

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE  
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**INDUCĒTĀS HROMATISKĀS ABERĀCIJAS  
IETEKME UZ REDZI**

**MAGISTRA DARBS**

Autors: **Diāna Urtāne**

Studenta apliecības Nr. du12003

Darba vadītājs: docents, Dr.phys. Gatis Ikaunieks

RĪGA 2017

## ANOTĀCIJA

Darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 33 lapaspusēm. Tas satur 15 attēlus, 1 tabulu, 28 atsauces uz literatūras avotiem.

**Darba mērķis:** Novērtēt hromatiskās aberācijas ietekmi uz redzi.

**Metodika:** Pētījumā tika novērtēta 13 dalībnieku, vecumā no 20 līdz 30 gadiem, prizmas radīto transversālo hromatisko aberāciju ietekme uz redzes asumu, izmantojot Vernjē saskaņošanas metodes datorprogrammu un redzes asuma novērtēšanas datorprogrammu FrACT.

**Secinājumi:** Prizmas radītās transversālās hromatiskās aberācijas ietekmē prizmas stiprums, bet bāzes virziens būtiski neietekmē. Palielinoties prizmas stiprumam, redzes asums samazinās. Izveidotā specializētā Vernjē saskaņošanas datorprogramma ļauj novērtēt prizmas radīto transversālo hromatisko aberāciju.

**Atslēgvārdi:** hromatiskās aberācijas, Vernjē saskaņošanas metode, prizmas, redzes asums.

## ABSTRACT

Master work is written in Latvian on 33 pages. It contains 15 pictures, 1 table, 28 references to literature.

**Purpose:** To evaluate the effect of chromatic aberration on visual acuity.

**Subjects and method:** The study evaluated 13 participants, aged 20 to 30 years, prisms generated transversal chromatic aberration effects on visual acuity using Vernier alignment methods and computer programs in visual acuity evaluation software FrACT.

**Results:** Prisms generated transversal chromatic aberration affecting the prism strength, but does not significantly affect the direction of the base. Increasing prism strength, visual acuity decreases. The established specialized Vernjē matching computer program to assess the prism caused by transverse chromatic aberration.

**Keywords:** Chromatic aberration, Vernier alignment method, prism, visual acuity.

# SATURA RĀDĪTĀJS

IEVADS .....	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS .....	2
1.1. Aberācijas .....	2
1.1.1. Monohromatiskās aberācijas .....	2
1.1.2. Hromatiskās aberācijas .....	4
1.1.3. Aberācijas cilvēka acīs .....	7
1.2. Prizmas.....	8
1.3. Transversālo aberāciju mērīšanas metodes .....	9
1.3.1. Subjektīvās transversālo hromatisko aberāciju mērīšanas metodes .....	9
1.3.2. Objektīvās transversālo hromatisko aberāciju mērīšanas metodes.....	10
1.3.3. Vernjē saskaņošanas metode .....	10
1.3.4. Kontrastjutība, tā mērīšana .....	12
2. PĒTĪJUMA DAĻA .....	13
2.1. Pētījuma dalībnieki .....	13
2.2. Pētījuma metodika .....	13
2.3. Datu apstrāde .....	16
2.4. Pētījumā izmantotās prizmas .....	17
2.5. Rezultāti un rezultātu analīze.....	18
2.8. Diskusija .....	25
SECINĀJUMI .....	28
NOBEIGUMS .....	29
PATEICĪBAS .....	30
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	31

## IEVADS

Ikdienā redzes speciālisti var sastapties ar pacientu sūdzību par attēla kvalitātes izmaiņām, pieliekot pacientam prizmas vai liela stipruma lēcas. Šīs sūdzības rada optisko materiālu-prizmu un optisko lēcu radītas aberācijas. Optiskās aberācijas ietekmē uztvertā attēla kvalitāti. Pastāv vairāki aberāciju veidi- monohromatiskās aberācijas, kas parādās monohromatiskā gaismā, sīkāk to var iedalīt sfēriskās aberācijas, slīpās aberācijas: koma, astigmātisma aberācija, distorsija, un hromatiskās aberācijas, ko iedala aksiālā un transversālā. Katrs no aberāciju veidiem attēla kvalitāti izmaina citādāk, bet bieži tie arī parādās kopā, kombinējās. Lielākoties mūsu acis spēj adaptēties šīm aberācijām. Aberācijas var radīt gan optiskie materiāli, gan acs radzene un lēca. Aberācijas lieluma novērtēšanas metožu nav daudz, un lielākā daļa ir subjektīvās metodes.

Maģistra darbā tika pētīts, kā prizmas radītās transversālās hromatiskās aberācijas ietekmē redzes asumu, izmantojot *Vernjē* saskaņošanas metodi. Pārbaudīšu, vai šī mērīšanas metode darbojas.

Darba mērķis ir novērtēt hromatiskās aberācijas ietekmi uz redzi.

Darba Uzdevumi:

1. Izveidot specializētu datorprogrammu, aberāciju ietekmes uz redzi mērīšanai.
2. Ar *Vernjē* saskaņošanas (*Vernier alignment*) metodi novērtēt hromatiskās aberācijas lielumu, liekot priekšā acij dažāda stipruma prizmas.
3. Noteikt hromatiskās aberācijas ietekmi uz redzes asumu.

# 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

## 1.1. Aberācijas

Aberācijas ir kropļojumi jeb novirzes no ģeometriskās optikas. Optiskajās sistēmās jeb lēcās aberācija ir gaismas staru novirze, izejot caur lēcu, kas rada objektu attēlu izplūšanu. *Palmer R.* (2016) apraksta, ka lēca rada nepilnīgu attēlu, jo ideāls attēls rodas tikai ejot caur lēcas centru paralēli optiskai asij. Aberāciju veidus var iedalīt divās lielās grupās - monohromatiskās aberācijas un hromatiskās aberācijas (*Yoon G.*). Katru no šīm grupām var iedalīt mazākās apakšgrupās. Monohromatisko aberāciju var iedalīt sfēriskajās aberācijas, slīpajās aberācijas. Hromatiskās aberācijas var iedalīt longitudinālās un laterālās hromatiskās aberācijas.

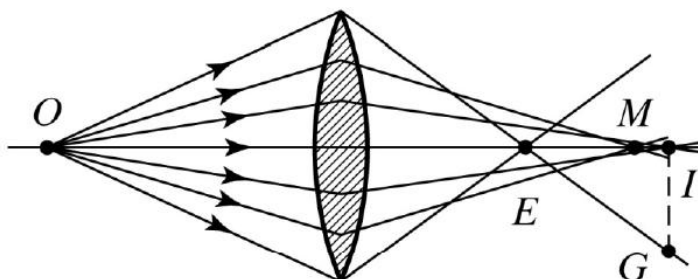
### 1.1.1. Monohromatiskās aberācijas

*Gross, H.* (2007) grāmatā aprakstīts, ka monohromatiskās aberācijas parādās monohromatiskā gaismā. Šīs grupas aberāciju ietekmē attēls ir neskaidrs, neass. Optometrista praksē biežāk sastopas ar astigmātisma radīto aberāciju, sfērisko aberāciju un distorsiju, bet koma lielākoties parādās, izmantojot teleskopus.

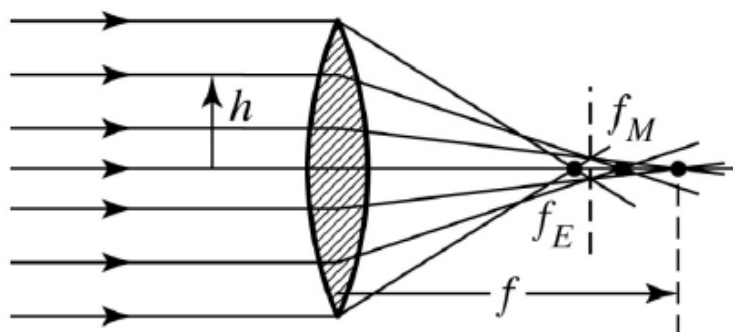
Sfēriskā aberācija attēlā parādās kā pazemināts asums attēla malās. Ja paralēli stari izejot cauri sfēriskai lēcai, netiek fokusēti vienā punktā, rodas sfēriskā aberācija. Jo tālāk stari atrodas no optiskās ass, jo vairāk atšķiras to fokusu attālums. Savācējlēcai jeb pozitīva stipruma lēcai stari, kas atrodas tālāk no lēcas centra jeb optiskās ass, bet tuvāk lēcas malām, tiek laužti vairāk un to fokuss atradīsies tuvāk nekā stariem, kas atrodas tuvāk optiskai asij. Tas nozīmē to, ka monohromatiskās gaismas kūlis, izejot no punkta, kas atrodas uz optiskās ass, izejot cauri lēcas malai, fokusēsies citā attālumā, nekā gaismas kūlis, kas iet caur lēcas centru. Stari, kas iet caur lēcas centru, krustosies tālāk, bet stari, kas iet caur lēcas malu, krustosies tuvāk lēcai. Sfēriskās aberācijas lielumu cilvēka acī ietekmē zīlītes platums (*Campbell & Gubisch, 1967*). Jo mazāka acs zīlīte, jo mazāk aberācijas tiek izjustas.

*Wyant, J.C. & Creath, K.*, (1992) izšķir longitudinālās sfēriskās aberācijas un šķērseniskās jeb transversāls sfēriskās aberācijas. *Eradat, N.* (2009) aprakstīja ka longitudinālās sfēriskās aberācijas ir attālums starp fokusa punktu un vietu, kur laužtais stars krusto optisko asi, kas parādīts 1.1. attēlā. Šķērseniskās jeb transversālās sfēriskās aberācijas

veidojas, kad uz lēcu ejošie paralēli stari, izejot caur lēcu, lūst dažādos fokālos punktos. Jo lielāks optiskā stara, kas ir paralēls optiskajai asij, augstums jeb attālums no optiskās ass, jo fokusa punkts ir tuvāks lēcai, bet jo augstums mazāks, jeb paralēlā stara attālums no optiskās ass ir mazāks, jo staru fokusa punkts atrodas tālāk no lēcas. Tas ir redzams attēlā 1.2. Sfēriskās aberācija rada attēlu uz ekrāna, kas ir perpendikulārs optiskajai asij, kurš izskatās kā aplis ar spožu kodolu centrā ar oreolu, kas tālāk no centra kļūst mazāk spožs.



**1.1. att.** Longitudinālās sfēriskās aberācijas. Attēlā ar O ir monohromatiskās gaismas atstarošanās punkts, kas atrodas uz pozitīvās jeb savācējlēcas lēcas optiskās ass. E ir monohromatiskās gaismas laušanas fokuss stariem, kas iet caur lēcas malu. I ir monohromatiskās gaismas laušanas fokuss stariem, kas iet tuvāk lēcas centram. M ir skaidrākā attēla fokusa punkts. Attālums no E līdz I ir longitudinālās sfēriskās aberācijas lielums. *Eradat, N. (2009).*



**1.2. att.** Šķērseniskās jeb transversālās sfēriskās aberācijas. Kad paralēli stari iet uz savācējlēcu jeb uz pozitīvo lēcu, tālākā stara no optiskās ass attālums ir  $h$ . Jo lielāks  $h$ , jo staru fokuss ir tuvāk lēcai, kas atzīmēts attēlā ar  $f_E$ . Ar  $f$  atzīmēts tālākais fokusa attālums.  $f_M$  punkts norāda fokusa attālumu, kurā iegūst labāko attēla kvalitāti. *Eradat, N. (2009).*

Monohromatiskās slīpās aberācijas viens no veidiem ir koma. Tā rodas no palielinājuma atšķirības, tas rada attēlu, kuram izveidojās ir kā komētas aste. *Wyant, J.C., & Creath, K. (1992)* apraksta, ka to novēro, kad staru kūlis iet slīpā leņķī, attiecībā pret optisko

asi. Attālums no optiskās ass līdz objekta attēlojumam, kas projicējās ārpus optiskās ass, mainās atkarībā no objektīva attāluma līdz objektam. Kad staru kūļa slīpuma leņķis attiecībā pret asi ir liels, tad rodas aberācija, ko sauc par astigmātisma monohromatisko aberāciju (Palmer, K., 2016). Wyant, J.C., & Creath, K. (1992) astigmātisma aberāciju apraksta kā staru kūli, kas iznāk no spīdošā punkta, pēc iznākšanas no optiskās sistēmas, savācās divos savstarpēji perpendikulāros nogriežņos, kas atrodas nelielā attālumā viens no otra. Katrs nogrieznis šķērsgrīzumā izskatās kā elipse, kas būs perpendikulāri savā starpā, bet starp šīm elipsēm būs punkts, kur attēls izskatīsies apaļš, ko sauc par konfūzijas apli Eradat, N. (2009).

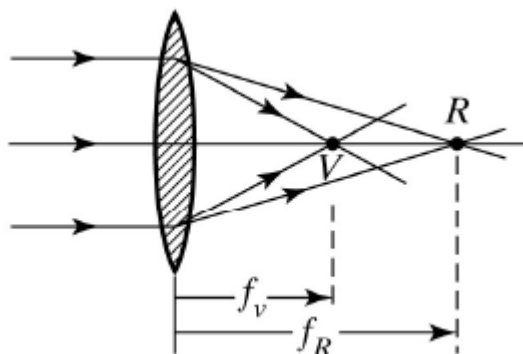
Distorsija ir aberāciju veids, kas izsauc taisno līniju izkropļošanu, pēc Eradat, N. (2009) apraksta. Šīs aberācijas rezultātā notiek objekta attēla deformācija un objekta attēls ģeometriski nesakrīt ar pašu objektu, bet attēla asumu tas neietekmē. Šīs aberācijas cēlonis ir tas, ka lineārais palielinājums dažādu attēla daļām ir atšķirīgs.

Lundström, L., et. al. (2009) savā pētījumā secināja, ka tuvāk perifērijai, sfēriskās aberācijas samazinās, toties palielinās slīpās aberācijas, kā astigmātisma aberācijas, koma aberācijas. Monohromatisko aberāciju mērījumos izmanto gan subjektīvās, gan objektīvās metodes, bet lielākoties mēra tīklenes centrālo daļu, bet pētījumu par tīklenes perifēro daļu ir diezgan maz, tāpēc Navarro, R., et. al. (1998) savā pētījumā mērīja transversālās slīpās monohromatiskās aberācijas. Šajā pētījumā tika secināts, ka kopējais aberācijas lielums sastāv no defokusa aberācijas, astigmātiskās aberācijas un lauka izliekuma radītās aberācijas, kā arī pierādījās, ka aberācija, kuras iemesls ir stari, kuri projicējās ārpus optiskās ass, jeb aberācijas perifērijā ir lielākas par aberācijām tīklenes centrā.

### 1.1.2. Hromatiskās aberācijas.

Hromatiskās aberācijas ir novērojamas izmantojot gaismu, kas satur dažādus viļņu garumus, kā rezultātā attēlā parādās krāsas kropļojumi, kā to apraksta Palmer R, (2012). Tas rodas dispersijas rezultātā, ka laušanas koeficients atšķiras dažādiem viļņu garumiem. Šo aberāciju iemesls ir gaismas sadalīšanās krāsainajos gaismas staros, izejot caur lēcu vai prizmu. Eradat, N. (2009) norāda, ka hromatiskās aberācijas iedala longitudinālās un laterālās jeb transversās hromatiskās aberācijas. Longitudinālās hromatiskās aberācijas raksturo tas, ka dažādās plaknēs fokusējās dažāda viļņa garuma stari, kas ir parādīts attēlā 1.3 un 1.4. Bet laterālām hromatiskām aberācijām raksturīga palielinājuma atšķirība atkarībā no viļņa garuma. Hromatisko aberāciju dēļ zūd attēla kvalitāte, jo dažādas krāsas gaisma tiek lauzta

dažādos leņķos, kur fokusa attālums ir atkarīgs no gaismas viļņa garuma, un kropļojumi izskatās kā krāsaini oreoli ap attēla smalkām, kontrastainām detaļām. Sarkanās gaismas laušanas koeficients ir mazāks par zilās gaismas laušanas koeficientu, šī iemesla dēļ zilie stari fokusēsies tuvāk lēcai vai prizmai, bet sarkanie tālāk, jo baltā gaisma sastāv no visu krāsu gaismām kopā, un vienota fokusa tai nav, it tikai katra gaismas stara dažādu viļņu garumu fokusu kopa. Par garenisko hromatisko aberāciju uzskata attālumu no zilās līdz sarkanās gaismas fokusam. Pēc *Palmer R*, (2012) apskatot hromatiskās aberācijas, jāpievērš uzmanība dioptriju starpībai, kas ir stipruma starpība starp zilo un sarkano gaismu, izejot caur lēcu, kura materiāls palēnina gaismu ar atšķirīgiem viļņu garumiem. Kā piemēru, *Palmer R*, (2012) apskata +5.00 D stipru savācējlēcu, kuru mērot ar dzeltenzaļo gaismu, stiprums būs nedaudz lielāks nekā izmērītais stiprums +5.00D lēcai zilajā gaismā, bet mazāks nekā šādu lēcu izmērot sarkanajā gaismā. Šī izmērītā stipruma starpība saucās par dioptriju starpību.



**1.3. att.** Longitudinālās hromatiskās aberācijas. Attēlā parādīti paralēli gaismas stari, kas iziet cauri savācējlēcai jeb pozitīvajai lēcai, konverģē. Baltā gaisma tiek sadalīta spektros.  $f_v$  norāda zilās gaismas fokusa punktu, kas atrodas tuvāk lēcai, jo zilai gaismai ir lielāks laušanas leņķis. Ar  $f_R$  apzīmēts fokusa punkts sarkanai gaismai, jo sarkanās gaismas laušanas leņķis ir mazāks, tāpēc fokusa punkts atrodas tālāk no lēcas. Attālums no  $f_R$  un  $f_v$  norāda longitudinālo hromatisko aberāciju lielumu. *Eradat, N.* (2009).

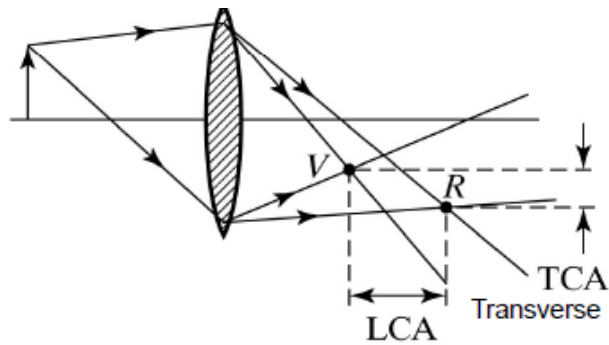
Apskatot hromatiskās aberācijas, svarīgi pievērst uzmanību arī terminam Abbes skaitlis- tas ir skaitlis, ko reizēm sauc arī par „V” vērtību, kas norāda hromatisko aberāciju lielumu, konkrēto materiālu lēcās. Jo lielāks Abbes skaitlis, jo mazāk hromatisko aberāciju konkrētā materiāla lēcā, bet jo mazāks Abbes skaitlis, jo lielāks aberāciju lielums. *Palmer R*, (2012) savā piemērā apraksta +6.00 D lēcu, kuru materiāla Abbes skaitlis ir 30. Tātad lēcas stiprums zilajā gaismā, ar viļņa garumu 486,13 nm, būs +6,10 D, bet sarkanajā gaismā, ar viļņu garumu 656.27 nm, stiprums būs tikai +5,90 D. Toties dzeltenzaļajā gaismā, ar viļņu

garumu 587,56 nm, lēcas stiprums būs +6.00 D. Ikdienā hromatiskā aberācija samazinās, ja skatās caur lēcas centru.

*Palmer R*, (2012) apskatot hromatiskās aberācijas, apraksta terminu prentices likums, lēcas stiprums dioptrijas atkarībā no attāluma no optiskā centra līdz punktam, kurā gaisma iziet cauri lēcai, ir vienāda ar prizmatisko efektu prizmatiskajās dioptrijas. Šis lielums apraksta to, ka izejot gaismas tālāk no optiskā centra, pastiprinās hromatisko aberāciju lielums, kas novērojami kā krāsainas kontūras. Šīs krāsainās kontūras platums ir atkarīgs no Abbes skaitļa lieluma un prizmas stipruma, dažādiem viļņu garumiem, ko arī nosaka prentices likums.

Nobīdi starp sarkano un zilo gaismu mēra prizmatiskajās dioptrijas, kas radušās no lēcas hromatiskās aberācijas, un to sauc par prizmu stiprumu starpību. *Palmer R*, (2012) turpina aprakstīt piemēru, ka jā +6.00 D lēcā skatās 1 cm no lēcas optiskā centra, tad prizmatiskajās dioptrijas sarkanās gaismas stiprums būs 5,90 prizmatiskās dioptrijas, zilās gaismas stiprums būs 6,10 prizmatiskās dioptrijas. Starpība starp šiem lielumiem būs 0,2 prizmatiskās dioptrijas.

*Faubert, J., et al.* (1999) un *Stark, L. R., et al.* (2002) tiek apgalvots, ka pieaugot slīpuma leņķim, pieaug transversālā hromatiskā aberācija. Jau iepriekšējos pētījumos tika pierādīts, ka optiskās hromatiskās aberācijas ietekmē redzes asumu, un jo lielāka ir hromatisko aberāciju vērtība, jo zemāks redzes asums, kā arī samazināt kontrastjutību. Transversālā hromatiskā aberācija var būtiski samazināt redzes asumu, ko var novērtēt dioptriju vērtībā. Transversālā hromatiskā aberācija var rasties no standarta optiskām sfēriskām lēcām, skatoties nevis lēcas centrā, bet tuvāk lecu malām, kā arī šo hromatisko aberāciju veidu izraisa prizmas. Transversālās hromatiskās aberācijas aprēķina formula-  $TCA=(h*P)/V$ , kur TCA apzīmē transversālo hromatisko aberāciju, h- nobīde no lēcas centra, P- lēcas stiprums, V- abbes vērtība. *Tang, C. Y., & Charman, W. N.* (1992) apraksta, ka transversālai hromatiskai aberācijai ir būtiska loma attēla kvalitātei, kas projicējās uz tīklenes. Parasti transversālās hromatiskās aberācijas ietekmē perifēro redzi, un jo tālāk no optiskās ass fokusējās gaismas stari, jo lielāka aberācijas ietekme ir jūtama.



**1.4. att.** Transversās un longitudinālās hromatiskās aberācijas. Gaismas stari iet slīpi uz optisko pozitīvo lēcu, kā rezultātā rodas gan transversāls (TCA) un longitudinālās (LCA) hromatiskās aberācijas, kas atrodas ārpus optiskās ass. Ar punktiem V tiek atzīmēta zilās gaismas fokusēšanās punkts, bet ar R sarkanās gaismas fokusēšanās punkts. LCA ir horizontālais jeb paralēli optiskai asij, attālums no sarkanās gaismas fokusēšanās punkta līdz zilās gaismas fokusēšanās punktam. TCA ir vertikālais jeb perpendikulārs optiskai asij attālums no sarkanās gaismas fokusēšanās punkta līdz zilās gaismas fokusēšanās punktam. *Eradat, N. (2009).*

### 1.1.3. Aberācijas cilvēka acīs.

Fernandez-Sanchez, V., et. al. (2008) apraksta aberācijas cilvēka acīs. Acī aberācijas var radīt vairāki faktori, kā piemēram izmaiņas acs optiskajās vidēs, kas var būt saistītas ar vecuma izmaiņām, intraokulārās lēcas, kontaktlēcas, kā arī acs priekšējās daļās esošās radzenes traumas, kā arī asaru plēvītes stāvoklis, un tās plīšana. Arī radzenes caurspīdīguma, formas, keratokonusa veidošanās kā arī citas radzenes izmaiņas, piemēram refrakcijas operācijas rada aberācijas, kā apgalvo *Artal, P., et. al. (2004)*. Aberācijas var ietekmēt gan redzes asumu, gan kontrastjutību, gan stereoredzi, akomodācijas funkcijas un arī citas redzes funkcijas. Aberāciju dēļ, uz tīklenes projicējās attēls, kas ir asimetrisks. Par acs aberāciju ietekmējošiem faktoriem var nosaukt vecumu, akomodāciju, zīlītes platumu, refrakcija, optisko vidu laušanas koeficienta izmaiņas, kā arī tīklenes stāvoklis, ekscentritāte. Palielinoties zīlītes platumam, palielinās arī aberāciju lielums, kā apgalvo *Lundström, L. (2007)*. Ir vairāki acs modeļi, ar kuru palīdzību cenšas izskaidrot aberācijas cēloņus, kā to apraksta *Winter, S. (2016)*, šī iemesla dēļ, nav vienota pieņēmuma par aberācijām cilvēka acī, jo aberācijas var būt katrā acs struktūrā atsevišķi, vai vairākās struktūrās kopā, līdz ar to aberācijas cilvēka acī var summēties un pastiprināties konkrētās acu struktūrās, kā arī samazināties vai pat dzēsties. Ideālā gadījumā, kad acī nebūtu aberāciju, uz tīklenes veidotos skaidrs attēls ar labu izšķirtspēju, bet aberāciju ietekmē attēla punkti kļūst miglaināki, vairāk izplūst.

Ir vairāki pētījumi, kuros nosaka hromatiskās aberācijas lielumu cilvēka acīs. *Wang, J., et. al.*, (2008) savā pētījumā noskaidroja, ka longitudinālā hromatiskā aberācija zīdaiņiem ir vidēji 1,62 D, bet pieaugušajiem vidēji 0,96 D, bet rakstos ir atrodams, ka vidējā longitudinālā hromatiskā aberācija ir aptuveni 2 D (*Cooper & Pease*, 1988). Transversālās hromatiskās aberācijas lielums horizontālā meridiānā ir aptuveni 1,8-2,5 arcmin., bet vertikālā meridiānā 0-1,1 arcmin (*Winter S., et. al.* 2016).

Tiek izdalītas arī augstāko kārtu aberācijas acīs, kas var ietekmēt refrakcijas attīstību, samazinātas attēla kvalitātes uz tīklenes dēļ, vai izmainot attēla fokusu plaknē (*Vincent, S. J., et. al.*, 2012, *Schwarz, C.*, 2013). Tas nozīmē to, ka viens no ambliopijas iemesliem var būt neskaidrs attēls uz tīklenes aberāciju ietekmē. Lai izpētītu šo aberāciju veidu, nepieciešams novērtēt pacienta redzes asumu, kontrastjutību un akomodāciju, kā apgalvo *Kang, J., et. al* (2015).

Pētnieki apgalvo, ka lielāka daļa aberāciju pētījumu tika vērtēti monokulāros apstākļos, bet tā kā cilvēkiem ir binokulāra redze, tas būtu nepieciešams vairāk pētījumu binokulāros apstākļos, jo rezultāti, kas iegūti mērot monokulāri, ir apšaubāmi, vērtējot to binokulāri.

Pastāv vairāki veidi, kā mazināt aberāciju radīto attēla kropļojumu. Ja ir nepieciešama redzes korekcija, tad aberāciju ietekmi var mazināt, izvēloties pēc iespējams mazākas briļļu lēcas, *Palmer, K.*, (2016) to izskaidro ar to, ka samazinoties lēcas izmēram, samazinās iespēja skatīties caur lēcas malām, kas arī rada pastiprinātas aberācijas. Viens no variantiem ir arī lēcu decentrācija uz leju par 3 mm. Vēl ir svarīgi izvēlēties briļļu lēcu materiālus ar augstāku Abbes vērtību, jo tas samazināsies lēcu aberāciju lielums.

## 1.2. Prizmas.

Prizma ir objekts, kas veidots no optiskiem materiāliem, kuru uzdevums ir gaismu staru virziena maiņa, gaismai izejot caur prizmu, radot šķietamu objekta attēla virziena maiņu. Tā ir ģeometriskā figūra, kurā ir divas paralēlas plaknes, pamats, un prizmu malas ir paralelograms. Prizmai izšķir pamatni jeb bāzi, virsotni. Prizmas laušanas koeficients ir lielāks nekā gaisam, tāpēc gaismas stari, kas iziet cauri prizmai, tiek laužti uz pamatnes jeb bāzes pusi. Prizmas stiprumu nosaka novirzes leņķis. Baltai gaismai izejot caur prizmu, rodas dispersija, kuras rezultātā baltā gaisma tiek sadalīta spektros, kur katram viļņa garumam jeb krāsai ir savs laušanas koeficients. *Palmer R.*, (2012) prizmatisko stiprumu apraksta kā

leņķisko attēla nobīdi par 1 prizmatisko dioptriju, objektam atrodoties 1 metra attāluma, izejot caur prizmu, kad attēla projekcija pārbīdās par 1 cm. Attēla pārvietojums notiek prizmas virsotnes virzienā. Palielinoties prizmatiskajam stiprumam, rodas lielāka dispersija, līdz ar to palielinās transversālo hromatisko aberāciju ietekme (*Winter, S., 2016*).

### **1.3. Transversālo aberāciju mērīšanas metodes.**

Pastāv vairākas transversālo hromatisko aberāciju mērīšanas metodes, kuras var iedalīt subjektīvajās un objektīvajās (*Winter S., 2016*). Subjektīvajās metodēs pētījuma dalībniekam pēc noteiktiem kritērijiem pašam jāsniedz atbildi, līdz ar to tiek ierobežota precizitāte. Objektīvajās metodēs viss atkarīgs no pētījuma veicēja un aparātūras, līdz ar to rezultāti nav atkarīgi no pētījuma dalībnieka personīgās interpretācijas.

*Winter, S. (2016)* apraksta, ka attēlu kvalitātei uz tīklenes ir nozīmīga transversālo hromatisku aberāciju pētīšanā. Liela ietekme ir arī kontrasta izmaiņām un palielinājumā, kas rodas uz tīklenes. Ir jau iepriekš pierādīts, ka aberācijas ne tikai rada attēla kropļošanu, izplūšanu un krāsainu malu parādīšanos, bet arī tiek samazināta kontrasts tīklenes attēlā. Šī kontrasta izmaiņas ir atkarīgas no telpiskās frekvences.

#### **1.3.1. Subjektīvās transversālo hromatisko aberāciju mērīšanas metodes.**

*Winter S., (2016)* apraksta, ka lielākā daļa transversālo hromatisko aberāciju mērījumi ir bijuši subjektīvi. Jaunākie pētījumi liecina, ka transversālo hromatisko aberāciju lielums fovejā ir līdz aptuveni 8 loka minūtēm, izmantojot spektrālo diapazonu no 430-770nm, bet tomēr katrā pētījumā atšķiras mērīšanas principi un izvēlētais gaismas spektrs. Viena no metodēm ir bijusi tāda, ka pētījuma dalībniekam tika lūgts saskaņot līnijas attēlu, kurš ir īso mirgojošo viļņu garumu, kas bija 435nm, līnijas attēlu attiecībā pret fiksēto garo viļņu garumu, kas bija 572nm, līnijas attēlu tā, lai līnijas veidotu vienotu attēlu, izmantojot specializētu datorprogrammu. *Bar, N., & Meslin, D., (1998)* pētījumā pētījuma dalībnieka uzdevums bija fiksēt uz melnā stimula, kas atrodas uz baltā fona, un mainot prizmu lielumu, bija jānosaka kad ir redzama krāsaina maliņa, kā arī noteikts redzes asums katrā no mērījumiem. *Winter S., (2016)* apraksta, ka citas pētījumos biežāk izmantotās metodes ir Vernjē saskaņošanas metode. Ir arī pētījumi, kur izmanto telpisko refraktometru. Kā ziņo pētnieks, ir bijuši ļoti maz pētījumi saistībā ar transversālo hromatisko aberāciju un redzes

perifēriju. Līdz ar to tiek pierādīts, ka jāturpina uzlabot metodika, lai sasniegtu labāku atkārtojamību, pētot transversālo hromatisko aberāciju ietekmi uz redzi.

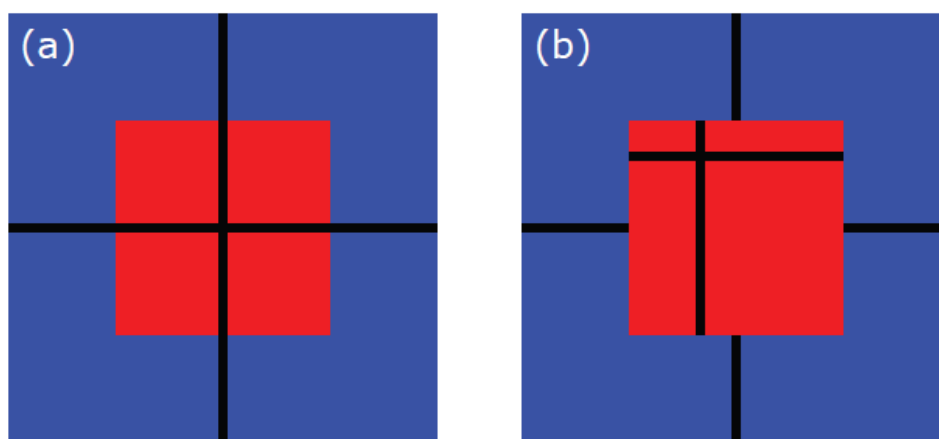
### **1.3.2. Objektīvās transversālo hromatisko aberāciju mērīšanas metodes.**

Winter S., (2016) apgalvo, ka lai raksturotu transversālo hromatisko aberāciju, būtu nepieciešams izveidot objektīvu metodi tā noteikšanai. Iepriekš aprakstītās subjektīvās metodes darbojās pēc principa, ka vienā mērījuma reizē gaisma iziet vienu reizi caur aci, attēls tiek veidots uz tīklenes, un pētījuma dalībniekam tiek lūgts veikt subjektīvu spriedumu ar noteiktiem kritērijiem. Lai varētu novērtēt objektīvi, būtu nepieciešams, lai gaisma pēc pirmā posma varētu izietu no acs, izmantojot iespēju novērtēt objektīvi acs optiskās īpašības un attēla kvalitāti uz tīklenes. Diemžēl šāda metode nav iespējama, jo ir daudz blakus faktoru, kas ietekmē to, piemēram zīlītes izmaiņas, kā arī gaismas stars, kas iziet caur zīlītes centru, tīklenē koncentrēties dažādās vietās, bet atspoguļotai gaismai izejot to pašu ceļu atpakaļ, atkal būs dispersija, līdz ar to mērījumus, kas ir uz tīklenes, novērtēt nav iespējams. Tāpēc tika izstrādāta jauna tehnoloģija, kas spēj pārvarēt šos šķēršļus lai objektīvi izmērītu transversālo hromatisko aberāciju lielumu ar dubulto caurlaides tehniku. Šī metode, kad tīklenes telpiskā struktūra reģistrē augstas izšķirtspējas attēlus ar adaptīvo optisko skenēšanas lāzera oftalmoskopu, kur izmatoti divi viļņu garumu attiecība starp ierakstītu tīklenes attēlu un transversālās hromatiskās aberācijas izraisītā attēla pārvietojuma uz tīklenes. Šī metode izstrādāta speciālam acs modelim, un ir novērots, ka transversālās hromatiskās aberācijas leņķis atradās uz temporālo pusi attiecībā pret optisko asi izmantotā acs modelī (Winter S., 2016).

### **1.3.3. Vernjē saskaņošanas metode.**

Winter S., (2016) apraksta Vernjē saskaņošanas metodi kā spēju noteikt divu objektu, divu punktu vai divu pozīciju, nesaskaņotību jeb nesavienošanos vienā pozīcijā vai attēlā-veidojot 2 dažādus, savstarpēji nesavienotus punktus vai stimulus dažādās pozīcijās. Šo metodi izmanto transversālo hromatisko aberāciju mērīšanai. Metodē pētījuma dalībniekam tiek aizsegta viena acs, pētījums notiek monokulāri, lai pētījuma rezultātus neietekmētu binokulārā redze un fūziju darbība, jo pārbīdot vienas acs attēlu, tiek pastiprināta fūziju darbība. Šajā metodē ir divas melnas svītras, katra uz sarkanā fonā un uz zilā fona. Svītras ir savstarpēji perpendikulāras, sākuma pozīcija viņas ir nobīdītas savā starpā. Sarkanais laukums

ir mazāks par zilo laukumu, un atrodas zilajam laukam tieši pa vidu. Melnās perpendikulārās līnijas uz abiem laukumiem veido krustu, bet uz sarkanā fona, šīs līnijas var izbīdīt, izmantojot speciālu datorprogrammu vai Wratten filtrus (Rynders, M., et. al., 1995). Šīs metodes pamata ir melno krustu, kas atrodas sarkanajā laukumā, izbīdīt tā, lai tas sakrīt ar lielo krustu zilajā laukumā, kas parādīts attēlā 1.5. Fona krāsu izvēle noteikta, jo prizmas sarkano krāsu lauž ar vismazāko laušanas leņķi, bet zilo gaismu ar lielāku laušanas leņķi, tādējādi radot lielāku disociācijas pakāpi, kā rezultātā gaismas stars izejot caur prizmu tiek laužts dažādos fokālajos punktos- sarkanās krāsas fokusa punkts būs tālāk no prizmas, nekā zilās gaismas fokusēšanās punkts. Tranversālās hromatiskās aberācijas ietekmē zūd attēla kvalitāte, un krustu sabīdīšana tiek traucēta. Leņķiskais lielums krustu savstarpējā nobīdē tiek pieņemts par aberācijas lielumu leņķiskajās mērvienībās. Par aberācijas lieluma mērvienību uzskata par aberāciju radītā leņķiskā lieluma attiecību pret prizmas lielumu- aberācijas leņķiskais lielums pret prizmas lielumu. Šī metode nav precīza, lai mērītu perifērās redzes izmaiņas aberāciju ietekmē. Šajā metodē, pētījuma dalībniekiem pie acs pieliek prizmas vai liela stipruma optiskās lēcas, lai aberāciju rezultātā attēla kvalitāte pasliktinātos, un saskaņošanas laikā rodas neprecizitātes (Winter, S., et al, 2015).



**1.5. attēls.** Vernjē saskaņošanas metode. Attēlā a ir parādīti divi laukumi, lielāks zilais laukums, kutam pa vidu perpendikulāri novietotas melnas līnijas, veidojot krustu, un mazāks sarkanais laukums, kas atrodas tieši pa vidu zilajam laukumam, kurā arī pa visu novietotas perpendikulārās līnijas, veidojot vienu kopējo krustu. Attēlā a parādīts pētījuma dalībnieka uzdevums, kā jāizskatās savienotām līnijām kopā. Attēlā b ir pētījuma sākuma pozīcija, kad perpendikulārās līnijas uz sarkanā fona ir izbīdītas. Ar specializētu datorprogrammu, pētījuma dalībnieka uzdevums būs savietot līnijas, kas atrodas uz sarkanā fona kopā ar līnijas, kas atrodas uz zilā fonā, līdzīgi kā attēlā a, kad acs priekšā atradīsies prizma. Winter S., (2016).

Winter, S., et al, (2015) veica pētījumu, kurā, izmantojot Vernjē saskaņošanas metodi, salīdzināja transversālo hromatisko aberāciju ietekmi uz redzi, izmantojot prizmas, gan bāzi uz iekšu, gan uz āru, dažādiem prizmatiskiem stiprumiem. Pētījuma mērķis bija salīdzināt transversālo hromatisko aberāciju ietekmi gan tīklenes centrālajās daļās, gan perifērijā. Winter, S., et al, (2015) pētījums pierādīja, ka subjektīvi transversālā hromatiskā aberācija stiprāk tiek uzjūsta tīklenes perifērijā, nekā centrālajās daļās, tātad perifērā daļa ir jūtīgāka uz aberācijām. Līdz ar to var secināt, ka prizmatiskais efekts augstas pakāpes brillu lēcās būs izteiktāks un var radīt papildus transversālo hromatisko aberāciju.

#### 1.3.4. Kontrastjutība, tā mērīšana.

Pētot aberāciju ietekmi uz redzes kvalitāti, svarīgi arī pievērst uzmanību kontrastjutībai, jo iepriekšējos pētījumos tika pierādīts, ka palielinoties aberāciju ietekmei, kontrastjutība samazinās. Kontrastjutība apzīmē starpību starp objektu un fonu. Winter, S. (2016) apraksta, ka kontrasta pakāpi nosaka ar Maikelsona kontrasta formulu:  $CM = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$ , kur CM apzīmē kontrastjutību,  $L_{min}$  apzīmē minimālo režģa luminanci jeb spožumu, bet  $L_{max}$  apzīmē maksimālo režģa luminanci jeb spožumu. Zema kontrastjutība apzīmē ļoti lielu kontrastu, bet augsta kontrastjutība apzīmē zemu kontrastu. Kontrastam nav mērvienības, biežāk to izsaka procentos. Kontrastjutība apzīmē spēju atšķirt objektu no apkārtējā fona, un tas ir apgriezts lielums kontrastam. Kad pie augstām telpiskām frekvencēm ir samazināta kontrastjutība, par tā iemesliem tiek uzskaitīti aberācija, gaismas izkliede un difrakcija. Bet ja kontrastjutība samazināta pie zemām frekvencēm, to saista ar neiroloģijas īpatnībām.

Pelli, Robson, & Wilkins, (1988) apraksta kontrastjutības mērīšanas metodi, ko arī nosauca par Pelli-Robson kontrastjutības karti. Šīs kartes pamatā izmanto vienāda lieluma burtus, kuru kontrasts pakāpeniski samazinās, skatoties uz leju. Ir arī citas kontrastjutības mērīšanas metodes, piemēram Vistech tests. Šis tests veidots no sešām rindām, kur katrā rindā ir restes, katra ar savu kontrastu, bet to savstarpējā orientācija atšķiras. Pacienta uzdevums noteikt restītes novietojumu, apskatot katru no augšu, ejot uz leju, līdz nevar nosaukt virzienu (Pesudovs, et. al. 2004). Mērot kontrastjutību, svarīgi arī zināt redzes asumu, jo ja samazināts redzes asums, kontrastjutības mērījumi nebūs objektīvi. Kontrastjutību mēra ne tikai aberāciju ietekmes izpētē, bet arī lai izvērtētu redzes funkcijas, redzes struktūras un patoloģijas (Adams, R.J. & Courage, M. L. 2002).

## 2. PĒTĪJUMA DAĻA

Darba mērķis:

Novērtēt hromatiskās aberācijas ietekmi uz redzes funkcijām.

Darba Uzdevumi:

1. Izveidot specializētu datorprogrammu, aberāciju ietekmes uz redzi mērīšanai.
2. Ar Vernjē saskaņošanas (*Vernier alignment*) metodi novērtēt hromatiskās aberācijas lielumu, liekot priekšā acij dažāda stipruma prizmas.
3. Noteikt hromatiskās aberācijas ietekmi uz redzes asumu.

### 2.1. Pētījuma dalībnieki

Pētījumā piedalījās 13 dalībnieki vecumā no 20 līdz 30 gadiem. Tika atlasīti pētījuma dalībnieki, kuriem nav nepieciešama redzes korekcija, vai redzes asuma korekcijā izmanto mīkstās kontaktlēcas un kuru redzes asums vadošajā acī nav mazāks par  $V=0,8$ . Pētījuma dalībniekiem nav jābūt šķielēšanai, kā arī labi rezultāti krāsu redzes testos.

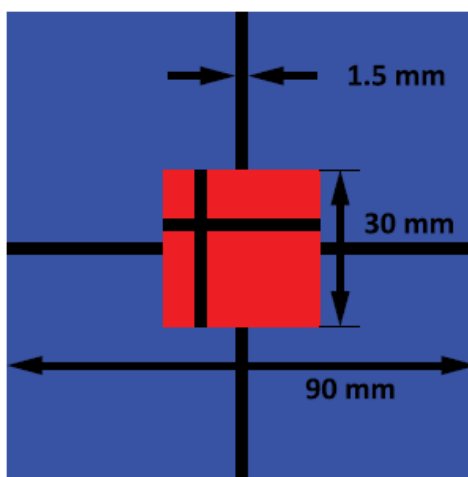
Kā kontrolgrupa tika izmantoti pētījuma dalībnieku rezultāti, mērot hromatisko aberāciju vertikālās forijas jeb izvērtējot datorprogrammā esošās horizontālās līnijas nobīdi. Vertikāli novietotas prizmas bāzes virziens ietekmē vertikālās līnijas nobīdi. Šādi novietotai prizma neietekmē horizontāli novietoto līniju.

### 2.2. Pētījuma metodika

Pētījuma sākumā tika novērtēts pētījuma dalībnieku redzes asums, vadošā acs un krāsu redze. Pētījumā tika novērtēta kreisās acs hromatiskās aberācijas ietekme, bet labā acs tiek aizklāta ar oklūderi. Pētījumā tika izmantotas 3 dažādu stiprumu prizmas, kuru stiprumi ir 5, 10 un 15 prizmatiskās dioptrijas, gan bāze uz iekšu (BIE), gan bāze uz āru (BĀ). Prizmas tika ievietotas proves rāmī, sākumā visu prizmu stiprumi tika ievietoti ar bāzi uz iekšu, tad ar bāzi uz āru. Arī tika novērtēts stāvoklis bez prizmām.

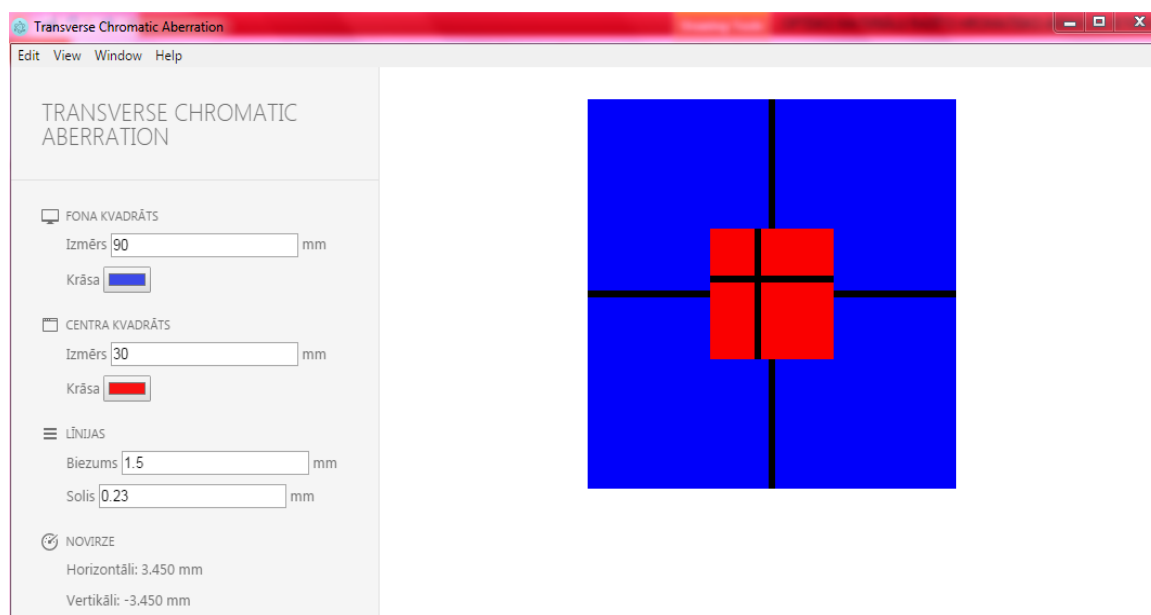
Pētījumā tika izmantota speciāli izstrādātā datorprogramma aberāciju ietekmes mērīšanai- *Vernjē* saskaņošanas metode. Tika izveidota specializēta datorprogramma, kur uz

datora monitora, kas atrodas 2,6 metru attālumā no pētījuma dalībnieka acs, tiek rādīts stimuls, kas parādīts attēlā 2.1. attēlā. Ekrāna vidū zils kvadrāts, kura lielums 90 mm. Kvadrāts vizuāli tiks sadalīts 4 vienādās daļās ar divām melnām līnijām, kuru platums 1,5 mm, kas iet perpendikulāri un krustojās kvadrāta vidū. Zilā kvadrāta vidū atradīsies mazāks sarkans kvadrāts, kuras malas garums ir 30 mm. Sarkanā kvadrāta vidū atradīsies 2 melnas līnijas, kuru platums sakrīt ar zilā kvadrāta līnijām- 1,5mm. Šo līniju virziens sakrīt ar zilā kvadrāta virzienu, kas arī perpendikulāri krustojās. Šo līniju novietojumu ir iespēja manuāli mainīt. Sākuma pozīcijā sarkanā kvadrāta līnijas tiek izbīdītas, pētījuma dalībniekam ir nepieciešams šīs līnijas savietot ar zilā kvadrāta līnijām tā, lai abu kvadrātu līnijas sakrīt, izveidojot kopēju attēlu, ar vienādi vērstām 2 līnijām ar vienu krustpunktu sarkanā kvadrāta vidū. Datorprogramma norāda precizitātes lielumu, jeb cik daudz zilā kvadrāta līnijas sakrīt ar sarkanā kvadrāta līnijām. Aberāciju ietekmē, līniju savienošana būs apgrūtināta, kā rezultātā sarkanā kvadrāta līnijas tiks izbīdītas un nesakrītīs ar zilā kvadrāta līnijām. Datorprogramma norāda lielumu, cik daudz ir šo līniju nesakrītība milimetros. Ar formulu tika pārrēķināts milimetru lielums loka minūtēs. Sākuma pozīcijā, kad prizmas nebūs pieliktas pie acs, līnijām jābūt savietotam maksimāli precīzām. Pieaugot prizmas lielumam, jāpieaug līniju nesakrītības attālumam, kas arī apzīmē aberāciju lieluma maiņu ietekmi uz redzes asumu. Katrs mērījums tiks mērīts piecas reizes, lai varētu nomērīt standartklūdu.



**2.1. att.** Pētījuma dalībnieka stimuls, kas tiks rādīts uz datora monitora ekrāna, 2,6m attāluma no pacienta vadošās acs. Melnās līnijas pacienta dalībnieks bīdīs tā, ka tās sakrīt ar zilā kvadrāta līnijām. Prizmu aberāciju lieluma ietekmē- stimula attēla kvalitāte samazināsies, kā rezultātā radīsies nobīde starp sarkanā kvadrāta melnajām līnijām un zilā kvadrāta līnijām. Datorprogramma rādīs attālumu, par cik abu kvadrātu līnijas nesakrīt.

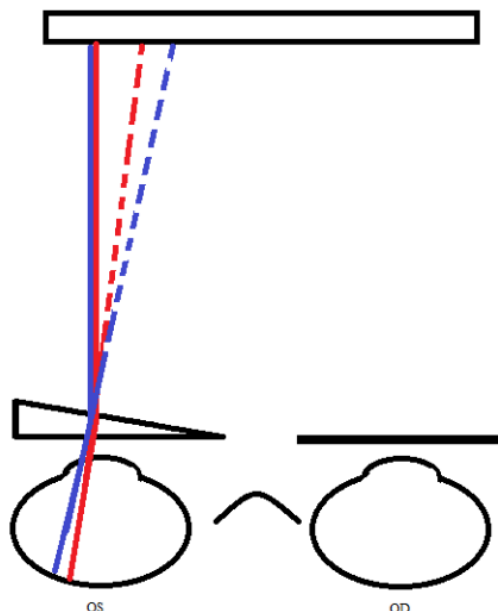
Izstrādātās programmas zilā kvadrāta malas garums ir 90 mm, krāsa RGB (0;0;255). Kvadrāta vidū atrodas melns kvadrāts ar malas garumu 30 mm. Sarkanā kvadrāta krāsa ir RGB (255;0;0). Gan kvadrātu izmērus, gan krāsu var manuāli mainīt. Melno līniju biezums ir 1.5 mm jeb 0.3 loka minūtes, to arī ir iespējams mainīt. Solis, ar kādu tiek bīdīts sarkanajā kvadrātā esošās melnās līnijas ir 0.23mm. Šī soļa lielumu arī ir iespēja mainīt. Novirze automātiski tiek parādīta milimetros, gan horizontālā virzienā, gan vertikālā. Ar pozitīvu vērtību tiek norādīta līnijas novirze uz augšu horizontālai līnijai un pa labi vertikālai līnijai. Ar negatīvām vērtībām tika atzīmēta vertikālās līnijas novirze pa kreisi, bet horizontālās līnijas novirze uz leju. Tā kā visi parametri ir maināmi, šo programmu ir iespējams pielietot dažādiem attālumiem. Standartā attālums no monitora līdz pētījuma dalībnieka acij ir 2,6 m.



**2.2. att.** Izstrādātā datorprogramma aberāciju ietekmes mērīšanai ar *Vernjē* saskaņošanas metodi. Programma ļauj novērtēt sarkanajā kvadrātā esošo līniju novietojuma attālumu attiecībā pret zilā kvadrātā esošajām melnajām līnijām milimetros. Arī izmēri un parametri ir maināmi, kas ļauj programmu pielietot dažādiem attālumiem.

2.3. attēlā ir parādīta zilās un sarkanās gaismas staru gaita izejot caur prizmu, projicējoties uz tīklenes un sarkanās un zilās gaismas attēla nobīde, pieliekot priekšā kreisai acij prizmu ar bāzi uz āru. Prizma ar bāzi uz āru rada attēla nobīdi kreisajai acij pa labi jeb uz deguna pusi. Tā kā prizmas radītā dispersija zilo gaismas staru lauž vairāk par sarkano, tad uz tīklenes zilā gaisma projicēsies uz labo pusi nekā sarkanā gaisma, un attēla projekcija būs uz labo pusi vairāk zilajai gaismai, nekā sarkanai. Tā kā uzdevums ir sabīdīt vertikālo līniju uz sarkanā fona esošo melno līniju ar uz zilā fona esošo melno līniju, tad melnās līnijas uz

sarkanā fona nobīde ir uz kreiso pusi. Pieliekot prizmu kreisai acij ar bāzi uz iekšu, ir pretējā situācija- attēls tiek nobīdīts pa kreisi, un melnā līnija uz sarkanā fona ir vairāk pa labi nekā melnā līnija uz zilā fona, līdz ar to veicot testu Vernjē saskaņošanas metodes datorprogrammā, melnās līnijas uz sarkanā fona nobīde novērojama pa labi.



**2.3. att.** Sarkanās un zilās gaismas stari acīs, kas nāk no Vernjē saskaņošanas metodes datprprogrammas attēla, pieliekot kreisās acs- OS priekšā prizmu ar bāzi uz āru. Stimula attēls pēc zilās un sarkanās gaismas projekcijas acī, kas prizmas dēļ tiek nobīdīts pa labi, kur zilās gaismas stars ir vairāk nobīdīts pa labi nekā sarkanās gaismas stars. Labā acs- OD ir aizklāta ar aizklājēju.

### 2.3. Datu apstrāde

Specializētā datorprogramma nosaka melno līniju uz abiem foniem nesakrītības lielumu milimetros. Šis lielums tika pārrēķināts leņķiskajā lielumā, loka minūtēs, izmantojot nobīdes attālumu un stimula attālumu no pacienta acs pēc formulas-  $\text{tg}\alpha = h/d$ , kur  $\alpha$ - nobīdes leņķis,  $h$ - nobīdes lielums,  $d$ - attālums no pacienta acs līdz stimulam. Jo lielāks nobīdes leņķis, jo lielāka aberāciju ietekme uz redzes asumu un attēla kvalitāti. Redzes asums katrā pētījumā posmā- bez prizmas un ar katru prizmas stiprumu un virzienu tika noteikts ar datorprogrammas FrACT palīdzību, pielāgojot to tādām pašām attālumiem, kā Vernjē saskaņošanas datorprogrammā- 2,6 m. Redzes asuma novērtēšana notika 5 reizes pie katras prizmas bāzes virziena un stipruma. Datu statistikas apstrādē tika izmantots T tests un grafiskā rezultātu analīze.

## 2.4. Pētījumā izmantotās prizmas.

Šajā pētījumā tika izmantotas prizmas no proves kastes, kuru laušanas koeficients un Abbes vērtība nav zināma. Tika mēģināts praktiski izmērīt un aprēķināt laušanas koeficientu izmantotajām prizmām. Sākumā tika izmērīts prizmas virsotnes leņķis prizmām no proves kastes, ar prizmu stiprumiem 5, 7, 9, 10 prizmatiskās dioptrijas. Mērījumi tika atkārtoti vairākas reizes, lai uzlabotu mērījumu precizitāti. Mērījums tika veikts, izmantojot prizmas ar dažādiem stiprumiem, 2 metāla stienīši, zīmulis un transportieris. Pieliekot metāla stienīšus pie prizmas virsotnes, uz papīra tika uzzīmēts prizmas virsotnes leņķis, kas tika izmērīts ar transportieri. Mērījuma precizitāte ir viens grāds, kas ļoti būtiski ietekmē pētījuma rezultātus.

Tika izmērīts, ka prizmai ar stiprumu 5 prizmatiskās dioptrijas virsotnes leņķis ir 5 grādi un seši grādi, prizmai ar stiprumu 7 prizmatiskās dioptrijas leņķa virsotnes lielums ir 7 un 8 grādi, prizmai ar stiprumu 9 prizmatiskās dioptrijas leņķa virsotnes lielums vidēji 8.5 un 9 grādi, bet prizmai ar stiprumu 10 prizmatiskās dioptrijas virsotnes leņķa lielums ir 10 grādi. Aprēķinot katras prizmas nolieces leņķi grādos, tika izteikts prizmas laušanas koeficients  $n'$  pēc formulas  $n' \cdot \sin \beta = n \cdot \sin(\beta + \epsilon)$ , kur  $\beta$  ir virsotnes leņķis,  $n'$  ir prizmas laušanas koeficients,  $n$  ir laušanas koeficients gaisam un  $\epsilon$  ir nolieces leņķis.

### 2.1. tabula

Aprēķinātie prizmu laušanas koeficienti dažāda stipruma prizmām.

Prizmas stiprums, prizmatiskās dioptrijas	Virsotnes leņķis, grādi	Laušanas koeficients
5	5	1,570
5	6	1,474
7	8	1,494
7	7	1,566
9	9	1,562
9	8,5	1,596
10	10	1,559
Vidējā vērtība		1,546

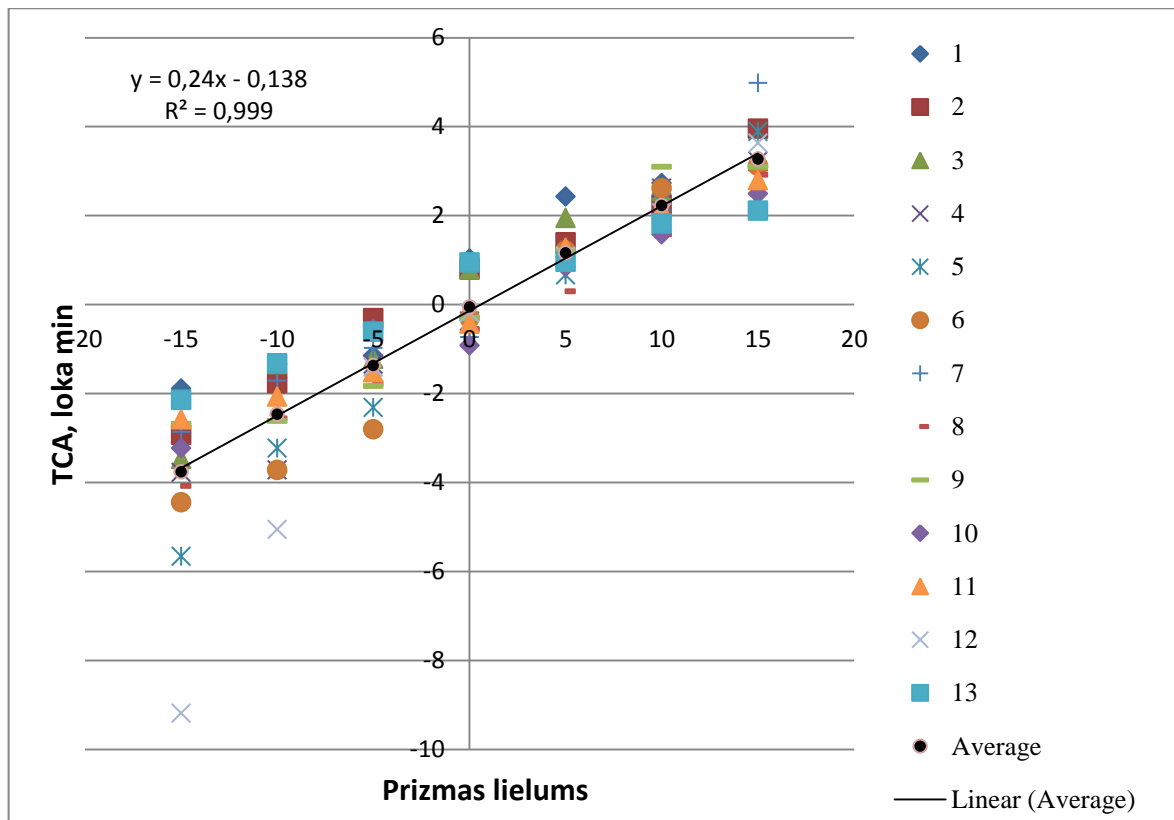
Aprēķinātie prizmu virsotnes leņķi un laušanas koeficienti ir redzami tabulā 2.1. Tā kā transportiera precizitāte ir 1 grāds, kas būtiski ietekmē mērījuma precizitāti, jo 1 grāds ietekmē laušanas koeficienta rezultātu par 0,08 vienībām. Aprēķinātā materiāla laušanas koeficienta vidējā vērtība ir 1.546. Šāds materiāla laušanas koeficients var atbilst organiskam

stiklam jeb polimetilmetakrilātam (PMMA), kura laušanas koeficients  $n= 1.49$  ar Abbes vērtību  $V=58$ , vai polimēra materiāls CR 39, ar laušanas koeficientu  $n=1,498$  ar Abbes vērtību  $V=58$ . Tie ir arī biežāk izmantotie lēcu materiāli proves lēcās un prizmās. Tika pieņemts, ka izmantoto prizmu Abbes vērtība ir  $V=58$ , kura tiks izmantota transversālās hromatiskās aberācijas teorētiskajos aprēķinos, lai salīdzinātu ar pētījumā iegūtajiem datiem.

## 2.5. Rezultāti un rezultātu analīze

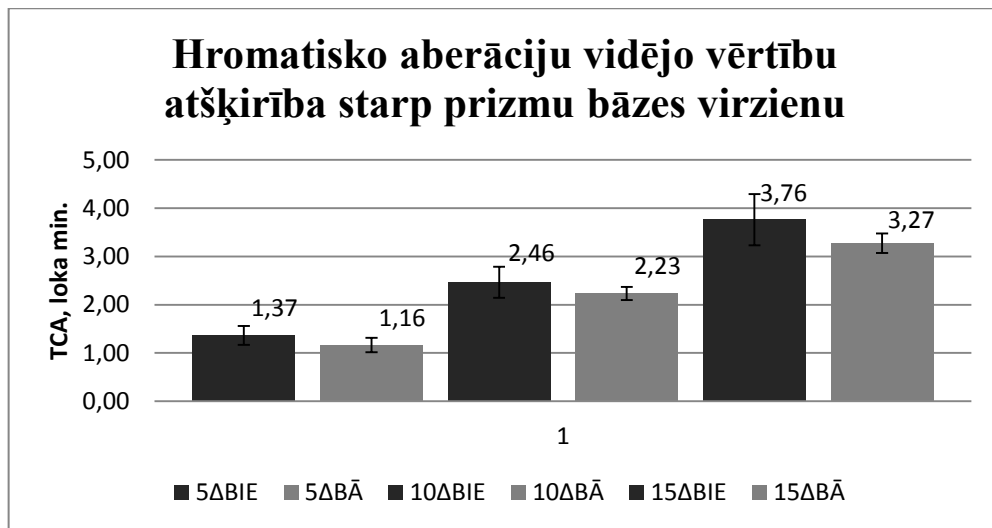
Pētījumā dati tika apstrādāti no 13 pētījuma dalībniekiem- vecumā no 20-30 gadiem (7 sievietes, 6 vīrieši). 9 pētījuma dalībniekiem vadošā acs ir kreisā, tā, kura tiek novērtēta pētījuma gaitā, un 4 ar vadošo labo aci. Būtiska starpība starp šo pētījuma dalībnieku datiem netika novērota. 5 pētījuma dalībnieku redzes asums bija lielāks par 1.0 decimālajās vērtībās jeb 0.00 LogMAR vienībās. Pērējiem pētījuma dalībniekiem bija kontaktlēcu korekcija, ar kuru redzes asums bija virs 0.8 decimālām vienībām jeb virs 0.10 LogMAR vienībām.

Visiem pētījuma dalībniekiem tika noteikts redzes asums bez prizmām, arī datorprogrammas Vernjē saskaņošanas metode bez prizmām. Tad tika noteikts redzes asums un nobīdes lieluma vērtība pie katra prizmas stipruma un bāzes virziena. Horizontālās forijas jeb vertikālās līnijas nobīdes pārrēķinātās transversālās hromatiskās aberācijas lielums (TCA) loka minūtēs parādīts 2.4. attēlā. Sākumā pozīcijā, jeb bez prizmas, ir novērojama vidējā transversālās hromatiskās aberācijas vērtība, kas ir tuvu nulles vērtībai  $0.05 \pm 0.19$  loka minūtes. Attēlā 2.4 ir redzams, ka palielinoties prizmas stiprumam, palielinās transversālās hromatiskās aberācijas lielums. 5 prizmas ar bāzi uz iekšu rada transversālo hromatisko aberāciju ar vidējo vērtību  $1,37 \pm 0.20$  loka minūtes, bet bāze uz āru  $1.16 \pm 0.15$  loka minūtes. 10 prizmas ar bāzi uz iekšu rada hromatisko aberāciju vidēji  $2.46 \pm 0.32$  loka minūtes, bet 10 prizmas ar bāzi uz āru rada  $2.23 \pm 0.13$  loka minūtes. 15 Prizmas bāze uz iekšu rada vidēji  $3.76 \pm 0.53$  transversālo hromatisko aberāciju lokā minūtēs, bet bāze uz āru  $3.27 \pm 0.20$  loka minūtes. Determinācijas koeficients  $R^2=0.99$  norāda, ka korelācija starp prizmas lielumu un transversālo hromatisko aberāciju ir augsta. No tā var secināt, ka palielinoties prizmas stiprumam, palielinās arī transversālā hromatiskā aberācija, un izveidotā datorprogramma ļauj novērtēt transversālās hromatiskās aberācijas vērtību. Tika arī aprēķināts, ka viena prizma rada transversālo hromatisko aberāciju vidēji 0.24 loka minūtes.



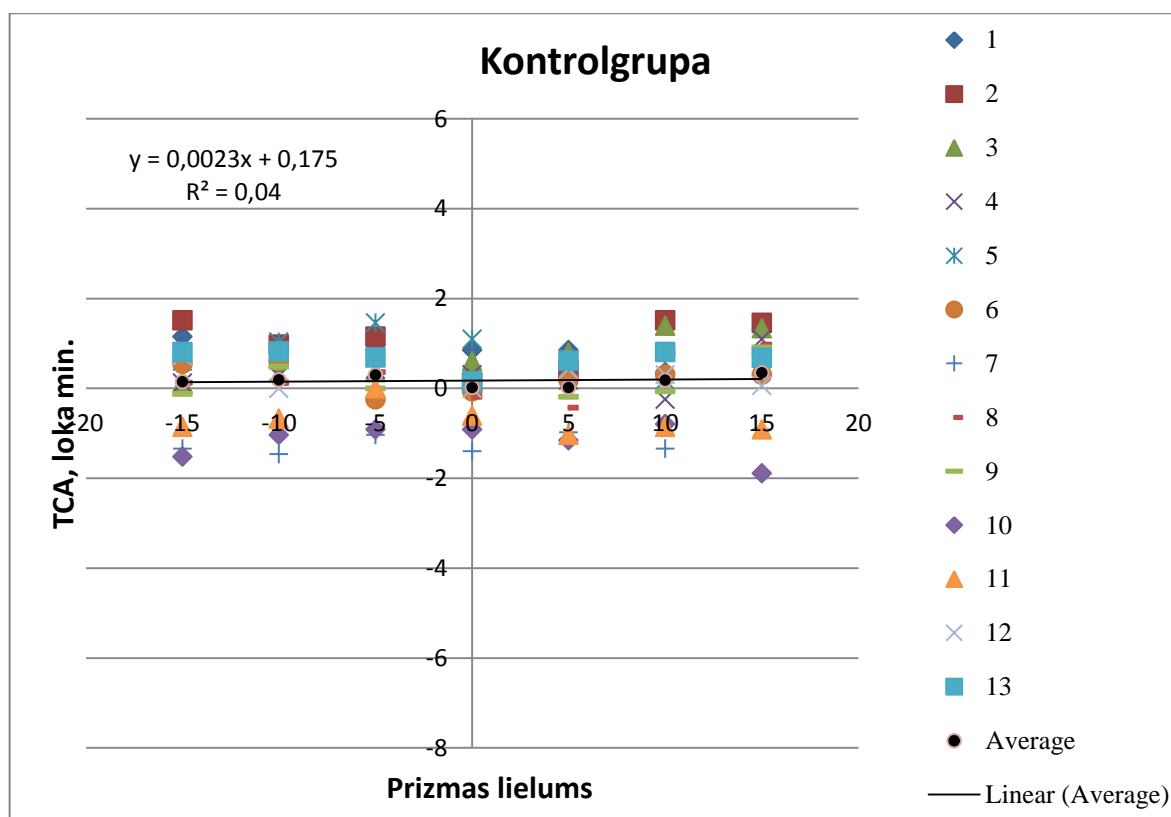
**2.4. att.** Grafikā parādīta horizontālās forijas jeb transversālās hromatiskās aberācijas (TCA) loka minūtēs atkarībā no prizmas stipruma un virziena. Ar 0 prizmas vērtību apzīmēts stāvoklis bez prizmas. Ar pozitīvām prizmas stiprumiem apzīmēta prizma ar bāzi uz āru. Ar negatīvo prizmas stiprumu apzīmēta prizma ar bāzi uz iekšu. Pozitīvās vērtības transversālās hromatiskās aberācijas lielums loka minūtēs apzīmēta vertikālās līnijas nobīde pa labi, bet ar negatīvo- nobīde pa kreisi.

Salīdzinot vidējās transversālās hromatiskās aberācijas vērtības starp prizmu bāzi uz iekšu un prizmu ar bāzi uz āru, kas parādīts attēlā 2.5., ir redzams, ka starp bāzi uz iekšu un bāzi uz āru nav statistiski būtiska atšķirība ( $p > 0,05$ ; *paired t-test*; *two-tailed*). Tas parāda, ka hromatisko aberāciju ietekmē prizmas stiprums, jo palielinoties prizmas stiprumam, palielinās transversālās hromatiskās aberācijas vērtība, bet prizmas bāzes virziens statistiski būtiski neietekmē transversālās hromatiskās aberācijas lielumu.



**2.5. att.** Grafikā parādīta hromatisko aberāciju vidējo vērtību atšķirība starp prizmas bāzes virzienu. Ar tumšāku stabiņu norādīta vidējā vērtība novirzei loka minūtes prizmai ar virzienu bāze uz iekšu (BIE). Ar gaišākiem stabiņiem norādīta vidējā vērtība vertikālās līnijas novirzei loka minūtēs prizmai ar bāzi uz āru (BĀ).

Kā kontrolgrupa tika izmantoti pētījuma dalībnieku dati, kas iegūti mērot vertikālo foriju jeb horizontālās līnijas nobīdi. 2.6. attēlā ir redzams, ka vertikālās forijas, jeb transversālās hromatiskās aberācijas ietekme ir statistiski nenozīmīga, determinācijas koeficients  $R^2 = 0.04$  norāda, ka nepastāv korelācija starp vertikālās forijas transversālās hromatiskās aberācijas lielumu lokā minūtēs starp prizmas stiprumu, jo vidējā transversālās hromatiskās aberācijas vērtība pie visiem prizmas stāvokļiem un bez prizmas ir tuvu 0, kas tiek arī statistiski pierādīts. Tas liecina par to, ka prizmas bāzes virziens uz āru vai uz iekšu neietekmē vertikālās forijas jeb datorprogrammā savienojot horizontālo līniju, transversālās hromatiskās aberācijas ietekme nav statistiski būtiska, līdz ar to, izveidotā datorprogramma ļauj novērtēt hromatiskās aberācijas lielumu loka minūtēs.

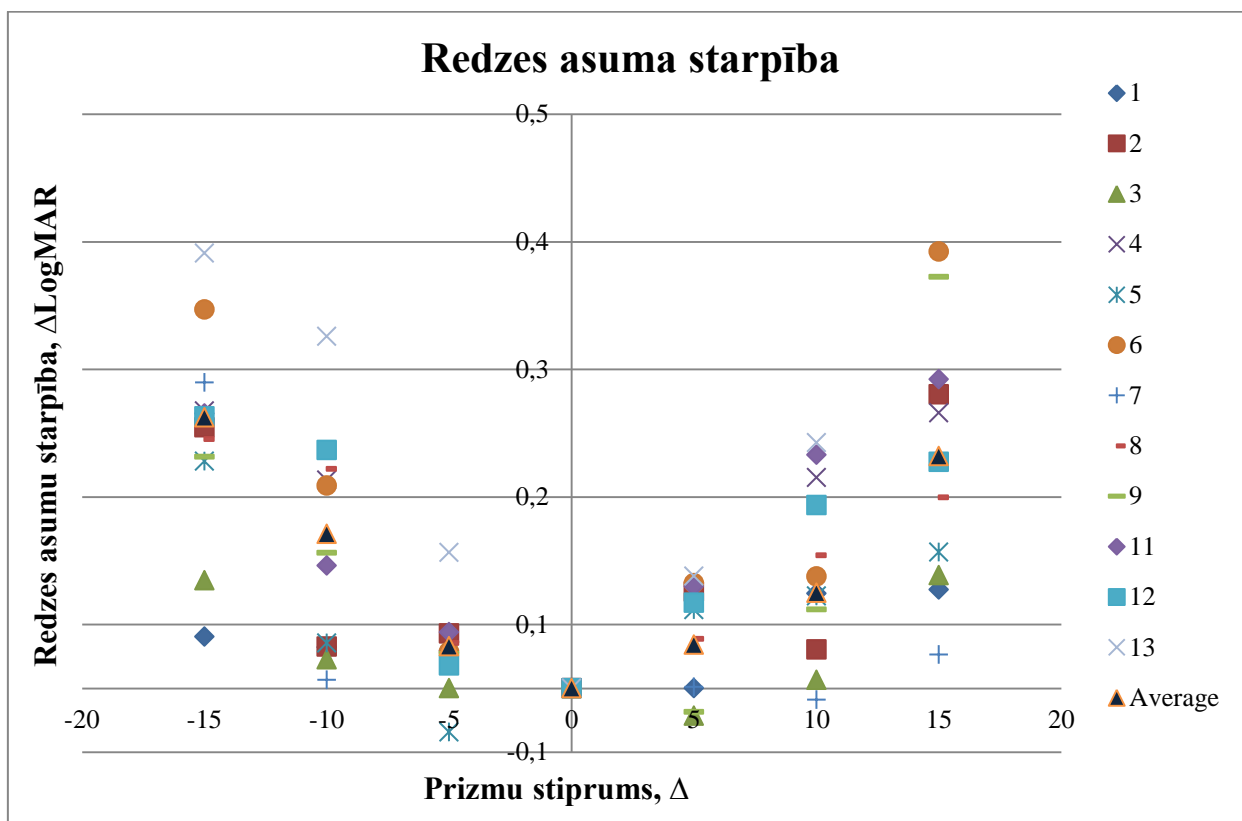


**2.6. att.** Grafikā attēlota vertikālās forijas jeb transversālās hromatiskās aberācijas (TCA) loka minūtēs visiem pētījuma dalībniekiem atkarībā no prizmas stipruma un prizmas bāzes virziena. Ar pozitīvām prizmas stiprumiem apzīmēta prizma ar bāzi uz āru. Ar negatīvo prizmas stiprumu apzīmēta prizma ar bāzi uz iekšu. Pozitīvās vērtības transversāls hromatiskās aberācijas lielums loka minūtēs apzīmēta horizontālās līnijas nobīde uz augšu, bet ar negatīvo- nobīde uz leju.

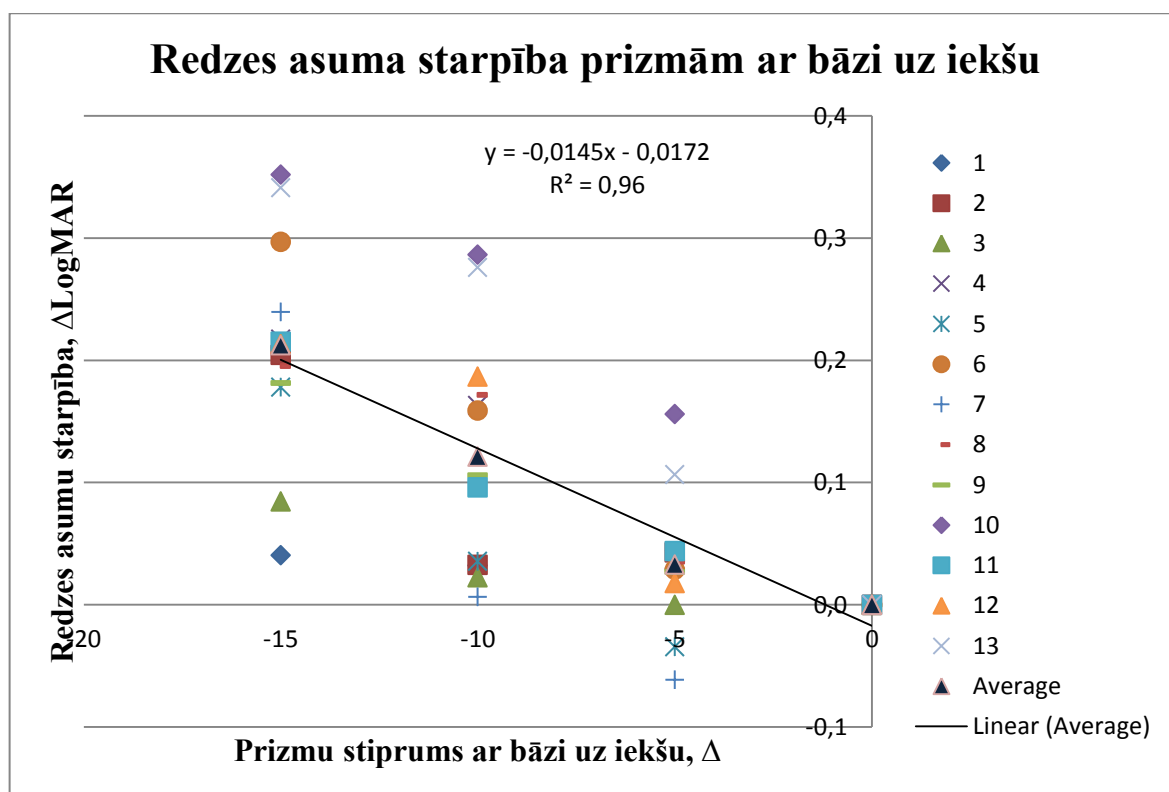
Redzes asuma izmaiņas atkarībā no prizmas stāvokļa, ir attēloti 2.7. attēlā. Redzes asuma starpība LogMAR vienībās tiek aprēķināta, no bez prizmu redzes asuma vērtības atņemot redzes asuma vērtību pie katra prizmas stāvokļa. Attēlā ir redzams, ka palielinoties prizmas lielumam, palielinās redzes asuma izmaiņas. Bet dažiem pētījuma dalībniekiem redzes asums pie 5 prizmatiskām dioptrijām palielinājās, bet tas var būt saistīts arī ar datorprogrammas FrACT specifiku, jo pastāv varbūtība uzminēt, līdz ar to uzlabojās redzes asuma vērtību rezultāts.

2.7. attēlā attēlotais grafiks tika sadalīts divās daļās, kas parādās attēlā 2.8. un 2.9., lai uzlabotu rezultātu analīzi. Attēlā 2.8. ir redzams visu dalībnieku un vidējās redzes asuma izmaiņas atkarībā no prizmas stipruma prizmām bāze uz iekšu (BIE). Grafikā ir redzams, ka palielinoties prizmas stiprumam, palielinās arī redzes asuma starpība, jeb samazinās redzes asums. Determinācijas koeficients  $R^2=0.96$  norāda, ka korelācija starp prizmas lielumu ar bāzi uz iekšu un redzes asuma starpību ir augsta. 5 prizmas ar bāzi uz iekšu rada redzes asuma

samazinājumu par vidēji  $0.03 \pm 0.02$  LogMAR, 10 prizmas rada redzes samazinājumu vidēji par  $0.12 \pm 0.03$  LogMAR, bet 15 prizmas ar bāzi uz iekšu rada redzes asuma samazinājumu par vidēji  $0.21 \pm 0.02$  LogMAR. Līdz ar to palielinoties prizmas lielumam, redzes asums samazinās.



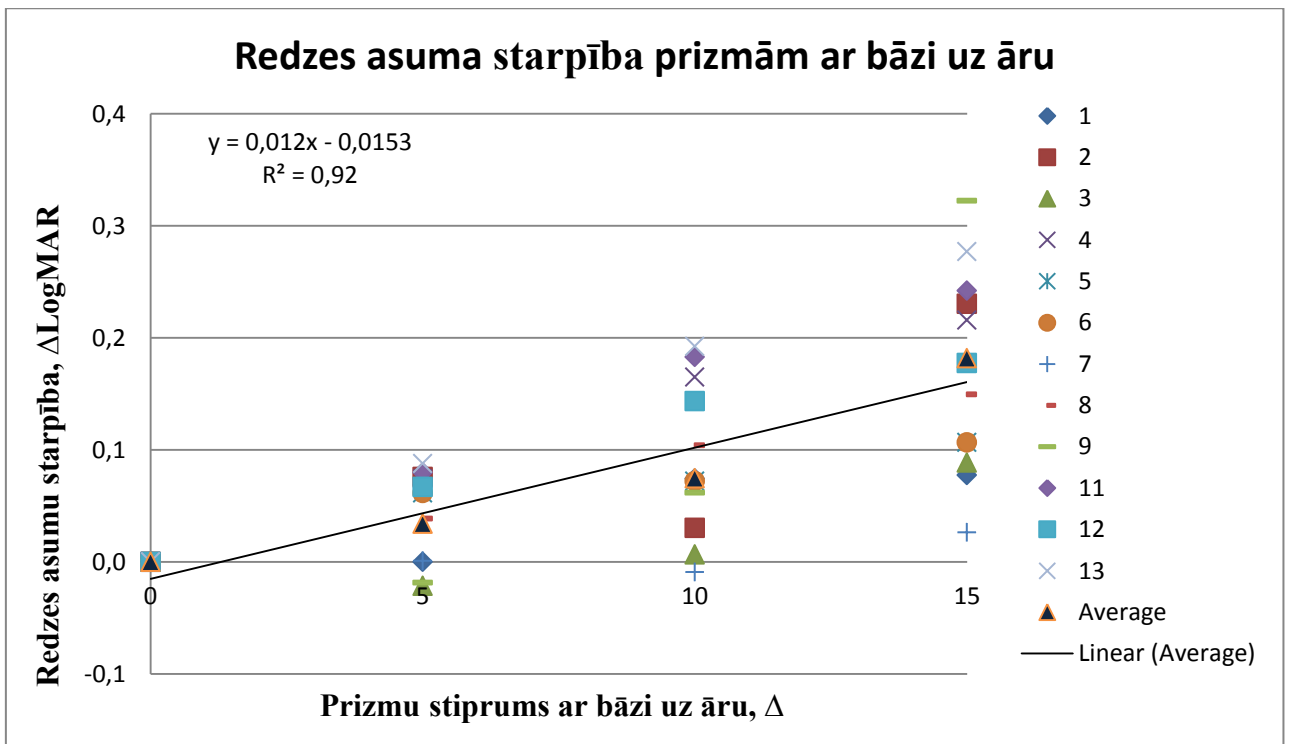
**2.7. att.** Grafikā attēlota redzes asuma (LogMAR) starpība atkarībā no prizmas stipruma un bāzes virziena. Ar negatīvo prizmas stiprumu apzīmēta prizma ar bāzi uz iekšu (BIE). Ar pozitīvo prizmas stiprumu norādīta prizmas bāze uz āru (BĀ).



**2.8. att.** Grafikā attēlota redzes asuma (LogMAR) starpība atkarībā no prizmas stipruma bāzei uz iekšu (BIE).

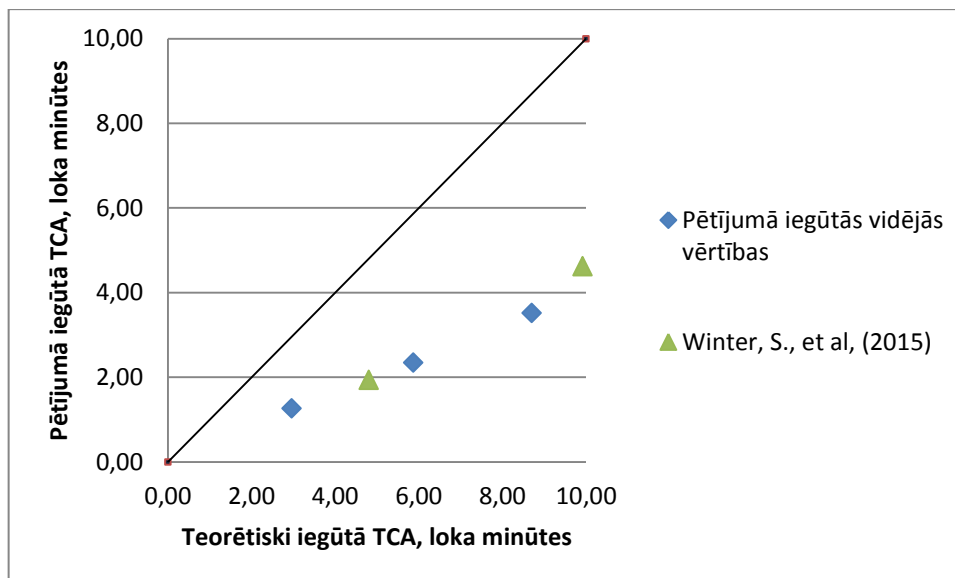
Attēlā 2.9. ir redzams visu dalībnieku un vidējas redzes asuma izmaiņas atkarībā no prizmas stipruma prizmām bāze uz āru (BĀ). 5 prizmas ar bāzi uz āru rada redzes asuma samazinājumu par vidēji  $0.03 \pm 0.02$  LogMAR, 10 prizmas rada redzes asuma izmaiņas par vidēji  $0.08 \pm 0.03$  LogMAR, bet 15 prizmas ar bāzi uz āru rada redzes asuma izmaiņas par vidēji  $0.18 \pm 0.03$  LogMAR. Determinācijas koeficients  $R^2=0.92$  norāda, ka korelācija starp prizmas lielumu ar bāzi uz āru un redzes asuma starpību ir augsta. Palielinoties prizmas stiprumam, palielinās redzes asuma starpība lielums, no kā var secināt, ka palielinoties prizmas stiprumam, samazinās redzes asums.

Salīdzinot redzes asuma izmaiņas atkarībā no prizmu bāzes virziena, nav statistiski būtiska atšķirība ( $p > 0,05$ ; *paired t-test*; *two-tailed*). Līdz ar to, ietekmi uz redzes asumu rada prizmas stiprums, bet prizmas bāzes virziens būtiski neietekmē redzes asuma izmaiņas.



**2.9. att.** Grafikā attēlota redzes asuma (LogMAR) starpība atkarībā no prizmas stipruma bāzei uz āru (BĀ).

Attēlā 2.10 ir attēlots rezultātu salīdzinājums starp teorētisko transversālās hromatiskās aberācijas lielumu un šajā pētījumā iegūtajiem datiem. Papildus ir pievienoti dati no *Winter, S., et al, (2015)* pētījuma. Tika pieņemts, ka Abbes vērtība šajā pētījumā izmantotajām prizmām ir 58, bet *Winter, S., et al, (2015)* pētījumā Abbes vērtība  $V=32$ . Teorētiski transversālās hromatiskās aberācijas vērtību aprēķina pēc formulas  $TCA=P/V$ , kur TCA ir transversālā hromatiskā aberācija, P- prizmas stiprums un V- Abbes vērtība, tad šī vērtība tika pārrēķināta loka minūtēs. Teorētiski aprēķināts, ka 5 prizmas rada transversālo hromatisko aberāciju 2.96 loka minūtes. Šajā pētījumā iegūtais rezultāts ir 1.26, kas ir mazāks par teorētisko. Aprēķināts, ka 10 prizmas rada aberācijas lielumu 5.87 loka minūtes, bet pētījumā iegūts, ka vidējā vērtība ir 2.35 loka minūtes. Bet teorētiski aprēķināts, ka 15 prizmas rada transversālo hromatisko aberāciju 8.70 loka minūtes, bet pētījumā vidējais rezultāts ir 3.52, kas ir būtiski mazāks. Līdzīga tendence novērojama arī *Winter, S., et al, (2015)* pētījuma rezultātus salīdzinot ar teorētiski aprēķināto transversālo hromatisko aberāciju prizmām, kuras tika izmantotas pētījumā. Novilkta nepārtrauktā līnija ir bisektrise starp x un y asīm, kur uz x ass ir teorētiski aprēķinātie dati, bet uz y ir pētījumā iegūtie dati. Tā parāda, ka teorētiski aprēķinātās transversālās hromatiskās aberācijas vērtība ir lielāka par pētījumā iegūto, līdzīgi ir arī *Winter, S., et al, (2015)* pētījuma datiem.



**2.10. att.** Attēlota šī pētījuma un *Winter, S., et al, (2015)* pētījumā iegūto rezultātu salīdzinājums ar teorētiski aprēķināto transversālo hromatisko aberāciju vērtību.

## 2.8. Diskusija

Pētījumā tika novērtēts inducētās transversālās hromatiskās aberācijas ietekme uz redzes asumu. Tika izstrādāta specializēta Vernjē saskaņošanas metodes datorprogramma, balstoties uz *Winter, S., et al, (2015)* pētījumā izmantoto Vernjē saskaņošanas stimulu. To, ka šī metode strādā, lai novērtētu transversālās hromatiskās aberācijas lielumu, pierāda gan iepriekš veiktie pētījumi, gan šajā pētījumā iegūtie rezultāti- gan kontrolgrupa, gan mērījumi, kas veikti pirms aberācijas inducēšanas. Tā kā mērījumi notika tikai ar vienu aci, labu aci aizklājot, pētījuma dalībniekiem netika radītas astenopiskas sūdzības, tika izjauta attēla nobīde un samazināta kontrastjutība, kā arī pētījuma dalībnieki stāstīja par to, ka samazinājās redzes kvalitāte- stimulš likās mazāk kontrastains un nedaudz izplūdis. Tā kā sākumā tika novērtēts gan redzes asums, gan transversālā hromatiskā aberācija ar specializētu Vernjē saskaņošanas metodes datorprogrammu, bija iespējams salīdzināt šos rezultātus ar inducētu stāvokli, pieliekot klāt pie kreisās acs prizmu. Datorprogrammas vidējās vērtības norāda, ka bez hromatiskās aberācijas inducēšanas, transversālo hromatisko aberāciju lielums bija tuvu nulles vērtībai- $0.05 \pm 0.19$  loka minūtes, kas tika pierādīts statistiski. Kontrolgrupas dati tika ievākti tiem pašiem pētījuma dalībniekiem, tikai mērot vertikālās forijas jeb horizontālās līnijas nobīdi, jo iepriekš *Winter, S., et al, (2015)* pētījumā pierādīts, ka prizma, kas novietota ar bāzi uz āru vai iekšu neietekmē horizontālo līnijas nobīdi jeb transversālo hromatisko aberāciju.

Gan šajā pētījumā, gan *Winter, S., et al, (2015)* pētījumā tika noteikts, ka kontrolgrupas vertikālās forijas vērtība ir tuvu nullei, determinācijas koeficients  $R^2 = 0.04$ , jeb nepastāv korelācija starp vertikālās forijas transversālās hromatiskās aberācijas lielumu lokā minūtēs un prizmas stiprumu, kas arī statistiski tika pierādīts. Līdz ar to var secināt, ka izveidotā specializētā Vernjē saskaņošanas metodes datorprogramma ļauj novērtēt transversālās hromatiskās aberācijas lielumu.

Kā papildus tika veikta Vernjē saskaņošanas programmas mērījums, mērot tikai kreiso aci attiecīgi tādā pašā attālumā, kādā tika veikts pētījums, nomainot zilo un sarkano fonu uz pelēko (RGB 192;192;192), lūdzot pētījuma dalībniekiem sabīdīt līnijas uz pelēkā fona. Rezultāti parādīja, ka melnās līnijas uz pelēkā fona tiek sabīdītas ļoti precīzi gan vertikāli, gan horizontāli, un līniju savstarpējās nobīdes lielums ir 0, kas liecina par to, ka programma darbojās, un ļauj arī novērtēt nelielu daļu no acs radītās aberācijas, jo bez prizmu stāvoklī līniju nobīde vidējā vērtība horizontāli ir  $0.022 \pm 0.19$  loka minūtes, bet vertikāli  $0.049 \pm 0.19$  loka minūtes. Šīs vērtības ir tuvu nulles vērtībai, bet tomēr to pašu mērījumu veicot uz pelēkā fona, visiem pētījuma dalībniekiem bija 0.

Pētījuma dalībniekiem, pieliekot pie kreisās acs prizmu, jeb inducējot transversālo hromatisko aberāciju, tika novērota horizontālās forijas jeb vertikālās līnijas nobīde atkarībā no pieliktās prizmas stipruma. Transversālās hromatiskās aberācijas vērtība, inducējot to ar 5 prizmām, ir  $1.16-1.37 \pm 0.2$  loka minūtes, bet jau pie 15 prizmām, vērtība pieauga līdz  $3.76 \pm 0.53$  lokā minūtēs bāze uz iekšu, bet bāze uz āru  $3.27 \pm 0.20$  loka minūtes. Determinācijas koeficients  $R^2=0.99$  norāda, ka korelācija starp prizmas lielumu un transversālo hromatisko aberāciju ir augsta, līdz ar to var secināt, ka palielinoties prizmas stiprumam, palielinās transversālās hromatiskās aberācijas lielums. Pie šāda secinājuma nonāca arī *Winter, S., et al, (2015)* veiktajā pētījumā. Tika arī izrēķināts, ka viena prizma rada transversālo hromatisko aberāciju aptuveni 0.24 loka minūtes. Tika secināts arī tas, ka statistiski nav būtiskas lielas atšķirības starp prizmas bāzes novietojumu- bāze uz iekšu vai āru.

Gan *Winter, S., et al, (2015)* savā pētījumā, gan šajā pētījumā tika konstatēts, ka palielinoties prizmas stiprumam, samazinās redzes asums. Šajā pētījumā pie 5 prizmām redzes asums samazinājās vidēji par  $0.03 \pm 0.02$  LogMAR, 10 prizmas radīja redzes asuma samazinājumu jau par vidēji  $0.08-0.12 \pm 0.03$  LogMAR, bet 15 prizmas radīja redzes asuma samazinājumu par  $0.18-0.21 \pm 0.025$  LogMAR. Tiek statistiski pierādīts, ka prizmas stiprums būtiski ietekmē redzes asuma samazināšanos. Šajā pētījumā tika statistiski apstiprināts, ka redzes asuma izmaiņas būtiski ietekmē pieliktās prizmas stiprums jeb inducētās transversālās

hromatiskās aberācijas lielums, bet statistiski būtiski nav lielas atšķirības starp prizmas bāzes virzienu.

Salīdzinot pētījumā iegūtos rezultātus ar teorētiski iegūtajiem datiem un *Winter, S., et al.* (2015) pētījumā iegūtajiem datiem, var secināt, ka teorētiski aprēķinātā transversālā hromatiskā aberācija ir lielāka par pētījumā iegūtajiem datiem un *Winter, S., et al.* (2015) iegūtajiem datiem. *Winter, S., et al.* (2015) savā pētījumā izmantoja prizmas, ar Abbes vērtību  $V=32$  un refrakcijas koeficientu  $n=1.67$ , kas ir mazāks par šajā pētījumā izmantoto Abbes vērtību  $V=58$ . Jo lielāka Abbes vērtība, jo mazāka aberāciju vērtība, līdz ar to ir izskaidrojams, ka *Winter, S., et al.* (2015) pētījumā vērtības ir nedaudz lielākas, bet tomēr pētījuma dalībnieki ir bijuši 4, kā arī tika mērītas prizmas ar stiprumiem 4.5 un 9.5 prizmatiskās dioptrijas. Tātad *Winter, S., et al.* (2015) pētījumā izmantotajām prizmām teorētiski aprēķinātā transversālā hromatiskā aberācija ir lielāka par šajā pētījumā aprēķināto-4.5 prizmām 4.80 loka minūtes un 9.5 prizmām 9.92 loka minūtes. Šajā pētījumā Abbes vērtība ir lielāka, līdz ar to transversālo hromatisko aberāciju lielums ir mazāks, bet arī par teorētiski aprēķināto vērtību tā ir būtiski mazāka, jo rēķinot transversālo hromatisko aberāciju, tika izmantots Abbes skaitlis  $V=58$ .

Šo pētījumu varēja papildināt arī ar to, ja tiktu mērītas abas acis atsevišķi, lai salīdzinātu, vai transversālās hromatiskās aberācijas lielums atšķiras labā un kreisā acī. Kā arī Varētu ieviest papildus mērījumus Vernjē saskaņošanas metodes datorprogrammā uz citiem foniem, piemēram uz dzeltenā un zaļā, kur prizmas radītā dispersija būtu mazāka. Būtu nepieciešams izvērtēt vairāk pētījuma dalībnieku, lai rezultātu analīze būtu plašāka, kā arī papildināt mērījumus ar citu vecumu kategoriju pētījumu dalībniekiem, lai ir iespēja salīdzināt, vai ir un kāda ir vecuma ietekme uz aberācijas lielumu.

## SECINĀJUMI

1. Izveidotā specializētā datorprogramma ļauj novērtēt aberācijas lielumu.
2. Transversālā hromatiskā aberācija rada mazāku līnijas nobīdi Vernjē saskaņošanas metodē nekā teorētiski aprēķinātais transversālās hromatiskās aberācijas radītās krāsainās joslas platums.
3. Nav statistiski būtiskas atšķirības ( $p > 0,05$ ) hromatiskās aberācijas vērtības atkarībā no prizmas bāzes virziena.
4. Palielinoties prizmas lielumam, redzes asums samazinās. Viena prizma samazina redzes asumu par aptuveni 0,01 LogMAR vienībām.

## NOBEIGUMS

Darbā tika izstrādāta datorprogramma un pārbaudīta jau iepriekš pētījumos izmantotā Vernjē saskaņošanas metode, inducētās transversālās hromatiskās aberācijas ietekme uz redzes asumu. Tika apstiprināts, ka programma strādā un ļauj novērtēt transversālās hromatiskās aberācijas lielumu.

Tika secināts, ka transversālās hromatiskās aberācijas lielumu ietekmē prizmas stiprums, bet būtiskas atšķirības starp bāzes virzieniem nav.

Darbā tika apstiprināts jau iepriekš pētītā aberāciju ietekme uz redzes asumu, jeb palielinoties prizmas stiprumam, redzes asums samazinās, bet tika konstatēts, ka nav būtiskas atšķirības starp prizmas bāzes virzienu.

Darbā tika secināts, ka teorētiski izrēķinātā transversālās hromatiskās aberācijas (TCA) lielums ir lielāks par pētījumā iegūtajiem rezultātiem.

Turpmāk būtu noderīgi novērtēt transversālo hromatisko aberāciju abām acīm, lai varētu tās salīdzināt. Būtu noderīgi novērtēt transversālo hromatisko aberāciju pētījumu dalībniekiem ar dažādās vecuma grupās.

## **PATEICĪBAS**

Izsaku pateicību maģistra darba vadītājam Gatim Ikauniekam par piedāvāto tēmu, atsaucību un sniegtajiem padomiem darba tapšanas procesā.

Pateicos brālim, kas palīdzēja maģistra darba datorprogrammas izstrādē, veltot tam savu laiku, pacietību un zināšanas.

Pateicos visiem eksperimenta dalībniekiem par piedalīšanos.

Izsaku pateicību ģimenei, darba kolēģiem un draugiem par atbalstu un palīdzību.

Paldies Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļai par sniegtajām zināšanām un iegūto praktisko pieredzi.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Adams, R.J., Courage, M. L. (2002). Using a single test to measure human contrast sensitivity from early childhood to maturity. *Vision Research* 42. 1205–1210.
- Artal, P., Chen, L., Fernandez, E. J., Singer, B., Manzanera, S., Williams, D., R. (2004). Neural compensation for the eye's optical aberrations. *Journal of Vision* 4, 281-287
- Bar, N., Meslin, D. (1998). Chromatism in ophthalmic lenses: perception and effects on visual acuity. *Journal Points de vue*. N.39. 22-26.
- Campbell F. W., Gubisch R. W. (1967). The effect of chromatic aberration on visual acuity. *J. Physiol.* 192, pp. 345-358
- Cooper D. P., & Pease P. L. (1988). Longitudinal chromatic aberration of the human eye and wavelength in focus. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*. Vol. 65, No. 2, pp 99-107
- Eradat, N. (2009). Chapter 20. Aberration. Theory Lecture Notes for Modern Optics based on Frank L. Pedrotti, Leno S. Pedrotti. Pieejams: [http://www.erbion.com/index\\_files/Modern\\_Optics/Ch20.pdf](http://www.erbion.com/index_files/Modern_Optics/Ch20.pdf)
- Faubert, J., Simonet, P., & Gresset, J. (1999). Effects of induced transverse chromatic aberration from an afocal prismatic lens on spatio-temporal sensitivity. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 19, 336–346.
- Fernandez-Sanchez, V., Ponce, M. E., Lara, F., et. al. (2008). Effect of 3rd-order aberrations on human vision. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34:1339–1344.
- Gross, H.(2007). Aberration Theory and Correction of Optical Systems. *Handbook of Optical Systems*: Vol. 3. ISBN: 978-3-527-40379-0.
- Kang, J., Xiao, F., Zhao. J., Zhao, H., Hu, Y., Tang, G., Dai, Y., Zhanga, Y. (July 2015). Effects of higher-order aberration correction on stereopsis at different viewing durations. *Journal of Biomedical Optics* 20(7), 075005
- Lundström, L. (2007). Wavefront aberrations and peripheral vision, Ph.D. thesis, KTH Royal Institute of Technology
- Lundström, L., Gustafsson, J., and Unsbo, P. (2009). "Population distribution of wavefront aberrations in the peripheral human eye.", *Journal of the Optical Society of America A* 26, 2192.
- Navarro R., E. Moreno, and C. Dorronsoro, (1998). "Monochromatic aberrations and

- point-spread functions of the human eye across the visual field.”, *Journal of the Optical Society of America A* 15, 2522.
- Palmer R. Cook, OD (January 2012). Chromatic aberration: the end of the rainbow. *L&T*. 20/20. 68-73.
- Palmer R. Cook, OD (January 2012). Chromatic aberration: the end of the rainbow. *L&T*. 20/20. 68-73.
- Palmer R. Cook, OD (2016). Digital solutions for common aberrations. *L&T*. 20/20. 68-73.
- Pelli, D. G., Robson, J. G., Wilkins, A. J.( 1988) The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. *Clin .Vision Sci*. Vol. 2, No.3, pp. 187-199.
- Pesudovs, K., Hazel, C. A., Doran, R. M. L., Elliott, D. B.( 2004). The usefulness of Vistech and FACT contrast sensitivity charts for cataract and refractive surgery outcomes research. *Br J Ophthalmol*;88:11–16.
- Rynders, M., Lidkea, B., Chisholm, W., and Thibos, L. N. (1995). “Statistical distribution of foveal transverse chromatic aberration, pupil centration, and angle  $\psi$  in a population of young adult eyes,” *J. Opt. Soc. Am. A* 12, 2348–2357.
- Schwarz, C. (2013). Influence of aberrations on binocular vision by means of adaptive optics instruments. Faculty of Medicine of the University of Murcia.
- Stark, Lawrence R., Lee, Roni S., Kruger, Philip B., Rucker Frances J., Fan Ho Ying. (2002). Accommodation to simulations of defocus and chromatic aberration in the presence of chromatic misalignment. *Vision Research*, 42, 1485–1498.
- Tang, C. Y., & Charman, W. N. (1992). Effects of monochromatic and chromatic oblique aberrations on visual performance during spectacle lens wear. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 12, 340–349.
- Vincent, S. J., Collins, M. J., Read, S.A., Carney, L. G. (2012). Monocular amblyopia and higher order aberrations. *Vision Research* 66 39–48.
- Wang, J., Candy, T. R., Tell, D. F. W., Jacobs, R. J. (2008). Longitudinal chromatic aberration of the human infant eye. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 25(9): 2263–2270.
- Winter S. (2016). Transverse Chromatic Aberration and Vision: Quantification and Impact across the Visual Field. Transverse Chromatic Aberration and Vision: Quantification and Impact across the Visual Field. Doctoral Thesis Department of Applied Physics KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden,

- Winter S., Sabesan, R., Tiruveedhula, P., Privitera, C., Unsbo, P., Lundstrom, L., Roorda, A. (2016). Transverse chromatic aberration across the visual field of the human eye. *Journal of Vision* (2016) 16(14):9, 1–10
- Winter, S., Taghi Fathi, M., Venkataraman, A. P., Rosén, R., Seidemann, A., G. Esser, Lundström, L., and Unsbo, P. (2015).“Effect of induced transverse chromatic aberration on peripheral vision”, *J. Opt. Soc. Am. A* 32, 1764
- Wyant, J.C., & Creath, K. (1992). Basic Wavefront Aberration Theory for Optical Metrology. APPLIED OPTICS AND OPTICAL ENGINEERING, VOL. XI. CHAPTER 1. *Academic Press*. ISBN 0-12-408611-X.
- Yoon, G., *Aberration Theory*. Pieejams:  
[http://cfao.ucolick.org/pubs/presentations/eyedesign/05\\_aberrations\\_GY.pdf](http://cfao.ucolick.org/pubs/presentations/eyedesign/05_aberrations_GY.pdf)

Maģistra darbs „Inducētās hromatiskās aberācijas ietekme uz redzi” izstrādāts LU Fizikas un matemātikas fakultātē.

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

Autors: Diāna Urtāne 29.05.2017.

Stud.apl.nr. du12003

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: docents, Dr. phys. Gatis Ikaunieks

Recenzents: docents, Dr. phys. Pēteris Cikmačs

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā \_\_\_\_\_

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts Valsts pārbaudījuma komisijas sēdē

\_\_\_\_\_. protokola Nr. \_\_\_\_\_

Komisijas sekretārs: \_\_\_\_\_