30
3.1.4. Bland – Altman testa rezultāti AK/A mērījumiem.....	31
3.2. Datorizētā testa jutība un specifiskums heteroforijas mērījumos	32
3.3. Datorizētā testa jutība un specifiskums AK/A mērījumos.....	33
4. DISKUSIJA	35
SECINĀJUMI	41
NOBEIGUMS	42
PATEICĪBA	43
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS AVOTI	44

IEVADS

Heteroforijas un AK/A mērījumi ir svarīgi daudzu binokulāro traucējumu diagnostikā, tāpēc bieži vien tiek izmantoti redzes pārbaudēs. Heteroforijas un AK/A noteikšanai tiek izmantoti standarttesti – aizklāšanas un prizmu aizklāšanas testi heteroforijām un gradientu metode AK/A. Heteroforijas novērtēšanai kā alternatīva aizklāšanas testam var tikt izmantots modificētais Thorington tests, kas ir pacientam vieglāk saprotams. Šiem testiem nepieciešams specifisks aprīkojums un pieredzējis speciālists. Tāpēc tie ir atkarīgi no speciālista spējām testu precīzi izpildīt un interpretēt, tos var ietekmēt pacients, īpaši bērna spējas testu saprast un iesaistes tā veikšanā. Neprecīzi izpildot testus, var tikt noteiktas nepareizas un neievērotas esošas diagnozes. Kvalitatīvu šo testu datorizēto variantu ieviešana atvieglotu mērījumu veikšanu, tādējādi īsākā laikā varētu iegūt svarīgus mērījumus pacienta binokulāro traucējumu diagnostikai.

Ir veikti vairāki pētījumi dažādās pasaules valstīs ar mērķi radīt heteroforiju un AK/A mērīšanai uzticamus un kvalitatīvus datorizētus testus. Testi heteroforijas novērtēšanai balstīti gan uz acu kustību pierakstu, gan veidoti automatizēti kā Hiršberga, sarkanā stikla testi vai testi ar sarkanzaļajām filtru brillēm. Pētījumos secināts, ka šāda veida testi palielina redzes pārbaudes kvalitāti, saīsina pārbaudei nepieciešamo laiku un līdz ar to tiem ir potenciāls kļūt par neaizvietojamu redzes pārbaudes daļu (Yehezkel O., 2017). Pundlik et al automatizētais Hiršberga tests, kurā tika veikta radzenes refleksa fotogrāfēšana un refleksa atšķirību analīze, uzrāda labus atkārtotības rādītājus (Pundlik, 2019).

Šī maģistra darba mērķis ir izpētīt datorizētā EYEDOO testa kvalitāti un iespējas to izmantot kā skrīninga metodi redzes pārbaudēs. Šī mērķa sasniegšanai uzstādīti šādi darba uzdevumi:

1. Novērtēt datorizētā testa atkārtotamību.
2. Noteikt, vai datorizētais tests ir salīdzināms ar standartmetodēm heteroforijas un AK/A mērījumiem.
3. Noteikt, pie kāda mērījumu sliekšņa heteroforijas un AK/A tests uzrāda pacientam binokulārās redzes traucējumus.

Darba hipotēze: Datorizētais EYEDOO tests heteroforiju un AK/A mērījumiem ir pielīdzināms un būtiski neatšķiras no rezultātiem, kas iegūti ar standartmetodēm, un ir izmantojams kā alternatīva tām.

Heteroforijas un AK/A mērijumi tika veikti ar datorizēto EYEDOO testu un klasisko modificētā Thorington testu. Pētījumā piedalījās 75 brīvprātīgi dalībnieki ar vidējo vecumu 22 ± 5 gadi, gan vīrieši, gan sievietes, Latvijas Universitātes darbinieki un studenti. Visiem dalībniekiem tika veikta subjektīvā redzes korekcija un noteikti heteroforijas un AK/A lielums ar standarta metodi – modificēto Thorington testu, gradientu metode AK/A, un ar datorizēto EYEDOO testu. Iegūtie rezultāti salīdzināti ar Friedman test, paired t-test, Bland – Altman metodes palīdzību, kā arī aprēķināta testu jutība un specifiskums.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

1.1. Heteroforija

Normāli acis kustībās sadarbojas un kustas līdzīgi, to nodrošina normāli funkcionējošs sensorais un motorais fūziju mehānisms. Sensorā fūzija ir process, kurā attēli uz abu acu tīklenēm tiek uztverti kā viens attēls, savukārt motorā fūzija ir vergences kustības ar mērķi attēlus noturēt abu acu tīkleņu korespondējošajos punktos, lai sensorā fūzija varētu darboties. (Grosvenor, 2007) Kad acis ir disociētas – abu acu attēli ir atdalīti, vai viena acs ir aizklāta, dažiem cilvēkiem parādās latentā nobīde – heteroforija. Heteroforija tiek noteikta ar testu palīdzību, kur fūzijas mehānisms ir izjaukts. Lielākoties cilvēkiem šķielēšanas nav, viņu acis sadarbojas gandrīz precīzi. Šķielēšana ir aptuveni 2,5 – 4 % populācijas. Absolūtā tumsā, kad acīm nav stimulu, tās lielākoties tiecas ieņemt savu relaksācijas punktu. Objekta tālumā apskate var tikt uzskatīta par acu diverģēšanu no šī punkta, bet tuvumā – par konverģēšanu. Aizklājot vienu aci, tās tiecas atgriezties savā relaksācijas punktā. Heteroforija tiek uzskatīta par normālu parādību, jo parādās tikai, kad acis ir disociētas. Dekompensējoties heteroforijai, rodas simptomi un tā var kļūt par šķielēšanu. (Evans, Binocular Vision, 2005)

Heteroforiju var definēt kā okulāro nobīdi, kas normāli ir latentā fūzijas mehānisma dēļ. Ja fūzijas mehānisms nedarbojas atbilstoši, var parādīties nobīdes redzes asīs, heteroforija kļūst manifesta un tā tiek saukta par heterotropiju jeb šķielēšanu. Šai gadījumā abām acīm aplūkojot vienu objektu redzes asis nav vienādi novietotas, fūziju mehānisms nefunkcionē pareizi, tādēļ attēls neveidojas abu acu korespondējošajos punktos. Bērna vecumā tas var novest pie ambliopijas, bet pieaugušā vecumā – pie dubultošanās. Ja redzes asis konverģē, tad ir ezoforija vai ezotropija, ja diverģē – eksoforija vai eksotropija. (Grosvenor, 2007)

Ezoforija ir latentā nobīde, kurā vienas acs redzes ass deviē uz iekšu attiecībā pret otras acs asi, pie nosacījuma, ka visi fūzijas stimuli ir nomākti. Savukārt eksoforija ir situācija, kad vienas acs redzes ass deviē uz āru pie šiem pašiem nosacījumiem. Ja abu acu redzes asis ir paralēlas, kad ir likvidēti visi fūzijas stimuli, tad tā ir ortoforija. Retāk, bet var parādīties arī hiper- un hipodeviācijas, kas ir vertikālās heteroforijas vai heterotropijas, kā arī ciklodeviācijas, kas lielākoties ir manifestas. (Grosvenor, 2007) Šķielēšanu var izraisīt fūziju mehānisma traucējumi anatomiskās izmaiņas, piemēram, hipertelorisms – anormāli liels starpzilīšu attālums, kas var radīt tendenci pacientam diverģēt, eksoftalms, endoftalms, refraktīvās izmaiņas – nekoriģēta hipermetropija var izraisīt ezoforiju, monokulāra redze un traumas. (Von Noorden, 2001)

Dekompensējot heteroforiju, cilvēkam var vai nu attīstīties sensorā adaptācija vai parādīties tādi simptomi kā miglaina redze, dubultošanās, grūtības ar stereoredzi, galvassāpes, sāpošas acis, var izjust lielāku komfortu skatoties monokulāri. (Evans, Binocular Vision, 2005) Sākumskolas vecumā visbiežāk bērniem sastopama eksoforija, tā bieži saistīta ar nozīmīgi pazeminātām pozitīvajām fuzionālajām vergencēm tuvumā, novērojams samazināts konverģences tuvuma punkts, ja salīdzina ar bērniem, kam ir ortoforija vai ezoforija. Jo lielāks nobīdes leņķis tuvumā, jo mazāka konverģences fuzionālā amplitūda. (Lanča, 2016)

1.1.1. Heteroforijas novērtēšanas standartmetodes

Heteroforiju novērtēšana redzes pārbaudes laikā var sniegt informāciju par pacienta binokulārās redzes stāvokli. Binokulārās redzes anomālijas var izraisīt situāciju, kad binokulārā redze pastāv, bet ir patstāvīgi stresā, vai situāciju, kad anomālijas dēļ binokulārās redzes nav. Heteroforiju novērtēšanai iespējams izmantot dažādas metodes. Standarta tests heteroforijas novērtēšanai ir aizklāšanas tests, kad tiek aizklāta viena acs un noņemot aizklājēju tiek novērtēta acs kustība fiksācijas atgūšanai, un alternējošais aizklāšanas tests, kad oklūderis tiek pārmaiņus virzīts no vienas acs uz otru. Testa laikā iespējams noteikt, kāda veida heteroforija ir pacientam un kāds ir tās apjoms.

Plaši izmantots horizontālās un vertikālās heteroforijas novērtēšanas tests ir modificētais Thorington, kas ir subjektīva metode, jo atkarīga no pacienta atbildēm. Heteroforiju mērīšanai tiek izmantota modificētā Thorington testa karte ar cipariem, kas viens no otra atrodas 1Δ attālumā, ja karti tur testa veikšanas attālumā – 40 cm. Testam izmanto arī gaismas spuldzīti, ar kuru caur caurumu plāksnes vidū tiek spīdināta gaisma, un sarkano Maddox Rod cilindru, kas tiek novietots priekšā pacienta labajai acij, radot vertikālu vai horizontālu sarkanu svītru. Dalībnieks, skatoties ar abām acīm uz gaismas spuldzīti, redz gaismas spuldzi un sarkanu līniju. Pacientam jāziņo, caur kuru no cipariem attiecībā pret spuldzīti redzama svītra un kurā pusē punktam tā ir novietota. Tādējādi tiek noteikts heteroforijas veids un lielums. Metodes mīnusi ir tās subjektivitāte un nepieciešamība pacientam koncentrēties uz cipariem un līnijām, jo testā izmantotajai disociācijas metodei ir zema akomodācijas kontroles pakāpe. (Mestre, 2018) Tomēr modificētais Thorington tests tiek rekomendēts kā subjektīvā heteroforijas mērījuma metode tā augstās atkārtojamības dēļ (Facchin, 2020), kā arī vieglās un pacientam saprotamās izpildes dēļ (Mestre, 2018).

Praksē tiek izmantoti arī tādi testi kā von Graefe un Howell Card testi. Anstice et al. pētījumā tika salīdzināti četru testu – alternējošā prizmu aizklāšanas, von Graefe, Howell Card un Maddox Rod testu rezultāti, kad tos vienādos apstākļos veica divi neatkarīgi speciālisti un katrs speciālists šos testus dalībniekiem veica divas reizes ar vienu līdz desmit dienu atšķirību gan tuvumā (33 vai 40 cm), gan tālumā (3 vai 6 m). Testi tika salīdzināti gan starp abu speciālistu veiktajiem mērījumiem, gan katram speciālistam starp abām mērījumu reizēm. 1. tabulā atainota noteiktā testu atkārtotamība un mainība. (Anstice, 2020)

Tā kā pirmā un otrā speciālista heteroforijas mērījumi ievērojami neatšķīrās, vērtējot testu mainību starp mērījumiem, tika izmantoti pirmā speciālista dati. Starp diviem mērījumiem, ko veica viens speciālists, vismazāko mainību uzrādīja Howell Card tests, bet vislielāko von Graefe tests (skat. 1.1 tab.). Arī starp divu speciālistu veiktajiem mērījumiem novērtējot mainīgumu tika iegūti līdzīgi rezultāti. Howell Card uzrādīja viszemāko mainību tālumā, alternējošais prizmu aizklāšanas tests tuvumā, bet vislielāko mainību uzrādīja von Graefe un Maddox Rod abos testa attālumos. Par vismainīgāko metodi visos testa apstākļos tika atzīti Maddox Rod un von Graefe testi, bet vislabākā atkārtotamība tika noteikta Howell Card testam tuvumā. Tomēr visiem heteroforiju testiem gan starp speciālistu mērījumiem, gan abām sesijām tika noteikta augstas pakāpes atkārtotamība. (Anstice, 2020)

1.1.tabula

Heteroforijas novērtēšanas testu mainīguma salīdzinājums

Heteroforijas tests	Testa attālums	Mainīgums starp mērījumiem viena speciālista ietvaros (Δ)	Mainīgums starp divu speciālistu mērījumiem (Δ)
Alternējošais prizmu aizklāšanas tests	6 m	0.9	0.6
	40 cm	1.5	1.1
Von Graefe	6 m	1.1	0.8
	40 cm	2.3	2.0
Howell Card	3 m	0.6	0.4
	33 cm	1.3	1.4
Maddox Rod	6 m	1.0	0.6
	40 cm	1.9	2.1

Canto-Cerdan et al. salīdzinot aizklāšanas testu ar von Graefe metodi tuvumā un tālumā ne-presbiopiem un presbiopiem pacientiem, secināja, ka tālumā abām grupām ar abām metodēm tika iegūta eksoforija, kas mazāka par 1 Δ. Von Graefe tests uzrāda lielākas vērtības, kas ir vairāk eksoforas nekā aizklāšanas testam. Atšķirība starp testiem ir statistiski nozīmīga ne-presbiopajai grupai gan tuvumā, gan tālumā un tikai tālumā presbiopajai grupai. Nevienā no grupām atšķirība starp testiem nepārsniedza 0,5 Δ, kas klīniski nav nozīmīga. Rezultāti tika salīdzināti arī ar Bland-Altman analīzes palīdzību, nosakot, vai dati par abiem testiem ir salīdzināmi. Gan tālumā, gan tuvumā CA koeficients (coefficient of agreement) ne-presbiopiem pacientiem ir augsts, attiecīgi, $\pm 2,97 \Delta$ un $\pm 6,74 \Delta$. Līdz ar to abas metodes nav līdzvērtīgi izmantojamas ne-presbiopiem pacientiem. Presbiopiem pacientiem CA ir ievērojami zemāks ($\pm 1,59 \Delta$ tālumā, $\pm 1,86 \Delta$ tuvumā), tādēļ abas metodes dod līdzīgus rezultātus un ir uzskatāms, ka var tik izmantotas līdzvērtīgi. (Canto-Cerdan, 2017)

Līdzīgus rezultātus, salīdzinot aizklāšanas testu, von Graefe, Maddox Rod un Thorington testus tālumā, ieguva Cebrian et al. Ar aizklāšanas testu ($-0,24 \pm 1,26 \Delta$) un von Graefe metodi ($-0,92 \pm 1,93 \Delta$) iegūto mērījumu vidējās vērtības ir vairāk eksoforijas virzienā salīdzinot ar Maddox Rod ($0,31 \pm 2,56 \Delta$) un Thorington testu ($0,39 \pm 1,59 \Delta$). Maddox Rod tests uzrāda viszemāko testa atkārtojamību starp diviem speciālistiem (COR (coefficient of repeatability) = $\pm 3,49 \Delta$), bet visaugstāko – Thorington tests (COR = $\pm 1,43 \Delta$). Maddox Rod uzrādīja arī viszemāko atkārtojamību starp divām testa sesijām, ko veica viens speciālists (COR = $\pm 4,04 \Delta$). Starp divām testa sesijām vislielāko atkārtojamību uzrādīja aizklāšanas tests (COR = $\pm 1,28 \Delta$). Statistiski atšķirības testos ir nozīmīgas, taču klīniski tās ir neievērojamas, jo 1 Δ starpību pārsniedz tikai von Graefe – Thorington un von Graefe – Maddox Rod testu salīdzinājumos. Ar Bland-Altman vislabāko savstarpējo salīdzinātību uzrāda Thorington un aizklāšanas testi. (Cebrian, 2014)

Visvairāk šobrīd klīniski lietotie heteroforijas noteikšanas testi uzrāda salīdzināmus rezultātus un tos var lietot kā alternatīvas vienu otram, taču ņemot vērā, ka mērījumi var atšķirties aptuveni vienas prizmatiskās dioptrijas ietvaros. Izvēloties testu pacienta heteroforijas noteikšanai, jāņem vērā arī, kurš būs pacientam vissaprotamākais un vienkāršāk izpildāmais tests. Modificētā Thorington tests tiek uzskatīts par viegli izpildāmu un saprotamu pacientam, taču jāņem vērā, ka tas ir arī subjektīvs – pilnībā atkarīgs no pacienta atbildes par līnijas novietojumu. Testa laikā pacientam nepieciešams fokusēti skatīties uz kartes cipariem un atzīmēm, jo testā izmantotā disociācijas metode ne pietiekami labi kontrolē akomodāciju.

1.1.2. Heteroforijas normas

Ir veikti pētījumi ar mērķi noskaidrot heteroforijas normas populācijā un vai to ietekmē, piemēram, vecums, dzimums un kā normas ietekmē dažādas testa metodes. Atšķirības pētījumos var ietekmēt dažādas pētījumu metodoloģijas, piemēram, heteroforijas novērtēšanas metode. (Jimenez R. R., 2004). Tomēr neskatoties uz to, ka izmantotas dažādas heteroforiju novērtēšanas metodes, pētījumos tūlīt lielākoties tiek novērota ortoforija, bet tuvumā neliela eksoforija.

Heteroforijas lielums populācijā var atšķirties dažādos kontinentos dzīvojošajiem indivīdiem. Salīdzinot tūlīt heteroforijas lielumu, tas ir līdzīgs amerikāņiem un aziātiem un svārstās no 1 Δ ezoforijas līdz 3 Δ eksoforijai, afrikāņiem šī svārstība ir no 2 Δ ezoforijas līdz 2 Δ eksoforijai, taču eiropiešiem heteroforiju lielums ir lielāks – no 5 Δ ezoforijas līdz 1 Δ eksoforijai. Savukārt tuvuma heteroforijas lielums amerikāņiem svārstās no ortoforijas līdz 6 Δ eksoforijai, eiropiešiem no ortoforijas līdz 4 Δ eksoforijai, bet aziātiem un afrikāņiem – no 2 Δ ezoforijas līdz 6 Δ eksoforijai. (Darko-Takyi, 2020)

1.2.tabulā norādīts dažādās Eiropas valstīs veiktu pētījumu rezultātu salīdzinājums. Heteroforijas normas cilvēkiem dažādās vecuma grupās atšķiras nenozīmīgi. Tiek uzskatīts, ka tūlīt heteroforijas apjoms dzīves laikā nemainās.

1.2.tabula

Pētījumu rezultātu salīdzinājums bērniem dažādās Eiropas valstīs

Pētījums	Valsts	Vecums	Testa attālums	Testa metode	Rezultāti
Jimenez, 2004	Spānija	6 – 12 gadi	Tūlīt (5 m)	Maddox Rod	0,6 ± 1,7 (ezo)
			Tuvums (0,4 m)	Modificētais Thorington tests	-0,4 ± 3,1 (exo)
Radakovic, 2012	Polija	6 – 7 gadi	Tūlīt (6 m)	Prizmu aizklāšanas tests	0,1 ± 1,5 (ezo)
			Tuvums (0,33 m)		-2,3 ± 3,9 (exo)
Lança, 2016	Portugāle	6 – 14 gadi	Tūlīt	Aizklāšanas tests	-0,13 ± 0,66 (exo)
			Tuvums		-1,87 ± 2,63 (exo)
Myklebust, 2016	Norvēģija	5 – 11 gadi	Tūlīt (6 m)	Prizmu aizklāšanas tests	-0,3 ± 2,8 (exo)
			Tuvums (0,4 m)		-2,5 ± 3,9 (exo)

2017. gadā Amerikā tika veikts pētījums novērtējot dažādu heteroforiju novērtēšanas metožu ietekmi uz rezultātiem. Tika mainīts testa attālums, izmantotās aizklāšanas metode un stimuli – Lea simboli un multiplikācijas filma. Tika izmantots gan klīniskais alternējošais aizklāšanas tests, gan objektīvi novērtējot acu kustības ar PowerRefractor ierīci. Starp abiem mērījumiem netika noteikta statistiski nozīmīga atšķirība, vidējā atšķirība bija mazāka par 1 Δ. Tuvumā (40 cm) noteikta lielāka eksoforija nekā tālumā (6 m) gan pieaugušajiem (19 – 29 gadi), gan bērniem (3,0 – 5,8 gadi). Mērot tuvuma heteroforiju ar alternējošo aizklāšanas testu, tās lielums bērniem novērtēts kā $3,3 \pm 1,7 \Delta$ eksoforija, bet pieaugušajiem – $4,1 \pm 2,6 \Delta$ eksoforija. Starp vecuma grupām ir vērojama maza atšķirība heteroforijas lielumā visos attālumos un abiem stimuliem, tā nepārsniedz divas prizmas un nav klīniski nozīmīga. Secināts, ka pirmsskolas vecuma bērniem heteroforijas lielums maz atšķiras no pieaugušo vērtībām. (Troyer, 2017)

Tāluma heteroforijas lielumi vērtēti arī lielāka vecuma grupās un novērots, ka cilvēka vecums neietekmē tāluma heteroforijas lielumu. Līdz pat 70 gadiem vidējā tāluma heteroforija ir neliela – $0,3 \Delta$ līdz $0,6 \Delta$ eksoforija, bet pēc 70 gadiem tā var būt neliela ezoforija – līdz $0,2 \Delta$. Vidējā heteroforija visās vecuma grupās neatšķiras vairāk par 1 Δ. (Alvarez, 2005) 2015. gadā Polijā tika veikts pētījums par acu treniņu ietekmi uz redzes sistēmu jauniem pieaugušajiem – atlētiem (vidējais vecums: $21,55 \pm 0,67$ gadi), tajā tika secināts, ka lielākajai daļai veselu cilvēku ir normāla maza heteroforija, visbiežāk novērojama ir eksoforija. Tā ir fizioloģiska norma un var variēt no 1 Δ - 2 Δ ezoforijas līdz 1 Δ – 4 Δ eksoforijas tālumā. Šai pētījumā heteroforija tika noteikta ar Maddox wing testu, tālumā vidēji dalībniekiem bija ortoforija, bet tuvumā – $2,3 \pm 0,57 \Delta$ eksoforija. Tika secināts, ka tā novērojama 70% dalībnieku tālumā un 80% dalībnieku tuvumā. (Zwierko, 2015) Līdzīgus rezultātus uzrāda arī citi pētījumi, kur secināts, ka 70 – 80 % populācijas ir sastopama neliela heteroforija, kas tikai nedaudz atšķiras no nulles. Tā skaidrojama ar nemitīgu nepieciešamību veikt atkārtotu vergences pozīcijas precizēšanu, lai nodrošinātu binokulāru redzi. (Kommerell, 2002)

2015. gadā pētot tuvuma heteroforiju bērniem vecumā no 2 līdz 7 gadiem tika noteikti līdzīgi rezultāti attiecībā uz nelielo heteroforiju populācijā. Tika noteikts, ka 78% bērnu un 69% pieaugušo, kas piedalījās pētījumā, ir eksoforija, 20% bērnu un 23% pieaugušo ir ortoforija un tikai viens bērns un viens pieaugušais bija ezoforisks. (Babinsky, 2015) Aptuveni 68% cilvēku populācijā par normu tuvuma heteroforijai tiek uzskatīta neliela eksoforija – $3 \pm 5 \Delta$ eksoforija, līdz ar to par normu var uzskatīt no 2Δ ezoforijas līdz 8Δ eksoforijas. (Evans, Pickwell's Binocular Vision Anomalies, 2007)

Scheiman and Wick par sagaidāmajām normām aizklāšanas testā tuvumā nosaka $3 \pm 3 \Delta$ eksoforiju (Scheiman, 2008). Izvērtējot heteroforijas lielumu, jāņem vērā ne tikai heteroforijas lielums, bet arī tās stabilitāte. Maddox wing testā būtu jāņem vērā līnijas kustības amplitūda par vidus punktu izvēloties vidējo līnijas pozīciju. (Evans, Pickwell's Binocular Vision Anomalies, 2007)

1.2. AK/A novērtēšana

Normālas binokulāras redzes gadījumā skaidru vienu attēlu nodrošina sabalansēta akomodācijas un vergēnces sistēmu sadarbība. Pirmais stimulē akomodācijas un vergēnces sistēmām sadarboties koordinētai atbildei, ir izplūdis (Fincham, 1951) un horizontāli nobīdīts attēls. Akomodācijas sistēmas stimulācija rada toniskās vergēnces sistēmas atbildi, tāpat kā stimulējot vergēnces sistēmu, iegūst akomodācijas atbildi. Šī sadarbība notiek pateicoties krusteniski saistītām mijiedarbībām starp akomodācijas un vergēnces sistēmām. Tās nepieciešamas, lai nodrošinātu sabalansētas akomodācijas un vergēnces atbildes - akomodatīvā atbilde un vergēntas acu kustības ir cieši saistītas (Schor, 1986). Sistēmu mijiedarbību raksturo akomodatīvās konverģences un akomodācijas attiecība jeb AK/A mērījums, tas nosaka izmaiņas akomodatīvajā konverģencē, kas rodas pacientam akomodējot vai atslābinot akomodāciju. Lai akomodētu par vienu dioptriju, ir nepieciešams noteikts daudzums konverģences.

AK/A mērījums sniedz informāciju par pacienta binokulārās redzes stāvokli, norādot, kā akomodācija ietekmē konverģences mehānismu. Mērījuma laikā tiek izmainīta cilvēka akomodācija, novērtējot, kā saistībā ar akomodācijas izmaiņām izminās konverģence. Ja AK/A ir anormāli augsts, akomodatīvā konverģence pārāk spēcīgi iedarbojas uz akomodāciju, savukārt, ja AK/A ir pārāk zems, tad pārāk maz akomodatīvā konverģence iedarbojas uz akomodāciju un acis var atrasties diverģentā stāvoklī. Līdz ar to AK/A mērījums tiek izmantots, lai klīniski noteiktu dažādus šķielēšanas veidus kā konverģences ekscesa ezotropiju un intermitējošu tāluma eksotropiju, un diagnosticētu binokulārās redzes traucējumus. (Hughes, 1967)

Ir stimula AK/A un atbildes AK/A mērījumi. Stimula AK/A mērījums salīdzina akomodatīvās konverģences atbildi akomodatīvajam stimulam, bet atbildes AK/A salīdzina akomodatīvās konverģences atbildi ar akomodācijas atbildi. Atbildes AK/A lielums visprecīzāk norāda uz akomodācijas un konverģences sistēmu savstarpēju iedarbību (Bhoola, 1995). Atbildes AK/A vērtība ir par 8 – 24% augstāka nekā stimula AK/A un tā atšķirība palielinās, palielinoties AK/A vērtībai. (Sweeney, 2014)

Parastā redzes pārbaudē noteikt pacienta akomodācijas stāvokli nevar, taču akomodācijas stimulu novērtēt var, jo ir zināms gan testa attālums, gan izmantotā lēca. Stimula AK/A ir akomodatīvā konverģence uz akomodācijas stimulu. Stimula AK/A ir vieglāk klīniski novērtēt nekā atbildes AK/A. Atbildes AK/A var nomērīt tikai tad, ja iespējams ar haploskopu novērtēt akomodatīvo atbildi. Atbildes AK/A ir akomodatīvās konverģences lielums, kāds nepieciešams akomodatīvajai atbildei. (Grosvenor, 2007) Pētījumos pierādīts, ka stimula AK/A vērtība labi raksturo sistēmu mijiedarbību un ir izmantojama binokulārās redzes izvērtēšanai. (Bhoola, 1995). AK/A novērtēšanai tiek izmantotas tādas metodes kā heteroforiju un gradientu metodes.

1.2.1. Heteroforiju metode

AK/A mērījums ir akomodatīvās konverģences daudzuma izmaiņa, izmainoties akomodācijai. Heteroforiju metode ir salīdzinoši viegli veicama. Tajā tiek salīdzināta acu latentā nobīde tālumā (6 m) un tuvumā (40 cm), izmantojot prizmas un alternējošu aizklāšanas testu. Nepieciešamo akomodāciju nodrošina detalizēts mērķis. Novērtēšanas laikā parasti tiek izmantota pilna korekcija, atsevišķos gadījumos to var veikt arī bez korekcijas, lai varētu salīdzināt korekcijas ietekmi uz AK/A. Ja nobīde ir līdzīga tuvumā un tālumā, tā tiek uzskatīta par normu. Ja ezodeviācija tuvumā ir lielāka nekā tālumā, AK/A mērījums ir augsts, pretējā gadījumā, AK/A ir zems. Kad eksodeviācija tālumā ir lielāka nekā tuvumā, AK/A mērījums ir augsts un pretējā gadījumā – zems. Aprēķinot AK/A, ezodeviācija ir pozitīvs skaitlis, eksodeviācija – negatīvs.

Konverģences nepieciešamība dažādiem indivīdiem atšķiras, jo konverģences izmaiņas ietekmē pacienta starpzīlīšu attālums. Jo lielāks starpzīlīšu attālums, jo vairāk nepieciešams konverģēt. Heteroforiju metodē nepieciešams ņemt vērā katra pacienta individuālo starpzīlīšu attālumu precīzākai AK/A novērtēšanai. AK/A tādējādi var tikt aprēķināts kā cilvēka starpzīlīšu attālums centimetros plus atšķirība starp latento nobīdi tuvumā un tālumā, kas tiek vai nu dalīta ar tuvuma attālumu dioptrijās, vai reizināta ar tuvuma attālumu metros (1.1. attēls). Bhoola et al (1995) pētījumā par AK/A klīnisko mērījumu ticamību norādīja, ka gradientu metode ir ļoti atkarīga no fokusa kļūdām un proksimālās konverģences, tāpēc šī metode varētu būt noderīga nosakot vien ļoti augstas AK/A vērtības (Bhoola, 1995).

$$AK/A = IPD + \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{F_1}$$

$$AK/A = IPD + (\Delta_2 - \Delta_1) \times F_2$$

AK - akomodatīvā konverģence, Δ
A - akomodācija, D
IPD - starpzīlīšu attālums, cm
 Δ_1 - latentā deviācija tālumā (6m), Δ
 Δ_2 - latentā deviācija tuvumā (33cm), Δ
F1 - tuvuma fiksācijas attālums, D
F2 - tuvuma fiksācijas attālums, m

1.1. att. AK/A aprēķināšana pēc heteroforiju metodes

1.2.2. Gradientu metode

Šajā metodē AK/A ir atšķirība starp deviācijas mērījumu, kad acīm tiek pielikta papildus lēca un mērījums bez lēcas. Pieliktās papildus lēcas inducē akomodāciju, šāds mērījums var būt gan subjektīvs, gan objektīvs. Izmantoto lēcu dēļ gradientu metodē netiek ņemts vērā ne fokusa dziļums, ne akomodācijas atpalikšana (Bhoola, 1995). AK/A lieluma aprēķinā tiek ņemts vērā pieliktās lēcas stiprums (1.2. attēls). Testu var veikt izmantojot dažādus heteroforiju novērtēšanas metodes – Maddox, von Graefe un alternējošās aizklāšanas testu, pacientam skatoties uz fiksācijas mērķi, kas iedarbina noteiktu akomodācijas apjomu. Acīm tiek pieliktas starus izkliedējošas vai sakopojošas sfēriskās lēcas, kas izraisa akomodācijas pozitīvu vai negatīvu izmaiņu un atbilstošu izmaiņu konverģencē. (Majumder, 2016).

$$AK/A = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{D_1}$$

AK - akomodatīvā konverģence, Δ

A - akomodācija, D

Δ_1 - deviācija bez pieliktas lēcas, Δ

Δ_2 - deviācija pēc sfēriskas lēcas pielikšanas, Δ

D1 - sfēriskās lēcas stiprums, D

1.2.att. AK/A aprēķināšana pēc gradientu metodes

Gradientu metodes AK/A klīniskajā pētniecībā sniedz noderīgu informāciju, bet neprecizitātes rada pacienta individuālā akomodācija, kas var ļoti atšķirties atkarībā no pielietotās stimula lēcas (Bhoola, 1995). Pētījumos norādīts, ka AK/A lielums atšķiras, izmantojot -3,00 D un +3,00 D lēcas, tāpēc būtu ieteicams klīniskos mērījumus veikt gan ar mīnus, gan plus lēcām. Vislīdzīgākie AK/A rezultāti iegūstami izmantojot +3,00 D lēcu un -2,00 D un -1,00 D lēcas. (Majumder, 2016)

1.2.3. AK/A novērtēšanas metožu salīdzinājums

Lai gan bieži vien gradientu un heteroforijas metodes AK/A novērtēšanai tiek izmantotas viena otras vietā, to metodika ir atšķirīga un rodas atšķirības rezultātos. Ar heteroforijas metodi aprēķināto AK/A var ietekmēt aprēķinā izmantotais pacienta starpzīlīšu attālums. Ar šo metodi AK/A parasti ir lielāka proksimālās konverģences dēļ. Savukārt gradientu metodi var ietekmēt AK/A noteikšanā izmantotās lēcas lielums. Tomēr gradientu metode sniedz patiesāku AK/A novērtējumu, jo tajā proksimālā, fuzionālā un toniskā konverģence ir konstanta. (Majumder, 2016)

Murray & Newsham 2010. gadā veica pētījumu, kurā piedalījās 15 veseli dalībnieki, salīdzinot AK/A rezultātus heteroforiju, tuvuma un tāluma gradientu un sinoptofora gradienta metodēs. Visaugstākās AK/A vērtības iegūtas heteroforiju metodē. Tāluma gradienta un sinoptofora gradienta metodes uzrādīja zemākus rezultātus kā pieņemtā norma, bet tuvuma gradienta metodes rezultāti atbilda zemākajām pieņemtajām normas vērtībām. Pētījumā tika secināts, ka būtu nepieciešams vēsturiski noteiktās AK/A normas vērtības samazināt (Murray, 2010).

Murray & Newsham veica pētījumu par normas vērtību AK/A mērījumiem arī 2018. gadā. Arī šajā pētījumā tika salīdzināti heteroforiju, tuvuma un tāluma gradientu un sinoptofora gradienta metodes. Pētījumā piedalījās 50 veseli dalībnieki. Arī šoreiz pētījumā secināja, ka visaugstākos AK/A mērījumus iegūst ar heteroforiju metodi, bet starp trim gradientu metodēm arī tika novērota statistiski nozīmīga atšķirība (Kruskal – Wallis, $p < 0,05$). Tuvuma gradienta tests vienīgais uzrādīja nozīmīgu AK/A mērījumu atšķirību starp pacientiem ar eksoforiju un ezoforiju. Ezoforijas pacientiem AK/A tika noteikta par vienu dioptriju mazāka salīdzinot ar eksoforijas pacientiem. Pētījumā secināja, ka vēsturiski noteiktā normālā AK/A vērtība ir augstāka nekā ar dažādām pieejamajām metodēm aprēķinātā. Izņēmums ir heteroforiju metode, kurai tika iegūtas augstākas AK/A vērtības un tas var būt saistīts ar proksimālo konvergenci tuvumā, kas šīs metodes aprēķinā netiek ņemta vērā. AK/A normas vērtības atkarīgas no veiktās metodes, pētījumā secināts, ka metodes savstarpēji salīdzināt ir grūti, tāpēc tās nav savstarpēji aizvietošanas. Šai pētījumā tiek ieteikts katrai metodei noteikt savas normas vērtības un atteikties no heteroforiju metodes klīniskas izmantošanas, lai izvairītos no neprecīzām diagnozēm (Murray, 2018). Gradienta metode ir atzīta par visprecīzāko metodi akomodācijas un verģences sistēmu mijiedarbības novērtēšanai.

1.2.4. AK/A normas

Dažādiem pētniekiem AK/A normas novērtēšanas metode nedaudz atšķiras. Ja pacientam ir emetropija ar vai bez korekcijas, tālumā stimul akomodācijai ir nulle, redzes asis ir paralēlas un arī fūzija netiek stimulēta, tāpēc arī stimul konverģencei ir nulle. Kad stimul ir fiksēts 40 cm attālumā, akomodācijas stimul ir 2,50 D, bet konverģences stimul pie starpzīlīšu attāluma 64 mm ir 15 Δ. Līdz ar to “norma” AK/A vērtībai ir: akomodācijas konverģence/akomodācija = $15/2,5 = 6:1$, ko var attēlot arī kā 6 Δ/D. Tas nozīmē, ka uz katru akomodācijas stimulam nepieciešamo dioptriju nepieciešamas 6 Δ akomodatīvās konverģences. Jāņem vērā, ka tā ir atkarīga no akomodatīvās konverģences lieluma. (Grosvenor, 2007)

Savukārt vēsturiski par AK/A normu tiek uzskatīta no 3:1 līdz 5:1 attiecība atkarībā no pacienta starpzīlīšu attāluma. Šī teorētiskā norma ir spēkā, ja pieņem, ka pacients ar starpzīlīšu attālumu 60 mm viena metra attālumā konverģē sešas prizmatiskās dioptrijas, no kurām vienu trešdaļu (2 prizmu dioptrijas) aizņem toniskā, proksimālā un fuzionālā konverģence, bet divas trešdaļas (4 prizmu dioptrijas) atkarīgas no akomodatīvās konverģences. Līdz ar to par vidējās normas vērtību var uzskatīt 4:1 (Hughes, 1967). Augstas un zemas AK/A vērtības norāda uz binokulārās redzes problēmām. Scheiman and Wick par sagaidāmo normas AK/A vērtību uzskata $4:1 \pm 2$. Tā kā viens no kļūdu rašanās iemesliem mērījumos ir nekontrolēta akomodācija, veicot AK/A mērījumus, jāpārliedzinās, ka izmantotajam simbolam ir detaļas, kas liek sistēmai akomodēt. (Scheiman, 2008)

AK/A mērījumu atšķirības var rasties izmantotā heteroforiju testa dēļ. Ar Maddox testu iegūtās AK/A vērtības ir zemākas nekā ar van Graefe testu iegūtās. Maddox testā izmantotais gaismas zīmulis ir vājš akomodatīvais stimul, tāpēc tajā tiek iegūta lielāka akomodācijas atbilde. Šo testu vājā akomodatīvā stimula dēļ neiesaka izmantot tuvuma heteroforijas novērtēšanai. Mainīgā akomodācija var izmainīt akomodatīvo konverģenci un uzrādīt ļoti nestabilu AK/A. Lai nodrošinātu stabilu akomodatīvo atbildi, Escalante and Rosenfield iesaka modificētā Thorington un Van Graefe testu laikā pievienot stimulam tekstu, kas ir tādā pašā izmērā kā testa stimul, un pacientam būtu jālasa teksts pirms heteroforijas mērījuma. Pētnieki iesaka stimulu AK/A izvērtēšanai izmantot modificēto Thorigton metodi, veicot vismaz trīs mērījumus. (Escalante, 2006)

Bhoola et al 1995. gadā noteica AK/A mērījumiem labu atkārtamību. Šai pētījumā dalībniekiem vecumā no 20 līdz 40 gadiem AK/A lielums palielinājās. 20 gados tas tika noteikts aptuveni $3,5 \Delta/D$, bet 40 gados – $6,0 \Delta/D$, gadā AK/A palielinājums tika noteikts aptuveni $0,126 \Delta/D$. Tas tika saistīts ar palielinātām ciliārā muskuļa kontrakcijām, kas nepieciešamas akomodācijas izmaiņu kompensēšanai pieaugot pacienta vecumam, vai toniskās akomodācijas un verģences sistēmas adaptācijas izmaiņām. (Bhoola, 1995)

Jimenez et al 6 līdz 12 gadus vecu bērnu populācijā Spānijā novēroja statistiski nozīmīgu atšķirību AK/A mērījumos dažādos vecumos, taču klīniski atšķirība bija $\leq 0,50 \Delta/D$ gradientu metodei un $\leq 1,00 \Delta/D$ aprēķinu metodei. Šīs atšķirības nav klīniski nozīmīgas. Jimenez et al noteica references vidējo vērtību kā $5 \pm 0,9$ aprēķinu metodei un $2,2 \pm 0,8$ gradientu metodei. (Jimenez R. R., 2004) Babinsky et al pētījumā AK/A vidējā vērtība tika noteikta $2,1 \Delta/D$ bērniem un $3,1 \Delta/D$ pieaugušajiem. Novērots nozīmīgs AK/A pieaugums palielinoties cilvēka vecumam. (Babinsky, 2015)

1.3. Datorizētie heteroforiju testi

Pēc Pasaules Veselības Organizācijas datiem pasaulē 2019. gadā no 7,7 miljoniem iedzīvotāju aptuveni 2,2 miljoniem cilvēku ir kādi redzes traucējumi. Vismaz 1 biljonam cilvēku agrīni atklājot traucējumus, tos varētu veiksmīgi ārstēt un samazināt to ietekmi uz cilvēka dzīves kvalitāti. Manuāli veicami redzes, tostarp heteroforiju testi ir ļoti subjektīvi, var būt laiktietlīgi un nepieciešams specifisks aprīkojums, tie atkarīgi no optometrista prasmēm testu veikt un pacienta spējas saprast un precīzi izpildīt norādījumus. Tāpēc tie bieži vien nav piemēroti jaunāka vecuma bērniem. Lai izvairītos no kļūdām testu veikšanā un procesa paātrināšanai, tiek veidoti datorizētie redzes testi.

Datorizētie testi ir datorprogrammas, kurās jāpilda uzdevumi un programma attiecīgi aprēķina testa iznākumu optometrista vietā. Datorizēti testi izstrādāti jau pagājušā gadsimta otrajā pusē. 1999. gadā veikts pētījums par tolaik jaunu programmu redzes skrīningā skolas vecuma bērniem, kurā bija iespējams novērtēt tāluma redzes asumu un stereoredzi. Tests uzrādīja efektīvu, jutīgu metodi skrīninga veikšanai. Datorizētajās programmās var tikt noteikts tāluma redzes asums, stereoredze (Thomson, 1999), heteroforiju atšķiršana no tropijām, to lielums (Yehezkel, 2018). Daži datorizētie testi nodrošina ātru, objektīvu alternatīvu šķielēšanas novērtēšanai, ko pierāda arī veiksmīgi pētījumi pēdējo gadu laikā, taču visbiežāk tie ir balstīti acu kustību reģistrācijā. Šādi datorizētie testi uzrāda visai augstu sensitivitāti, pat 93,8% un specifiskumu – 96,1%, secinot, ka datorizētie testi nodrošina uzticamus rezultātus redzes pārbaudēs. (Thomson, 1999)

Daudzi datorizētie redzes funkciju testi ir balstīti uz acu kustību izsekošanu. 2018. gada pētījumā Izraēlā, izmēģinot datorizēto testu EyeSwift uz 69 pirmskolas un skolas vecuma bērniem, tika salīdzināts manuāli veikts aizklāšanas un prizmu alternējošais aizklāšanas tests ar datorizēto testu. Datorizētais tests bija uz acu kustībām balstīts šķielēšanas novērtēšanas tests, kas ieguva informāciju par katras acs skatiena pozīciju izmantojot radzenes atstarošanās refleksus un zīlītes refleksu. Ar testu var noteikt heteroforiju bērniem, tās tipu, apjomu, kā arī atšķirt heteroforiju no tropijas. Gan horizontālajai, gan vertikālajai nobīdei tika noteikta augsta korelācija, visos gadījumos sistēma noteica nobīdes veidu precīzi. Automatizētais tests vidēji ilga 46 sekundes un tika secināts, ka to var izmantot precīzai heteroforijas novērtēšanai bērniem vecumā no 3 gadu vecuma. Mērot heteroforijas manuāli, mērījuma solis pie prizmām virs 20Δ ir 5Δ , bet automatizētā sistēma ir spējīga noteikt šķielēšanas leņķi ar 1Δ soli. (Yehezkel, 2018)

Datorizēti iespējams noteikt arī heteroforiju lielumu deviņos skata virzienos gan acīm ar ierobežotām acu kustībām, gan acīm, kam noteikta šķielēšana. 2020. gada pētījumā datorizētā redzes pārbaudes sistēma, kas arī balstīta acu kustību novērtēšanā, tika salīdzināta ar Hesa testu deviņos skata virzienos. Hesa tests ir ļoti noderīgs nosakot šķielēšanas leņķi un parētisko acu muskuli, kas šķielēšanu izraisa. Taču arī šim manuāli veicamajam testam pastāv cilvēciskās kļūdas iespējamība gan no optometrista, gan pacienta puses, kā arī to nevar veikt cilvēkiem ar supresiju atšķirīgo attēlu, kas demonstrēti katrai acij, dēļ. Japānā veiktajā pētījumā piedalījās jauni, veseli cilvēki ar eksoforiju un trīs pacienti, kam ar aizklāšanas testu tika noteikta šķielēšana. Tika noteikts, ka ar jauno datorizēto programmu varēja objektīvi noteikt šķielēšanu deviņos skata virzienos un mērījumiem bija laba atkārtojamība. (Iwata, 2020)

Par datorizētiem testiem heteroforijas novērtēšanai, kas balstīti nevis acu kustību izsekošanā, bet dihoptiskās bildēs un apskatāmas ar sarkan-zaļiem filtriem, pētījumu ir mazāk. 2013. gadā datorizētais tests veidots vergences darbības novērtēšanai. Tika secināts, ka datorizētais tests ir pārāk sarežģīts bērniem (7 līdz 17 gadi) un ir nepieciešami vairāk pētījumi, lai datorizētajam testam aprobētu normas un ar tā palīdzību varētu diagnosticēt problēmas. (Liepa, 2013)

2017. gadā tika veikts pētījums par datorizēto testu diplopijas novērtēšanai. Tika izmantota sarkanā stikla testa versija datorā deviņos skata virzienos un rezultāti salīdzināti ar Hesa testu. Datorizētais sarkanā stikla tests palīdz noteikt, lokalizēt un novērtēt heteroforijas apjomu. Dalībniekam tika fiksēta galvas pozīcija, lai iespējama galvas pagriešana neietekmētu rezultātu, labās acs priekšā pievienots sarkanais stikls, dalībnieks sēdēja tieši pretī datora ekrānam, uz kura 8 mm mazs balts aplis jauktā kārtībā parādījās deviņas skata pozīcijās. Sarkanā stikla dēļ, ja dalībniekam ir diplopija, viņš ar vienu aci redz sarkanu punktu, ar otru aci – baltu. Balstoties pacienta atbildēs par punktu novietojumu, programma spēja aprēķināt horizontālo un vertikālo nobīdi. Tika secināts, ka datorizētais sarkanā stikla tests var nebūt pietiekami sensitīvs nopietnas diplopijas noteikšanai, kā arī tā rezultātus var ietekmēt galvas kustības. Tomēr tests ir noderīgs binokulārās diplopijas izvērtēšanā, spēj noteikt diplopijas lielumu un tā atkārtojamība ir ļoti laba. (Yoo, 2017)

Veiksmīgi bijuši pētījumi par datorizētā testa izmantošanu ne tikai vertikālo un horizontālo, bet arī ciklotropiju mērīšanā (Kim, 2017) (Awadein, 2013). Dalībniekam, skatoties caur sarkanzaļiem filtriem, jāskatās uz Microsoft Office PowerPoint izveidotā prezentācijā attēlotām divām līnijām un jāatbild, vai līnijas ir paralēlas, vai kāda no tām ir slīpa. Līnijas attēlotas uz koncentriskiem apliem, kas kalpo kā fiksācijas mērķis. Katrā prezentācijas slaidā tika attēlota vienas līnijas slīpuma pakāpeniska maiņa. Dalībniekam jāziņo, kad abas līnijas viņš redz paralēli, pēc atbilstošā slaida iespējams diagnosticēt torsijas lielumu. Datorizētais torsiju tests uzrādīja labu atkārtojamību un augstu jutību, kā arī tas ir viegli veicams. Pētījumā secināja, ka šis datorizētais tests uzrāda pat labākus rezultātus nekā klasiskais dubultais Maddox Rod tests. (Kim, 2017)

Ir izveidoti tādi datorizētie testi kā Vutest, City screening system, Titmus 2, Ergovision un Optec 2500. Taču Spānijā, Francijā un Itālijā izmantotais Visiotest uzrāda augstus viltus pozitīvos rezultātus (>50%), īpaši novērtējot stereoredzi un heteroforijas. Molina-Torres et al Spānijā salīdzināja divas redzes skrīninga sistēmas – Optec 6500 (Stereo Optical) un Visiotest (Essilor) ar “zelta standartu” testiem. Tika novērtētas dažādas redzes funkcijas, tostarp arī tuvuma heteroforijas ar alternējošo aizklāšanas testu un šie rezultāti salīdzināti ar datorizēto testu rezultātiem. Tuvuma heteroforijas testam abos datorizētajos testos tika noteikta viszemākā sensitivitāte. Datorizētajos testos un “zelta standarta” testos iegūtajiem rezultātiem tika noteikta vāja atbilstība. Pētījumos iepriekš viltus pozitīvi rezultāti iegūti vairāk nekā 50% gadījumu, šai pētījumā viltus pozitīvi rezultāti tika uzrādīti mazāk nekā 50% gadījumu, kas var būt saistīts ar skrīninga testu uzlabošanu laika gaitā. Pētījumā tiek izteiktas bažas par šādu datorizēto testu ticamu izmantošanu praksē. (Molina-Torres, 2016)

2. METODE

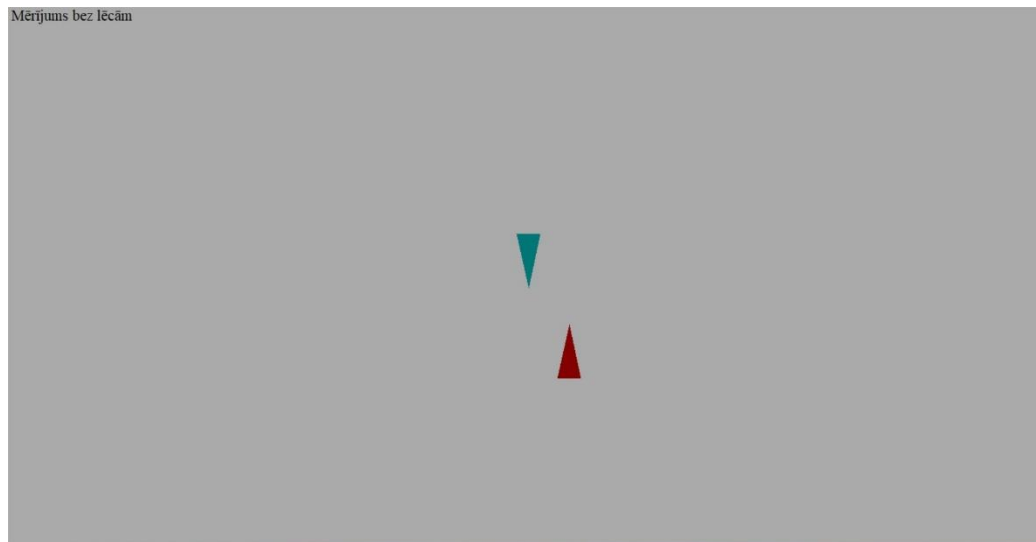
2.1. Pētījuma dalībnieki

Pētījumā piedalījās 75 brīvprātīgie dalībnieki – 6 vīrieši, 69 sievietes, Latvijas Universitātes studenti un pasniedzēji, ar vidējo vecumu 22 ± 5 gadi. Dalībnieki pārbaudes sākumā mutiski atbildēja uz jautājumiem par vecumu un izmantoto redzes korekciju. Ja dalībniekam pētījuma dienā bija redzes korekcija, tā tika izmantota pētījuma laikā. Ar mērķi novērtēt EYEDOO testa efektivitāti neatkarīgi no pacienta refrakcijas, netika noteikti ierobežojumi pētījuma dalībnieku redzes korekcijai, taču no pētījuma tika izslēgti presbiopi. Visiem dalībniekiem tika veikta subjektīvā redzes pārbaude ar klasiskajiem klīniskajā praksē izmantotajiem testiem, kā arī veikts datorizētais tests. No 75 dalībnieku datiem trīs dalībniekiem netika datorizētais tests veikts vispār, tādēļ šie dalībnieki tika izslēgti no tālākas analīzes.

2.2. Pētījuma iekārtas, izmantotie testi un metodes

Pētījumā tika noteikts heteroforiju lielums un veids ar standartmetodi – modificēto Thorington testu un AK/A ar gradienta metodi, pielietojot +2,00 D lēcas. Dalībniekam tika noteikta horizontālā heteroforija tuvumā, viņš ziņoja, kur, attiecībā pret spuldzīti, novietota sarkanā līnija – pa labi vai kreisi no spuldzītes, un kuru ciparu tā šķērso. Cipara lielums un līnijas atrašanās konkrētā pusē no gaismas punktiņa kartē apzīmē heteroforijas veidu un lielumu. Pēc tam šis pats mērījums tika veikts pieliekot +2,00 D lēcas un noteikta izmaiņa heteroforijas lielumā. Pēc iegūtajiem mērījumiem aprēķināta AK/A vērtība ar gradientu metodi. Dalībnieks pārbaudes sākumā tika instruēts par testu izpildi, viens modificētā Thorington mērījums un trīs datorizētā testa mērījumi tika veikti jauktā secībā.

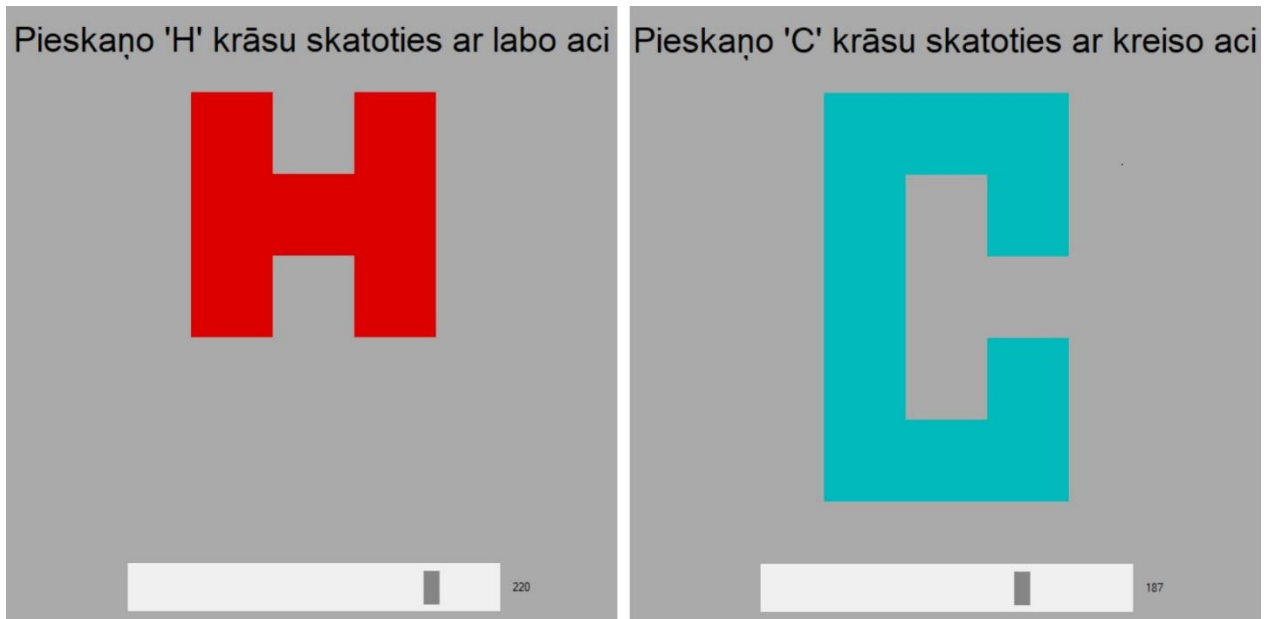
Datorizētais tests tika veikts ar EYEDOO redzes funkciju novērtēšanas ierīces testu heteroforijas un AK/A novērtēšanai. EYEDOO tests izstrādāts LIAA un LU projekta Nr. KC-PI-2020/10 “Redzes skrīninga un treniņu iekārtas izveide” ietvaros. EYEDOO ierīce paredzēta redzes funkciju novērtēšanai – redzes asums tālumā, akomodācija, binokulārā redze, krāsu redze, acu muskuļu sadarbība. Funkcijas tiek novērtētas secīgos testos, nākotnē izmantojot lēcu-filtru ierīci (LFI), taču šī pētījuma ietvaros testu veikšanai nepieciešamās darbības – sarkanu/ciānzaļu filtru uzlikšana, papildus lēcu pievienošana tika veikta manuāli. Ir paredzēts, ka pārbaudes beigās tiek sniegts slēdziens par pacienta redzes funkcijām. EYEDOO testa atkārtojamības novērtēšanai ar datorizēto testu tika veikti trīs mērījumi gan heteroforijai, gan AK/A lielumam. 2.1. attēlā atainots EYEDOO testa stimuluss heteroforijas un AK/A noteikšanai – sarkans un ciānzaļš trijstūris. Dalībniekam ar sarkanu un ciānzaļu krāsu filtru brillēm bija jāsavieto abi trijstūri viens zem otra heteroforiju noteikšanai un, izmantojot +2,00 D lēcu, jāizpilda šis pats uzdevums AK/A noteikšanai. Datorizētajā testā programmas algoritms izdeva rezultātu par heteroforijas un AK/A lielumu.



2.1. att. Datorizētā EYEDOO testa stimuluss heteroforijas un AK/A novērtēšanai

EYEDOO ierīci iespējams pievienot jebkuram datoram, veicot atbilstošu kalibrāciju. Šī pētījuma ietvaros katram pētījuma dalībniekam pirms datorizētā testa veikšanas bija jāveic testa kalibrācija ar sarkanā un ciānzaļā filtra brillēm. Pacients, atrodoties 40 cm attālumā no ekrāna nomērīja ar lineālu uz ekrāna attēloto kalibrācijas līniju un tās izmēru milimetros (mm) ievadīja atbilstošajā testa laukā. Ar kalibrācijas palīdzību programma aprēķina redzes asuma parametrus tālumā un tuvumā. Tiek monokulāri kalibrēti krāsu filtri. 2.2. attēlā redzami kalibrēšanas stimuli.

Pacientam ir uzdevums labajai acij sarkano "H" un kreisajai acij ciānzaļo "C" burtu sapludināt ar fonu. Testa laikā pacients izmanto savu esošo korekciju, ja tāda ir.



2.2. att. Sarkanā un ciānzaļā krāsu filtra kalibrācijas stimuli

Heteroforijas testēšanas laikā labajai acij priekšā tiek novietots sarkans filtrs, bet kreisajai – ciānzaļš. Tests notiek 40 cm attālumā, pirms testa pacientam jāapstiprina, ka viņš uz ekrāna redz divus trijstūrus. Ja redz tikai vienu trijstūri, testu tālāk neveic, bet datu failā tiek ierakstīts, ka heteroforijas apjomu nevar novērtēt. Redzot divus trijstūrus, tiek sākts tests. Uz ekrāna atrodas nekustīgs ciānzaļš trijstūris un kustīgs sarkans trijstūris ar pretēji vērstām virsotnēm. Uzdevums ir sarkano trijstūri ar peles vai tastatūras palīdzību novietot tā, lai tā virsotne atrastos tieši zem ciānzaļā trijstūra virsotnes. Ja abas virsotnes ir precīzi savietotas vai nobīde nepārsniedz 1Δ , kas pieņemta par normu, datu failā rezultāts tiek ierakstīts kā "ortoforija" vai heteroforijas lielums prizmatiskajās dioptrijās. Ja mērījums pārsniedz 1Δ , tas tiek veikts otro reizi. Rezultāts ir abu mērījumu vidējā heteroforijas vērtība.

AK/A tiek noteikts izmantojot šo pašu testu, taču tikai gadījumā, ja heteroforiju testā ir iegūts rezultāts. Papildus krāsu filtriem tiek izmantotas arī +2,00 D lēcas. Pacients aplūko to pašu testa stimulu un uzdevums ir tāds pats – savietot abu trijstūru virsotnes. Ja iegūst rezultātu – ekso- stāvoklis kļūst lielāks vai nemainās, vai ezo- samazinās vai nemainās, datu failā tiek fiksēts rezultāts – AK/A lielums. Par sākotnējo AK/A lieluma kritēriju izvēlēta AK/A attiecība 3:1. Ja ar datorizēto testu noteiktā dalībnieka AK/A vērtība to pārsniedz, ir nepieciešama padziļināta redzes pārbaude. Stāvoklis, kad ekso- samazinās vai ezo- palielinās, tiek uzskatīts par kļūdainu un

programma veic atkārtotu mērījumu. Ja arī otrais mērījums ir kļūdainš, datu failā tiek norādīts, ka nav iespējams novērtēt AK/A lielumu.

Iegūtajos rezultātos abās metodēs eksoforija tika attēlota kā negatīvs skaitlis, bet ezoforija kā pozitīvs. Tie datorizētā testa mērījumu dati, kas tika iegūti ticami visās trīs mērījumu reizēs, ar t-testa palīdzību tika salīdzināti, lai noteiktu to atkārtojamību. Modificētā Thorington un datorizētā testa rezultātu salīdzināšanai tika izmantota Bland – Altman metode. Tā ir grafiska metode, ar kuras palīdzību iespējams salīdzināt divus mērījumus, kam ir viens un tas pats mainīgais. Tā tika veikta ar mērķi noteikt, vai abas metodes ir salīdzināmas. Lai noteiktu kritiskās vērtības heteroforijas un AK/A datorizētajiem mērījumiem, pie kuriem EYEDOO tests vislabāk uzrāda, vai pacientam ir vai nav nepieciešams veikt padziļinātu redzes pārbaudi, tika analizēti visi dati neatkarīgi no tā, vai datus izdevās iegūt un vai tie ir ticami vai nav. Ja datorizētais tests uzrādīja N/V vai neticamu rezultātu (ar +2,00 D lēcu iegūta lielāka ezoforija), tas tika uzskatīts par tādu, kas pacientam uzrāda problēmu. Tika aprēķināta testa jutība un specifiskums pie dažādām kritiskajām vērtībām.

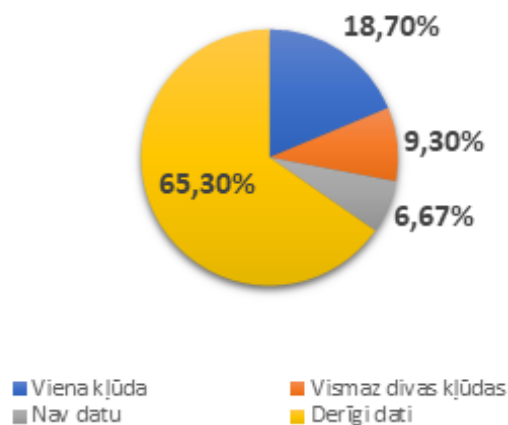
Analīzei tika apskatīti visi dati, kuri tika iegūti mērījumu rezultātā neatkarīgi no tā, vai tie bija ticami vai nebija. Ar klasisko metodi – modificētā Thorington testu iegūtie dati tika sadalīti tādos, kas atbilst normālas heteroforijas lielumam populācijā un tādos, kas neatbilst. Par normālu tika uzskatīta ar modificēto Thorington testu noteiktā heteroforija $3 \pm 5 \Delta$ eksoforija. Normāls heteroforijas lielums tika iegūts 53 dalībniekiem. Mērījumi, kas neietilpa šai diapazonā, tika uzskatīti par ārpus normas un tādi tika noteikti 19 dalībniekiem.

Ar mērķi atrast robežvērtību, pie kuras datorizētais EYEDOO tests vislabāk uzrāda pacientus, kam varētu būt binokulārās redzes traucējumi, datorizētajā testā iegūtie heteroforijas dati tika analizēti pie šādām robežvērtībām – 0,125 Δ , 0,25 Δ , 0,50 Δ , 0,75 Δ , 1,00 Δ un 2,25 Δ . Tā kā datus nebija daudz mērījumu diapazonā starp 1,00 un 2,25 Δ , tad vērtības starp šīm kritiskajām vērtībām netika apskatītas atsevišķi. Ja datorizētajā testā iegūtais rezultāts nepārsniedza noteikto kritisko vērtību, tika uzskatīts, ka tests ir negatīvs – pacientam nav heteroforija ārpus normām, kuru būtu nepieciešams pārbaudīt padziļināti. Ja pārsniedza, tad tests tika uzskatīts par pozitīvu – pacientam ir heteroforija, kuru nepieciešams pārbaudīt padziļināti. Ņemot vērā šos atlasē kritērijus tika salīdzināts, cik gadījumos datorizētā testa rezultāti pie katras no datorizētā testa kritiskajām vērtībām sakrīt – patiesi mērījums ir ārpus normas vai ir normas robežās salīdzinot ar klasiskajā metodē iegūto rezultātu.

No 72 pētījuma dalībnieku iegūtajiem datiem tika veikta analīze jutības un specifiskuma noteikšanai arī AK/A mērījumiem. Dati tika novērtēti kā norma, ja AK/A klasiskajā testā bija mazāks vai vienāds ar $3 \Delta/D$. Datorizētajā testā mērījumu jutība un specifiskums tika novērtēts pie šādām kritiskajām vērtībām – 0,125, 0,25, 0,50, 1 un $2 \Delta/D$. Ja datorizētais mērījums nepārsniedz kritisko vērtību, tests tiek uzskatīts par negatīvu, bet, ja pārsniedz, tad par pozitīvu – nepieciešama padziļināta redzes pārbaude.

3. REZULTĀTI

Pētījuma laikā tika iegūti dati no 75 dalībniekiem. 3.1. attēlā attēlots iegūto derīgo un nederīgo datu sadalījums. Pieciem dalībniekiem (6,7%), kam tika nomērīts heteroforijas lielums un AK/A ar standarta metodi, netika iegūti vai trūka mērījumu dati ar datorizēto testu, trim no viņiem datu nebija vispār, tāpēc šo cilvēki dati netika izmantoti analīzē. 9,3% dalībnieku divos vai vairāk mērījumos datorizētajā testā tika iegūti neiespējami rezultāti – pieliekot +2,0 D lēcu tika iegūta lielāka ezoforija. 18,7% dalībnieku ieguva vienu neiespējamu rezultātu no trim mērījumiem. Ja kādā no trim datorizētajiem mērījumiem iegūts neticams rezultāts, tālākai datu analīzei atkārtotamības noteikšanai un testu salīdzināšanai šie rezultāti tika izslēgti. Šiem dalībniekiem gan bija iespējams izpildīt testu ar standartmetodi, kā arī aprēķināt AK/A lielumu. Ar datorizēto testu analīzei derīgi dati – visos mērījumos iegūti ticami rezultāti, iegūti 49 pētījuma dalībniekiem – 65,3 % gadījumu.



3.1. att. Mērījumos iegūto analīzei derīgo un nederīgo datu sadalījums

Lai noteiktu datorizētā testa kritiskās vērtības, pie kurām tests vislabāk uzrādītu pacientus, kam ir aizdomas par binokulārās redzes traucējumiem un ir nepieciešama padziļināta redzes pārbaude, analīzei tika izmantoti pilnīgi visi datorizētā testa dati, kuros rezultāts iegūts kaut vienā mērījumā. Analīzei izmantoti arī dati, kuros iegūti neticami rezultāti, tāpēc kopumā analizēti 72 dalībnieku rezultāti.

EYEDOO testa atkārtotam noteikšanai tas tika veikts trīs reizes. Trīs testa izpildes rezultāti, kuros iegūts ticams rezultāts, tika iegūti 49 gadījumos. Šie dati tika savstarpēji salīdzināti ar Friedman testa palīdzību. Starp trim heteroforijas mērījumiem bez (+2,00 D) (F (2) = 8,72, p = 0,013) un ar +2,00 D lēcām (F (2) = 9,81, p = 0,007) noteikta statistiski nozīmīga atšķirība. Starp trim AK/A mērījumiem nav noteikta statistiski nozīmīga atšķirība (F (2) = 2,66, p = 0,265).

No trim mērījumiem tika aprēķinātas vidējās vērtības heteroforijai bez un ar +2,00 D lēcu, kā arī AK/A lielumam, kas tālāk tika izmantotas statistikas analīzei ar modificētajā Thorington metodē iegūtajiem rezultātiem. Modificētā Thorington un EYEDOO testa heteroforijas rezultātiem bez pieliktas +2,00 D lēcas nav normāls datu sadalījums (Shapiro-Wilk test, p = 0,005). Mann – Whitney U tests norāda, ka heteroforijas mērījumi, kas iegūti ar modificēto Thorington testu (Vid. ± SD: -2,6 ± 6 Δ) novērtē statistiski nozīmīgi lielāku eksodeviāciju nekā EYEDOO tests (Vid. ± SD: -0,4 ± 1,9 Δ) (U = 728, z = -3,35, p = 0,008). Modificētā Thorington tests un EYEDOO heteroforiju tests neuzrāda līdzīgus heteroforijas rezultātus.

Ar pievienotu +2,00 D lēcu iegūtajiem heteroforijas rezultātiem nav iegūts normāls datu sadalījums (Shapiro-Wilk test, p = 0,012). Arī heteroforijas mērījumiem ar pieliktu +2,00 D lēcu Mann – Whitney U tests norāda, ka modificētais Thorington tests (Vid. ± SD: -7,8 ± 6 Δ) uzrāda statistiski nozīmīgi lielāku eksodeviāciju nekā EYEDOO tests (Vid. ± SD: -2,4 ± 3,4 Δ) (U = 592,5, z = -4,32, p < 0,00001). Arī ar pieliktu +2,00 D lēcu abi testi neuzrāda līdzīgus heteroforijas rezultātus, atšķirība starp testiem ir statistiski nozīmīga.

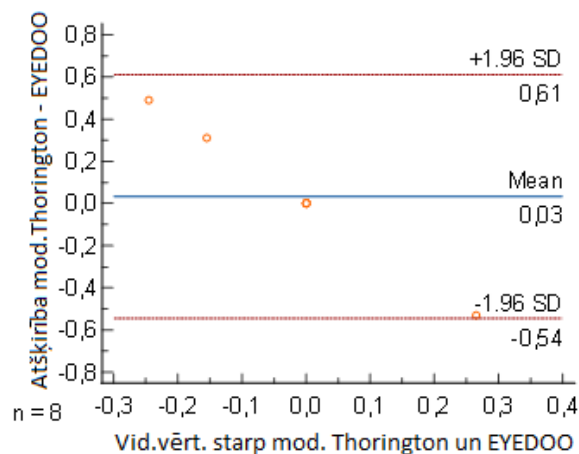
AK/A rezultātiem, kas noteikti ar klasisko – gradientu metodi un EYEDOO testu AK/A novērtēšanai, nav normāls datu sadalījums (Shapiro-Wilk test, p = 0,023). Mann – Whitney U tests norāda, ka gradientu metode (Vid. ± SD: 1,9 ± 1,4 Δ) uzrāda statistiski nozīmīgi lielāku AK/A vērtību nekā EYEDOO AK/A tests (Vid. ± SD: 0,8 ± 1 Δ) (U = 466, z = 5,22, p < 0,00001).

3.1. Bland – Altman analīze

EYEDOO testā iegūtie heteroforijas dati bez pieliktās +2,00 D lēcas un dati ar lēcu tika sadalīti trīs grupās – ezoforijas, eksoforijas un ortoforijas grupā. Dati šajās grupās tika sadalīti balstoties uz modificētajā Thorington testā iegūtajiem rezultātiem. Mērījumā bez pieliktās +2,00 D lēcas 16,3% dalībnieku tika iegūta ezoforija (2 – 18 Δ ezoforija, modificētais Thorington tests), 65,3 % dalībnieku bija eksoforija (1 – 22 Δ eksoforija, modificētais Thorington tests), bet 16,3% ortoforija. Ja heteroforijas mērījumu vidējā vērtība EYEDOO testā nepārsniedza 0,25 Δ, dati tika uzskatīti par vienādiem ar 0 un mērījums tika uzskatīts par ortoforiju. Tālākai analīzei ar Bland – Altman testa palīdzību tika salīdzināti modificētajā Thorington testā un datorizētajā EYEDOO testā iegūtie heteroforiju lielumi katrā no grupām.

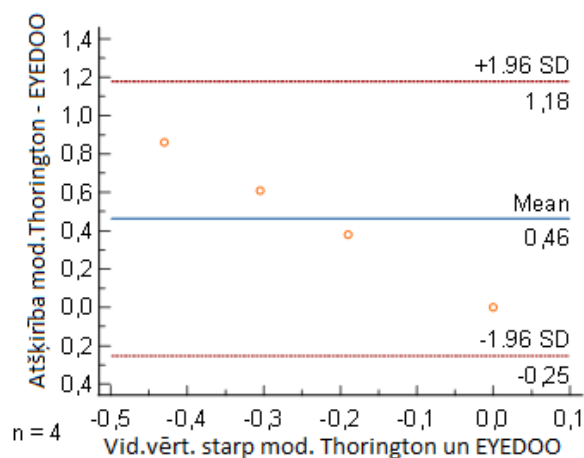
3.1.1. Bland – Altman testa rezultāti bez un ar +2,00 D lēcu dalībniekiem ar ortoforiju

Modificētā Thorington testa mērījumā bez pieliktas +2,00 D lēcas ortoforija noteikta astoņos gadījumos (Vid. ± SD: 0 ± 0 Δ). Vidēji EYEDOO testa (Vid. ± SD: -0,03 ± 0,30 Δ) rezultāts uzrāda par 0,3 Δ lielāku eksodeviāciju nekā modificētais Thorington tests. Ortoforijas gadījumā, ja pieņem, ka 1 Δ atšķirība nav klīniski nozīmīga, datorizētais tests uzrāda modificētajam Thorington testam pielīdzināmus rezultātus. 3.2. attēlā redzams, ka Bland – Altman testā visi mērījumi ir divu standartnoviržu ietvaros.



3.2. att. Bland – Altman tests ortoforijas mērījumiem bez lēcas

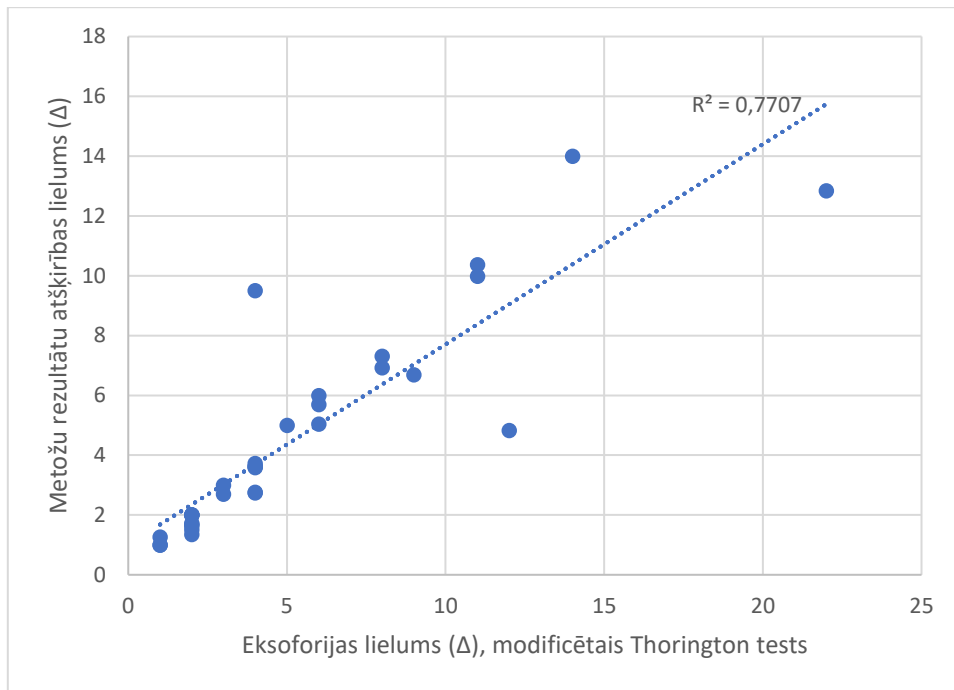
Mērījumā ar pieliktu +2,00 D lēcu modificētajā Thorington testā ortoforija noteikta četros gadījumos (Vid. \pm SD: $0 \pm 0 \Delta$). Ortoforijas gadījumā EYEDOO testa (Vid. \pm SD: $-0,46 \pm 0,37 \Delta$) rezultāts uzrāda par $0,46 \Delta$ lielāku eksodeviāciju nekā modificētā Thorington tests. Atšķirība starp abos testos iegūtajiem rezultātiem nepārsniedza 1Δ , kas nav klīniski nozīmīga, tāpēc EYEDOO testa rezultāts ar +2,00 D lēcu ortoforijas gadījumā arī uzskatāms par ticamu. Bland – Altman testā visi mērījumi ir divu standartnoviržu ietvaros (skat. 3.3. attēlu).



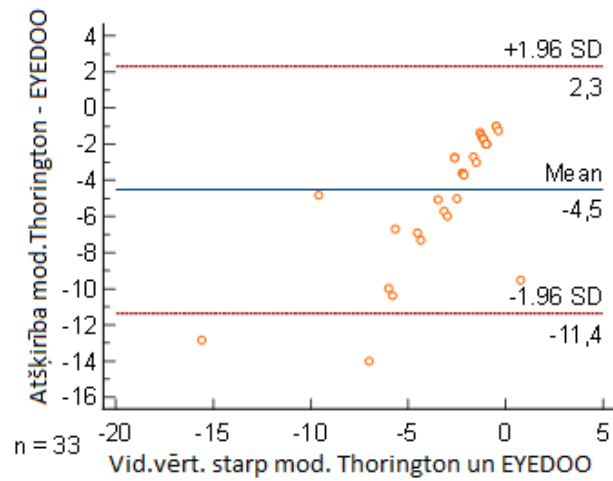
3.3. att. Bland – Altman tests ortoforijas mērījumiem ar +2,00 D lēcu

3.1.2. Bland – Altman testa rezultāti bez un ar +2,00 D lēcu dalībniekiem ar eksoforiju

Mērījumā bez pieliktas lēcas eksoforija noteikta 33 gadījumos. Modificētais Thorington tests (Vid. \pm SD: $-5,24 \pm 4,58 \Delta$) uzrāda par $4,52 \Delta$ lielāku eksodeviāciju nekā EYEDOO tests (Vid. \pm SD: $-0,72 \pm 2,25 \Delta$). Iegūtajiem eksoforijas lielumiem noteikta statistiski nozīmīga atšķirība ($t(32) = 7,4$, $p < 0,001$). Attēlā 3.4. attēlotajos datos vērojama tendence, ka jo lielāka ir patiesā ar modificēto Thorington testu noteiktā eksoforija dalībniekam, jo lielāka ir rezultātu atšķirība starp abām metodēm. Vienā gadījumā pat dalībniekam ar modificēto Thorington metodi noteikta 4Δ eksoforija, taču EYEDOO tests uzrādījis $5,51 \Delta$ ezoforiju. Savukārt attēlā 3.5. attēlotajā Bland – Altman testā divi gadījumi ir ārpus divām standartnovirzēm, jo atšķirība starp metožu rezultātiem ir lielāka par 12Δ . Vienam no šiem dalībniekiem modificētais Thorington tests uzrādīja 14Δ eksoforiju, taču EYEDOO tests – ortoforiju.

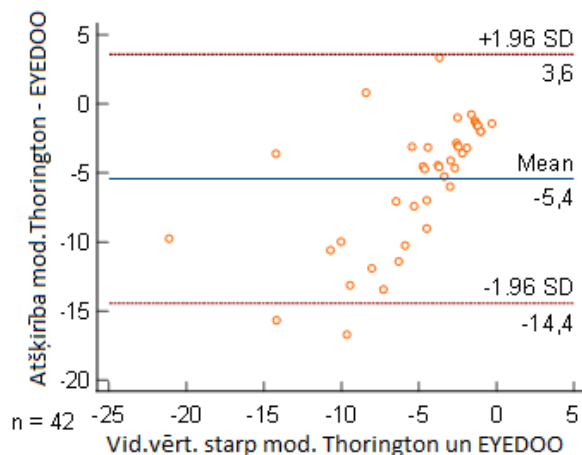


3.4. att. Metožu rezultātu atšķirības atkarība no eksoforijas lieluma, bez lēcas



3.5. att. Bland – Altman tests eksoforijas mērījumiem bez lēcas

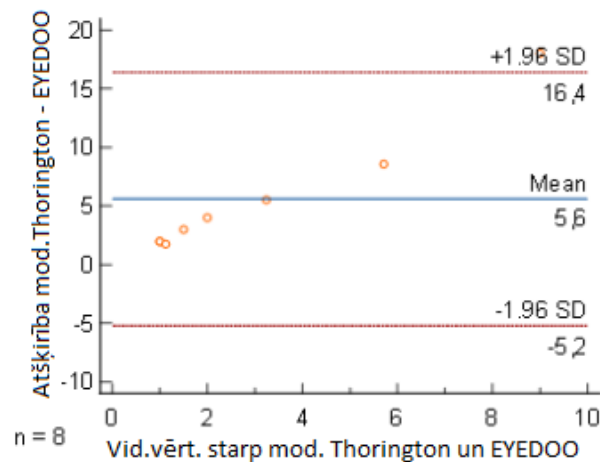
Mērījumā ar pieliktām +2,00 D lēcām modificētajā Thorington testā eksoforija noteikta 42 gadījumos (Vid. \pm SD: $-7,77 \pm 6,02 \Delta$). Eksoforijas grupā ar pieliktu lēcu EYEDOO tests (Vid. \pm SD: $-2,36 \pm 3,36 \Delta$) uzrāda par vidēji $5,4 \Delta$ mazāku eksodeviāciju nekā modificētā Thorington tests. Lielākoties visiem dalībniekiem EYEDOO tests uzrādīja mazāku eksoforiju. Taču divos gadījumos EYEDOO tests uzrādīja lielāku eksoforiju ar pielikto +2,00 D lēcu salīdzinot ar modificētā Thorington testu. Vienā no šiem gadījumiem atšķirība starp abu metožu uzrādītajiem eksoforiju lielumiem nepārsniedza 1Δ , kas nav klīniski nozīmīga atšķirība. Otrā gadījumā atšķirība bija lielāka – modificētā Thorington tests uzrādīja 2Δ eksoforiju, bet EYEDOO tests uzrādīja $5,35 \Delta$ eksoforiju. Arī eksoforijas gadījumā ar pieliktu lēcu vērojama tendence, ka, palielinoties heteroforijas lielumam, palielinās arī rezultātu atšķirības lielums starp metodēm. 3.6. attēlā redzamajā Bland – Altman testā divi gadījumi ir ārpus divām standartnovirzēm. Šiem dalībniekiem datorizētais tests uzrādīja par vismaz 15Δ mazāku eksodeviāciju nekā modificētā Thorington tests.



3.6. att. Bland – Altman tests eksoforijas mērījumiem ar +2,00 D lēcu

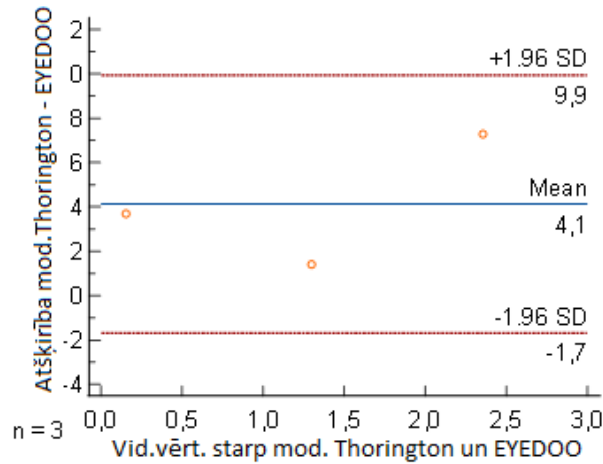
3.1.3. Bland – Altman testa rezultāti bez un ar +2,00 D lēcu dalībniekiem ar ezoforiju

Modificētā Thorington testa mērījumā bez pieliktām lēcām ezoforija iegūta astoņos gadījumos (Vid. \pm SD: $5,88 \pm 5,62 \Delta$). Ezoforijas gadījumā bez lēcas EYEDOO tests (Vid. \pm SD: $0,27 \pm 0,50 \Delta$) uzrāda par vidēji $5,6 \Delta$ mazāku ezodeviāciju nekā modificētā Thorington tests. Divos gadījumos ar modificēto Thorington testu tika noteikta liela ezoforija – 10 un 18Δ , taču šiem pašiem dalībniekiem ar EYEDOO testu tika noteikta attiecīgi $1,43 \Delta$ liela ezoforija un ortoforija. Otrajā gadījumā arī Bland – Altman testā 3.7. attēlā šis dalībnieks tiek uzrādīts kā izkritējs pārāk lielās rezultātu atšķirības dēļ. Dalībniekiem, kam ar modificētā Thorington testu tika noteikta 2 līdz 6Δ liela ezoforija, EYEDOO tests uzrādīja ortoforiju vai nelielu ezoforiju (līdz 1Δ).



3.7. att. Bland – Altman tests ezoforijas mērījumiem bez lēcas

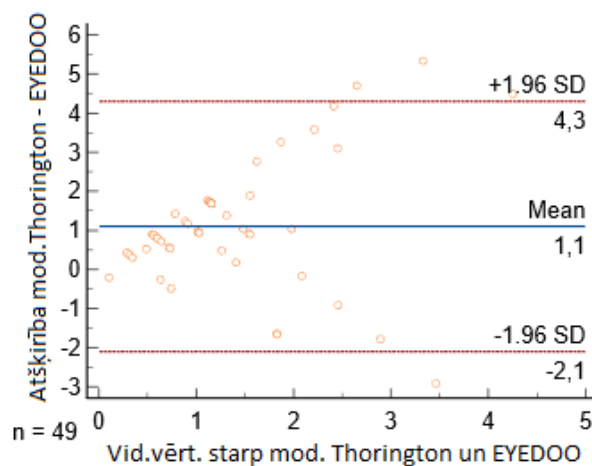
Mērījumā ar pieliktām $+2,00$ D lēcām modificētā Thorington testā ezoforija iegūta trīs gadījumos (Vid. \pm SD: $3,33 \pm 2,31 \Delta$). Visi trīs gadījumi ir dalībnieki, kuriem mērījumā bez $+2,00$ D lēcas noteikta vismaz 6Δ ezoforija ar modificēto Thorington metodi. EYEDOO tests (Vid. \pm SD: $-0,79 \pm 1,22 \Delta$) uzrāda vidēji par $4,1 \Delta$ lielāku eksodeviāciju nekā modificētā Thorington tests. Arī šajā gadījumā vērojama metožu rezultātu atšķirības atkarība no nomērītās heteroforijas lieluma. Ezoforijas gadījumā ar pieliktu $+2,00$ D lēcu Bland – Altman testā visi mērījumi atradās divu standartdeviāciju robežās (3.8. attēls).



3.8. att. Bland – Altman tests ezoforijas mērījumiem ar +2,00 D lēcu

3.1.4. Bland – Altman testa rezultāti AK/A mērījumiem

AK/A rezultātu izdevās iegūt visos 49 gadījumos. Taču pastāv statistiski nozīmīga atšķirība noteiktajam AK/A lielumam ar modificētā Thorington testu un EYEDOO testu ($p < 0,001$). Modificētais Thorington tests (Vid. \pm SD: $1,94 \pm 1,39$ (Δ/D)) uzrāda par 1,1 (Δ/D) lielākas AK/A vērtības nekā EYEDOO tests (Vid. \pm SD: $0,84 \pm 1,02$ (Δ/D)). Gandrīz pusē jeb 49% gadījumu starpība starp AK/A, kas iegūta ar modificēto Thorington testu un EYEDOO testu, nepārsniedza 1,0 Δ/D , kas nav klīniski nozīmīga atšķirība. 33% gadījumu atšķirība bija 1,0 – 2,0 Δ/D , bet 18% atšķirība bija lielāka par 2,0 Δ/D . Vērojama tendence, ka, jo lielāka ir patiesā cilvēka AK/A vērtība, jo lielāka ir iespēja, ka ar EYEDOO testu novērtētais AK/A lielums būs neprecīzs. 3.9. attēlā redzams Bland – Altman tests AK/A mērījumiem, četri mērījumi atrodas ārpus divām standartnovirzēm.



3.9. att. Bland – Altman tests AK/A mērijumiem

3.2. Datorizētā testa jutība un specifiskums heteroforijas mērijumos

Tika salīdzinātas datorizētā EYEDOO testa jutības un specifiskuma izmaiņas heteroforijas mērijumiem pie dažādām kritiskajām vērtībām. 3.1. tabulā redzami jutības un specifiskuma procentuālie lielumi mainot kritisko vērtību. Visaugstāko datorizētā EYEDOO testa jutību var sasniegt pie kritiskās vērtības 0,125 Δ , savukārt visaugstāko specifiskumu var sasniegt, ja par testa kritisko vērtību nosaka 2,25 Δ .

Lai gan EYEDOO testa kritiskajai vērtībai 2,25 Δ ir 98% iespējamība atlasīt pacientus, kam heteroforija ir robežās no 2 Δ ezoforijas līdz 8 Δ eksoforijai un nav nepieciešams padziļināta pārbaude, testa iespējas noteikt, kuram pacientam šāda pārbaude būtu nepieciešama, ir tikai 21%, kas ir vērtējama kā zema. Savukārt pie sliekšņa 0,125 Δ testa jutība – iespēja noteikt, kam tests ir pozitīvs – nepieciešama pārbaude, ir 74%, bet tos pacientus, kam nav nepieciešama pārbaude, iespēja noteikt ir tikai 21% gadījumu. Novērojams, ka jo augstāka ir testa jutība, jo zemāks ir specifiskums un otrādi – jo augstāks specifiskums, jo zemāka testa jutība.

Par kritisko vērtību heteroforijai, pie kuras EYEDOO tests varētu vislabāk norādīt nepieciešamību veikt padziļinātu redzes pārbaudi, varētu noteikt 0,50 Δ . Pie šīs kritiskās vērtības tests 53% gadījumu norāda, ka pacientam patiesi varētu būt binokulārās redzes traucējumi un ir nepieciešama padziļināta redzes pārbaude. 70% gadījumu tests uzrāda, ka pacientam patiešām nav binokulārās redzes traucējumu. Taču ne pie vienas no kritiskajām vērtībām tests neuzrāda augstu jutību un specifiskumu vienlaicīgi.

3.1. tabula

Datorizētā testa jutība un specifiskums pie dažādām heteroforijas testa kritiskajām vērtībām

Datorizētā testa kritiskā vērtība, Δ	Jutība	Specifiskums
0,125	74%	21%
0,250	63%	51%
0,500	53%	70%
0,750	37%	89%
1,000	32%	96%
2,250	21%	98%

3.3. Datorizētā testa jutība un specifiskums AK/A mērījumos

Tabulā 3.2. attēlota jutība un specifiskums AK/A mērījumiem pie dažādām kritiskām vērtībām. Vislielākā jutība novērojama pie kritiskās vērtības 0,125 Δ/D , vislielākais specifiskums pie vērtības 2 Δ/D . Jo augstāka ir jutība, jo zemāks specifiskums ir testam pie konkrētās kritiskās AK/A vērtības un otrādi – jo augstāks specifiskums, jo zemāka ir testa jutība. AK/A par kritisko vērtību, pie kuras EYEDOO tests varētu norādīt uz nepieciešamību pacientam veikt padziļinātu redzes pārbaudi, varētu noteikt 0,25 Δ/D . Pie šīs vērtības 70% gadījumu tests spēj noteikt, kad pacientam AK/A lielums pārsniedz 3:1 un ir nepieciešama padziļināta redzes pārbaude. Taču ne pie vienas kritiskās vērtības tests neuzrāda vienlaicīgi augstu jutību un specifiskumu.

3.2. tabula

Datorizētā testa jutība un specifiskums pie dažādām AK/A testa kritiskajām vērtībām

Datorizētā testa kritiskā vērtība, Δ/D	Jutība	Specifiskums
0,125	90%	23%
0,25	70%	40%
0,5	44%	64%
1	30%	76%
2	10%	87%

4. DISKUSIJA

Tiek uzskatīts, ka heteroforijas un AK/A novērtēšanai precīzais, pacientam viegli saprotamais un izpildāmais modificētā Thorington tests izmantojams kā alternatīva prizmu aizklāšanas, Maddox un von Graefe testiem. (Schroeder, 1996) (Rainey, 1997) (Goss, 2010) Taču ir arī pētījumi, kuros secināts pretējais. Sanker et al. pētījumā salīdzināja modificētā Thorington testa rezultātus ar Maddox Rod, von Graefe un alternējošo aizklāšanas testu tuvuma heteroforijas noteikšanai. Testi tika veikti izmantojot proves rāmi nevis foropteru un tika noteikts, vai šādi brīvā veidā veikti testi ir savstarpēji viens otra vietā izmantojami. Viņi secināja, ka modificētais Thorington tests nav izmantojams pārmaiņus ar pārējiem trim testiem, jo neuzrāda augstu sakritību ar tiem. Iemesli nesakritībām var būt neprecizitātes testa veikšanā un atšķirības disociācijas metodēs, tāpēc nepieciešams ievērot piesardzību dažādu testu izmantošanā heteroforijas novērtēšanai tuvumā. (Sanker, 2012)

EYEDOO datorizētais tests uzrāda zemu atkārtojamību heteroforijas un AK/A mērījumiem. Veiktajā Bland – Altman analīzē secināts, ka rezultāti ir skaitliski atšķirīgi no reālajiem dalībnieku rezultātiem, kas iegūti ar klasiskajām novērtēšanas metodēm – modificētā Thorington testu un gradientu metodi. Modificētais Thorington tests uzrāda lielāku eksodeviāciju, bet AK/A tiek uzrādīts par 1,1 (Δ/D) lielāks nekā EYEDOO testā. Analīzē secināts, ka EYEDOO testa rezultāti ir atkarīgi no reālās heteroforijas lieluma – jo lielāka ir patiesā heteroforija, jo lielāka atšķirība ir starp testā iegūtajiem rezultātiem.

Starp heteroforijas mērījumu precizitāti un atkārtojamību ietekmējošajiem faktoriem ir testa veicēja un pacienta kļūdas, instrumenta neprecīza kalibrācija un nenodrošināti vienādi testa veikšanas apstākļi visiem dalībniekiem visos mērījumos. (Moon, 2012) Mērījumus ietekmē arī dažādas testa disociācijas metodes un akomodācijas kontrole. Gan modificētais Thorington tests, gradienta metode, gan datorizētais EYEDOO tests ir subjektīvas heteroforijas un AK/A novērtēšanas metodes, jo to rezultāti balstās pacienta sniegtajās atbildēs. Līdz ar to tie ir atkarīgi no pacienta redzes sistēmas atbildes uz testa stimuliem, dalībnieka koncentrēšanās spējām, ieinteresētību testu veikt, kā arī speciālista spējām testu veikt precīzi.

Sanker et al. diskutē par iespēju, ka atšķirības heteroforijas mērījumos rada izmaiņas mērījumu laikā pašā pacientā. Testa laikam palielinoties, netiek izslēgta iespēja, ka pacientiem notiek psiholoģiskas izmaiņas, iestājas nogurums un neuzmanība. (Sanker, 2012) EYEDOO testa pētījuma ietvaros testu izpildei nepieciešamais laiks bija atšķirīgs. Modificēto Thorington testu izpildīt aizņēma īsāku laiku nekā EYEDOO testu, kurā bija nepieciešams pielāgot filtru krāsas un programmas neprecizitāšu dēļ reizēm bija jāgaida, kamēr notiek stimulu nomaiņa un rezultātu akceptēšana. Tas varēja nogurdināt pētījuma dalībnieku, bet zaudētās koncentrēšanās dēļ testu rezultāti varētu tikt ietekmēti. Šī iemesla dēļ šādi testi nebūs piemēroti arī maziem bērniem līdz skolas vecumam un cilvēkiem ar invaliditāti, kuras dēļ varētu būt apgrūtināta precīza testa izpilde. Uzlabojot testa tehnisko pusi, kad tas varēs darboties bez aizkavēšanās un aizņems mazāk laika, līdz ar to mazāk nogurdinās pacientu, tiks samazināta arī noguruma ietekme uz rezultātiem.

Heteroforijas mērījumu atšķirības vienā pacientā var izraisīt dažādu testu atšķirīgās heteroforijas lieluma novērtēšanas metodes – testu disociācijas tehnikas un testu spēja kontrolēt akomodāciju vienmērīgi. Tiek uzskatīts, ka jo labāk tests kontrolē akomodāciju, jo uzticamāki varētu būt testa rezultāti. (Schroeder, 1996) Akomodācijas kontrole ir nozīmīga heteroforijas novērtēšanas precizitātē. Testa stimula izmērs var ietekmēt akomodācijas izmaiņas – lielāki stimulu mērķi var izraisīt kļūdaini paaugstinātu akomodācijas amplitūdu. Sanker et al. savā pētījumā novēroja, ka atšķirības testos var ietekmēt stimula mērķa izmērs. Akomodācijas kontrolei viņu pētījumā dalībniekiem tika sniegtas precīzas instrukcijas, taču atšķirības tāpat tika novērotas. (Sanker, 2012) Modificētajam Thorington testam ir zema akomodācijas kontroles pakāpe. Dalībniekam nepietiekami koncentrējoties testa veikšanai uz testa stimuliem modificētā Thorington testā slikti tiek kontrolēta akomodācija, kas var ietekmēt iegūtos rezultātus. (Mestre, 2018)

Datorizētajos testos, kuros izmantoti fiksācijas objekti, līdz ar to labāk kontrolēta akomodācija, tiek novērtēta augstāka datorizētā testa rezultātu sakritība ar klasiskajām metodēm. Kim et al (2017) izveidotais datorizētais torsiju tests, kuram par testa stimulu izvēlēti pieci koncentriski riņķi un divas līnijas – sarkana un ciānzaļa, kuru savstarpējais novietojums jānovērtē testa ietvaros ar sarkanzaļajām brillēm, uzrāda pat augstāku atkārtojamību un jutību nekā dubultais Maddox Rod tests. Savukārt testos, kuros šādu fiksācijas mērķu nav, pacienti ar lielu horizontālu vai vertikālu novirzi var neakurāti izpildīt testa uzdevumu. (Kim, 2017) EYEDOO testa pētījuma ietvaros secināts, ka, jo lielāka ir pacienta heteroforija, jo lielāka ir atšķirība starp modificētā Thorington un EYEDOO testu rezultātiem. Tas varētu būt saistīts ar akomodācijas kontroles trūkumu, jo testā jāsavieto divi trijstūri, taču nav fiksācijas mērķa, kas kontrolētu akomodāciju. Tāpēc tālākai testa uzlabošanai būtu nepieciešams testā iestrādāt akomodatīvu fiksācijas mērķi labākai akomodācijas kontrolei. Fiksācijas mērķim būtu jābūt augsta kontrasta mērķim, ar izšķiramām detaļām, piemēram, burts, kas stimulētu akomodāciju.

Dažādas acu disociācijas metodes testos arī ietekmē rezultātus. Piemēram, alternējošās aizklāšanas testā pareizi veikta acu aizklāšana pilnībā izjauc fuzionālo vergenci, tāpēc var uzrādīt augstākus heteroforijas mērījumus nekā testi ar citu disociācijas metodi. (Sanker, 2012) Savukārt Maddox Rod cilindra izmantošana testā dod pilnīgu acu disociāciju un izjauc adaptācijas mehānismus. Bet testi ar sarkanzaļajām filtru brillēm ļauj testu veikt nosacīti normālos tuvuma apstākļos, izņemot atšķirīgo fona krāsu katrai acij. (Kim, 2017) Tiek uzskatīts, ka testi ar līdzīgu disociācijas metodi un akomodatīvo kontroli uzrāda salīdzināmākus rezultātus.

Katrs tests tā izpildes vai veida dēļ var citādāk iedarboties uz redzes sistēmu, tāpēc testu rezultāti var būt atkarīgi no dažādām vergēnces sistēmas komponentēm. Testa precizitāti var ietekmēt arī tas, cik ilgi ļauts acīm disociēties, pirms veikts mērījums. Pētījumos secināts, ka ir nepieciešama vismaz 5 līdz 25 minūšu ilga acu disociācija, lai samazinātu vergēnces adaptācijas ietekmi uz testa rezultātiem (Rosenfield, 1997). 2017. gadā veiktā pētījumā tika salīdzināts alternējošais aizklāšanas tests, unilaterāls aizklāšanas tests ar īsu aizklāšanas mirkli un ar garu aizklāšanas mirkli. Ilgstošāk aizklājot aci unilaterālajā testa metodē, heteroforijas lielums palielinās vairāk tuvumā nekā tālumā, tas novērojams gan bērniem, gan pieaugušajiem. Bet vidēji atšķirība starp testa metodēm nepārsniedza vienu prizmatisko dioptriju. (Troyer, 2017) Disociācijas laiks modificētā Thorington testam un EYEDOO testam ir atšķirīgs. Modificētā Thorington testa izpilde un līdz ar to arī disociācijas laiks šī pētījuma ietvaros aizņem īsāku laiku nekā EYEDOO testam, kuram tika veikta filtru kalibrācija un testa izpilde līdz ar to bija ilgāka. Disociācijas laika atšķirība var ietekmēt heteroforijas mērījumus, ir novērots, ka testi, kas pilnībā disociē acis, uzrāda labāku rezultātu sakritību ar, piemēram, aizklāšanas testu, kurā oklūzija notiek vismaz 10 sekundes un veicina augstāku acu disociācijas pakāpi. (Andrew, 1999) EYEDOO pētījuma ietvaros būtu lietderīgi padarīt līdzīgāku abu testu disociāciju, piemēram, papildinot disociācijas laiku modificētajam Thorington testam vai samazinot heteroforijas testa izpildes laiku EYEDOO testam.

Iepriekš veiktos pētījumos par dažādiem datorizētajiem testiem secināts, ka datorizētā testa rezultāti varētu būt atkarīgi no galvas pozīcijas maiņas testa laikā, testa attāluma un testā izmantotā ekrāna lieluma (Yoo, 2017). Heteroforijas lielumu tuvumā ietekmē toniskā, proksimālā un akomodatīvā atbilde. Testa rādīšanas attālums atstāj iespaidu uz akomodāciju un proksimālo atbildi, līdz ar to attālumam var būt nozīmīga loma rezultātu atšķirībā. Datorizētais Lancaster red-green tests tika testēts 50 cm un 1 m attālumā uz 101 cm liela ekrāna monitora. Tika mērīta vertikālā, horizontālā un torzionālā novirze un secināts, ka vertikālā un torzionālā novirze abos datorizētajos variantos bija ar augstu sakritību ar klasiski izpildītu Lancaster testu, kurš veikts 1 m attālumā. Taču horizontālā novirze labāku sakritību uzrādīja ar testu, kas veikts 1 m attālumā ar projektoru. (Awadein, 2013) Pētījumā par datorizētā testa rezultātiem ciklotropiju mērīšanai, secināts, ka ekrāna lielums nevar ietekmēt rezultātus, ja vien attēls netiek izkropļots (Kim, 2017). Jāņem vērā, ka samazinot testa veikšanas attālumu, akomodācijas ietekme palielinās. (Troyer, 2017) Neievērojot precīzu testa veikšanas attālumu, tests var uzrādīt nepareizus heteroforijas rezultātus.

Testu rezultātus var ietekmēt tas, vai testu veic brīvi cilvēks ar proves rāmi vai tas tiek veikts ar foropteru, kurā pacientam ir stabilāka galvas pozīcija, taču ierobežots redzes lauks (Perz - Juszcyszyn, 2021). Gan modificētā Thorington tests, gan EYEDOO tests pētījumā tika veikti vienā apgaismojumā, konstantā attālumā. Manuāli tika fiksēts testa attālums dalībniekam – viņš atradās 40 cm attālumā no datora ekrāna, taču netika fiksēta dalībnieka galvas pozīcija. Dalībnieks varēja brīvi kustināt galvu. Ja mērījuma laikā pacienta galva netiek fiksēta vismaz ar zoda balstu, līdz ar, piemēram, vienas acs oklūziju cilvēkam ir tieksme nedaudz noliekt galvu. Piemēram, pacientam ar starpzīlīšu attālumu 60 mm noliecot galvu par 5°, vertikālā vergence izmainītos par 0,15°. (Van Rijn, 1998) Cilvēkam veicot galvas pagriešanu uz augšu, noliecot galvu pa labi un kreisi var novērot mazu vertikālu deviācijas palielinājumu, kas pieaug palielinoties tuvuma distancei (Betts, 1995). Noliecot galvu pa labi, abas acis veic pretējas kustības – labā acs veic nelielu kustību uz augšu un kreisā acs – uz leju. (Harris, 2001) Ja pacients un testa attālums netiek fiksēts, pacientam samazinot testa attālumu, akomodācijas ietekmes pieauguma dēļ heteroforijas mērījumi uzrāda lielāku eksodeviāciju. Jo tuvāk tiek izpildīts tests, jo vairāk tas varētu ietekmēt akomodāciju un arī horizontālo deviāciju. Savukārt galvas pozīcijas maiņa arī var izmainīt rezultātu, tāpēc tālākā EYEDOO testa izstrādē varētu fiksēt pacienta galvas stāvokli ar, piemēram, zoda/galvas balstu, kas vienlaicīgi nodrošinātu konstantu gan pacienta attālumu no testa, gan galvas pozīciju.

Modificētā Thorington testa un EYEDOO testa uzraudzītie statistiski nozīmīgi atšķirīgie rezultāti varētu būt saistīti ar dažādo testu metodoloģiju un izpildi. Testiem, īpaši EYEDOO testam, bija apgrūtināši noturēt noteiktu testa veikšanas attālumu, modificētajā Thorington testā Moddox cilindra dēļ tiek vairāk disociētas dalībnieka acis, kā arī labāk kontrolēta akomodācija nekā EYEDOO testā. Perz-Juszcyszyn et al. uzskata, ka atšķirīgo testu veikšanas apstākļu dēļ, piemēram, izmantojot proves rāmi vai foropteru, heteroforijas testu rezultāti nevar tikt uzskatīti par vienādiem, ja tie veikti ar dažādiem testiem. Tādēļ katram heteroforijas testam būtu vērtīgi noteikt atsevišķus heteroforijas novērtēšanas kritērijus. (Perz - Juszcyszyn, 2021) Šī iemesla dēļ arī EYEDOO testam bija nepieciešams šī pētījuma ietvaros noteikt iespējamās testa normas vērtības, pie kurām tests nosaka nepieciešamību veikt padziļinātu redzes pārbaudi.

Gan heteroforijas, gan AK/A mērijumiem neviena no noteiktajām kritiskajām vērtībām pilnībā precīzi nenovērtē, kuriem pacientiem nepieciešama padziļināta redzes pārbaude. Heteroforijas gadījumā par kritisko vērtību testā varētu noteikt 0,50 Δ. Ja pacientam EYEDOO tests nosaka heteroforijas lielumu mazāku par 0,50 Δ, pacientam tests būtu normas diapazonā, taču, ja lielāks par 0,50 Δ, tad būtu ārpus normas diapazona un pacients būtu jānosūta padziļinātai redzes pārbaudei. Šādā gadījumā tests ar 53% iespējamību nosaka rezultātu ārpus normas diapazona – pacientu nepieciešams nosūtīt uz padziļinātu pārbaudi, un ar 70% iespējamību nosaka rezultātu normas diapazonā – pacientam nav binokulārās redzes traucējumu, kad tādi patiesi nav.

Tomēr precīzāku rezultātu iegūšanai būtu nepieciešams pārveidot EYEDOO testa stimulus, lai izmainītu to iedarbību uz redzes sistēmu, kā arī uzlabot testa tehnisko daļu, lai tā izpilde būtu raitāka. Ja katra no atsevišķajām neprecizitātēm testa veikšanā var rezultātu ietekmēt nebūtiski, tad visas kopā tās var radīt ievērojamu kļūdu. Hrynychak et al. iesaka mērijuma laikā kontrolēt visus faktorus, kas var ietekmēt rezultātu. (Hrynychak, 2010) Datorizētā EYEDOO testa precizitātes uzlabošanai nepieciešams veikt tehniskus uzlabojumus testa gaitas uzlabošanai. Būtu jāuzlabo testa akomodācijas kontrole ieviešot akomodatīvu fiksācijas mērķi. Fiksācijas stimuluss labāk palīdzētu kontrolēt akomodācijas darbību testa laikā. Tāpat būtu nepieciešams ieviest galvas un zoda balstu, lai nodrošinātu konstantu attālumu un galvas pozīciju testa laikā.

SECINĀJUMI

1. Datorizētais EYEDOO heteroforiju tests uzrāda zemu testa atkārtojamību starp veiktajiem trim mērījumiem bez ($F(2) = 8,72, p = 0,013$) un ar $+2,00$ D lēcām ($F(2) = 9,81, p = 0,007$) un šī atšķirība ir statistiski nozīmīga. Savukārt EYEDOO AK/A testa atkārtojamība ir augsta, starp trim mērījumiem nav noteikta statistiski nozīmīga atšķirība ($F(2) = 2,66, p = 0,265$).
2. Mann – Whitney U tests norāda, ka modificētā Thorington tests bez (Vid. \pm SD: $-2,6 \pm 6 \Delta$) un ar $+2,00$ D lēcu (Vid. \pm SD: $-7,8 \pm 6 \Delta$) ($U = 728, p = 0,008$) uzrāda statistiski nozīmīgi lielāku eksodeviāciju nekā EYEDOO heteroforiju tests bez (Vid. \pm SD: $-0,4 \pm 1,9 \Delta$) un ar $+2,00$ D lēcu (Vid. \pm SD: $-2,4 \pm 3,4 \Delta$) ($U = 592,5, p < 0,00001$). EYEDOO tests heteroforiju un AK/A novērtēšanai neuzrāda līdzīgus rezultātus modificētā Thorington testam un ir vērojama tendence – jo lielāka ir pacienta heteroforija, jo lielāka ir atšķirība starp abās metodēs iegūtajiem rezultātiem.
3. Ar Mann – Whitney U testu noteikta statistiski nozīmīga atšķirība ar gradientu metodi aprēķinātajam AK/A (Vid. \pm SD: $1,9 \pm 1,4 \Delta$) un EYEDOO AK/A testam (Vid. \pm SD: $0,8 \pm 1 \Delta$) ($U = 466, z = 5,22, p < 0,00001$).
4. Testiem to dažādās tehniskās izpildes dēļ var atšķirties normas vērtības. Datorizētajam EYEDOO testam noteiktās kritiskās vērtības heteroforijas mērījumam varētu būt $0,50 \Delta$, bet AK/A mērījumam – $0,25 \Delta/D$, pie kurām pacientam tiktu noteikta nepieciešamība veikt padziļinātu redzes pārbaudi.
5. Datorizētais EYEDOO tests nav izmantojams heteroforiju un AK/A novērtēšanai citu heteroforijas un AK/A novērtēšanas metožu vietā. Tālākā testa aprobācijas procesā būtu nepieciešams testa stimulā iestrādāt fiksācijas mērķi akomodācijas kontrolei.

NOBEIGUMS

Heteroforijas un AK/A mērījumi ir svarīgi binokulārās redzes novērtēšanai klīniskajā praksē. Dekompensēta heteroforija cilvēkam var izraisīt tādus simptomus kā miglaina redze, dubultošanās, apgrūtināta stereoredze, galvassāpes, sāpošas acis, var izjust lielāku komfortu skatoties monokulāri. (Evans, Binocular Vision, 2005) Tāpēc heteroforijas un AK/A mērījumi ir noderīgi binokulāro traucējumu diagnostikā.

Heteroforijas un AK/A novērtēšanas standarttesti ir aizklāšanas, prizmu aizklāšanas testi un gradientu metode AK/A, taču vieglās un pacientam saprotamās izpildes (Facchin, 2020), kā arī augstās atkārtojamības dēļ modificētais Thorington tests tiek rekomendēts kā laba alternatīva (Mestre, 2018). Testu izpildei nepieciešams specifisks aprīkojums un to rezultātus ietekmē speciālista kļūdas izpildē un rezultātu interpretācijā. Datorizēta testu veikšana varētu atvieglot precīzu rezultātu iegūšanu (Yehezkel, 2018), (Kim, 2017). Šajā pētījumā tika attīstīta datorizētā EYEDOO testa redzes novērtēšanas programma, ar kuras palīdzību iespējams izvērtēt redzes asumu tālumā, akomodāciju, binokulāro redzi, krāsu redzi un acu muskuļu sadarbību, izmantojot lēcu-filtru ierīci (LFI), kurā automātiski mainās nepieciešamie filtri un lēcas. Tika novērtēts heteroforijas un AK/A lielums ar EYEDOO testu un modificētā Thorington testu. Pētījumā secināts, ka EYEDOO uzrāda zemu atkārtojamību testiem heteroforijas gadījumā, bet augstu – AK/A gadījumā. EYEDOO heteroforijas un AK/A novērtēšanas tests nav lietojams kā alternatīva klasiskajām modificētā Thorington un AK/A metodēm. Datorizētajam EYEDOO testam precīzāku rezultātu iegūšanai nepieciešams veikt uzlabojumus – ieviest fiksācijas mērķi testa stimulā, lai labāk kontrolētu akomodāciju. Novērtēts, ka vislabāk tests uzrāda, vai mērījums ir normas robežās, pie kritiskās vērtības $0,50 \Delta$ heteroforijas mērījumā un $0,25 \Delta/D$ AK/A mērījumā.

Lai gan datorizētais EYEDOO tests uzrāda zemu atkārtojamību un salīdzinātību ar standarta heteroforijas novērtēšanas metodēm, tam ir iespējams noteikt kritiskās vērtības, pie kurām tests daļēji spēj noteikt nepieciešamību veikt padziļinātu pārbaudi. Testa rezultātus var ietekmēt tādi faktori kā testa kalibrācija, pacienta uzmanība, akomodācijas kontrole un testa veikšanas metodika, ko nepieciešams tālākā pētniecības procesā uzlabot precīzāku mērījumu iegūšanai.

PATEICĪBA

Izsaku sirsnīgu pateicību maģistra darba vadītājai Dr. phys. Evitai Kassalietei par ieguldīto laiku un pūlēm maģistra darba tapšanā, sniegtajām konsultācijām un atbalstu, tāpat paldies darba recenzentei Dr. phys. Karolai Pankei par vērtīgajiem, saturīgajiem komentāriem un ieteikumiem darba izstrādes procesā. Tāpat izsaku pateicību LIAA un LU projektam Nr. KC-PI-2020/10 “Redzes skrīninga un treniņu iekārtas izveide”, kura ietvaros tika veikta heteroforijas un AK/A testa aprobācija. Izsaku pateicību visiem pētījuma dalībniekiem par ieguldīto laiku un atbalstu pētījuma tapšanā.

Izsaku pateicību savai ģimenei un kursa biedriem par morālo atbalstu darba izstrādes laikā.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS AVOTI

- Alvarez, C. P.-R. (2005). Normal values of distance heterophoria and fusional vergence ranges and effects of age. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, lpp. 821-824.
- Andrew, N. B. (1999). *A quantitative analysis of eye movement characteristics during the cover test*. London: Department of Optometry & Visual Science City University.
- Anstice, N. S. (2020). The repeatability and reproducibility of four techniques for measuring horizontal heterophoria: Implications for clinical practice. *Journal of Optometry*.
- Awadein, A. (2013). A computerized version of the Lancaster red - green test. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, lpp. 197 - 202.
- Babinsky, E. S. (2015). Near heterophoria in early childhood. *Eye Movements, Strabismus, Amblyopia and Neuro-ophthalmology*, lpp. 1406-1415.
- Barnard, N. A. (1995). A quantitative analysis of eye movements during the cover test - a preliminary report. *Ophthalmic and Physiological Optics*, lpp. 413 - 419.
- Betts, G. A. (1995). The effect of roll-tilt on ocular skew deviation. *Acta Otolaryngologica. Supplementum*.
- Bhoola, H. B. (1995). Validity of clinical measures of the AC/A ratio. *Clinical and Experimental Optometry*.
- Bruce, A. S. (1995). Accommodation-convergence relationship and age. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, lpp. 406 - 413.
- Canto-Cerdan, M. C.-M.-M. (2017). Measuring the heterophoria: Agreement between two methods in non-presbyopic and presbyopic patients. *Journal of Optometry*, lpp. 153-159.
- Cebrian, J. L. (2014). Repeatability of the modified Thorington card used to measure far heterophoria. *Optometry and Vision Science*, lpp. 786-792.
- Darko-Takyi, C. M.-K. (2020). Review of normative data for parameters of functional non-strabismic binocular vision. *African vision and eye health*.
- Escalante, J. B. (2006). Effect of heterophoria measurement technique on the clinical accommodative convergence to accommodation. *Optometry*, lpp. 229-234.
- Evans, B. (2005). *Binocular Vision*. Elsevier.
- Evans, B. (2007). *Pickwell's Binocular Vision Anomalies*. Edinburgh: Butterworth-Heinemann.
- Facchin, A. &. (2020). Comparison, within-session repeatability and normative data of three phoria tests. *Journal of Optometry*, lpp. 263-274.

- Fincham, E. F. (1951). The accommodation reflex and its stimulus. *British Journal of Ophthalmology*, lpp. 381-393.
- Goss, D. A. (2010). Comparison of four dissociated phoria tests: reliability and correlation with symptom survey scores. *Journal of Behavioral Optometry*, 99 - 104.
- Grosvenor, T. P. (2007). *Primary Care Optometry*. Elsevier Health Sciences.
- Harris, L. B. (2001). The visual consequences of deviations in the orientation of the axis of rotation of the human vestibulo-ocular reflex. *Vision Research*, lpp. 3271 - 3281.
- Hrynychak, P. K. (2010). Comparison of alternate cover test reliability at near in non-strabismus between experienced and novice examiners. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 304 - 309.
- Hughes, A. (1967). AC/A Ratio. *British Journal of Ophthalmology*, lpp. 786-787.
- Iwata, Y. H. (2020). Objective measurement of nine-gaze-directions using an eye-tracking device. *Journal of Eye Movement Research*.
- Yehezkel O., S. A. (2017). A method for rapid objective measurement of eye deviation angle in both strabismus and phoria. *Acta Ophthalmol*, 95.
- Yehezkel, O. O.-J. (2018). Eye-tracking based device for measurement of both manifest and latent eye deviations in adults and children. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, lpp. 226-234.
- Yoo, H. S.-J. (2017). A computerized red glass test for quantifying diplopia. *BMC Ophthalmology*.
- Jimenez, R. G. (2003). Evolution of accommodative function and development of ocular movements in children. *Ophthalmic and physiological optics*, lpp. 97 - 107.
- Jimenez, R. R. (2004). Statistical normal values of visual parameters that characterize binocular function in children. *Ophthalmic and Physiological Optics*, lpp. 528-542.
- Kim, Y. D.-M. (2017). Development of a simple computerized torsion test to quantify subjective ocular torsion. *Eye*, lpp. 1562 - 1568.
- Kommerell, G. &. (2002). Prism correction in heterophoria. *Ophthalmologe*, lpp. 3-9.
- Lança, C. C. (2016). Variability of fusional vergence measurements in heterophoria . *Strabismus*, lpp. 63-69.
- Liepa, I. B. (2013). *Subjective vergence performance evaluation using computerized programs*.
- Majumder, C. &. (2016). Variation In AC/A Ratio Using the Gradient Method With Plus or Minus Lenses. *Optometry & Visual Performance*, lpp. 152-155.
- Mestre, C. O.-D. (2018). An automated and objective cover test to measure heterophoria. *Plos One*.

- Myklebust, A. &. (2016). Fusional stamina: an alternative to Sheard's criterion. *Scandinavian Journal of Optometry and Visual Science*.
- Molina-Torres, M.-J. C.-P. (2016). Diagnosis accuracy of two vision screeners for visual health surveillance of workers who use video display terminals. *Journal of Occupational Health*, lpp. 444-451.
- Moon, B.-Y. P.-Y. (2012). Repeatability and Reliability of a New Phoria Test Using Flashed and Auto-flashed Presentation. *Journal of the Optical Society of Korea*, 418 - 424.
- Murray, C. &. (2010). *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, lpp. 801.
- Murray, C. &. (2018). The Normal Accommodative Convergence/Accommodation (AC/A) Ratio. *Journal of Binocular Vision and Ocular Motility*, lpp. 140-147.
- Peli, E. M. (1983). Dynamics of cover test eye movements. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, lpp. 712 - 724.
- Perz - Juszczyzyn, K. F. (2021). Comparison of near horizontal heterophoria tests in free space and with phoropter. *Optica Applicata*, 193 - 201.
- Pundlik, S. T. (2019). Development and preliminary evaluation of a smartphone app for measuring eye alignment. *Translational Vision Science & Technology*, 19.
- Radakovic, M. I. (2012). Heterophoria and fusional convergence and divergence in preschool children. *Medicinski Glasnik*, lpp. 293 - 298.
- Rainey, B. (1997). Inter - examiner reliability of heterophoria tests. *American Academy of Optometry*.
- Rosenfield, M. C. (1997). Effect of prolonged dissociation on the subjective measurement of near heterophoria. *Ophthalmic & Physiological Optics*, lpp. 478 - 482.
- Sanker, N. P. (2012). A comparison of near - dissociated heterophoria tests in free space. *Clinical and Experimental Optometry*, 638 - 642.
- Scheiman, M. W. (2008). *Clinical Manegement of Binocular Vision*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Schor, C. M. (1986). Dynamic interactions between accommodation and convergence are velocity sensitive. *Vision Research*, lpp. 927-942.
- Schroeder, T. L. (1996). Reliability of and comparisons among methods of measuring dissociated phoria. *Optometry and Vision Science*, 389 - 397.
- Sweeney, L. S. (2014). Quantifying interactions between accommodation and vergence in a binocularly normal population. *Vision Research*, lpp. 121-129.

- Thomson, W. D. (1999). A new approach to vision screening in schools. *Ophthalmic and Physiological Optics*, lpp. 196-209.
- Troyer, M. E. (2017). The heterophoria of three to five year old children as a function of viewing distance and target type. *Ophthalmic and Physiological Optics*, lpp. 7-15.
- Van Rijn, L. J. (1998). Asymmetrical vertical phorias indicating dissociated vertical deviation in subjects with normal binocular vision. *Vision Research*, lpp. 2973 - 2978.
- Von Noorden, G. K. (2001). Classification of neuromuscular anomalies of the eyes. G. K. Von Noorden, *Binocular vision and ocular motility. Theory and management of strabismus* (lpp. 672). Mosby.
- Zwierko, T. P.-N. (2015). The effects of sports vision training on binocular vision function in female university athletes. *Journal of Human Kinetics*, lpp. 287-296.

Maģistra darbs “Heteroforijas un AK/A testa aprobācija datorizētajam redzes skrīningam”
izstrādāts LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie
informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Anete Kancāne – Zustere

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai
Vadītāja: Dr. phys. Evita Kassaliete

Recenzents: Dr. phys. Karola Panke

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Inita Šneidere

Darbs aizstāvēts Valsts pārbaudījuma komisijas sēdē
_____._____.2022. protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: