

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**KRĀSAINU STIMULU RADĪTĀ DZILUMA
UZTVERE**

BAKALaura DARBS

Autors: **Kristīne Muižniece**

Studenta apliecības Nr: km11021

Darba vadītājs: Dr. habil. phys. Māris Ozoliņš

RĪGA 2014

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, datorsalikumā uz 37 lapaspusēm. Tas satur 22 attēlus, 1 tabulu, 3 pielikumus un 28 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis: Izpētīt krāsu stereoredzes radīto dziļuma sajūtu un tās pamanīšanas sliekšni atkarībā no apgaismojuma, kā arī stereoskopiskā efekta izmaiņu, daļēji aizklājot redzes lauku.

Metode: Krāsu stereoredzes novērtēšanas tests (datorprogramma), kas sastāv no perifēra un centrāla kvadrāta ar dažādām purpura krāsas diferencēm.

Secinājumi: Krāsu stereoredzi raksturo pamanīšanas sliekšnis σ un psihometriskās līknes viduspunkta vērtība x_0 , kas ir atkarīga no apgaismojuma ($p < 0,05$). Skotopiskos apstākļos nepieciešama mazāka krāsu diference, lai novērotu stereoskopisko efektu.

Atslēgas vārdi: krāsu stereoredze, dziļuma sajūta, krāsaini stimuli, hromatiskās aberācijas

ABSTRACT

Bachelor thesis is written on 37 pages by computer in Latvian. It contains 22 figures, 1 table, 3 appendix. There are 28 references to literature sources.

Aim: To research depth perception induced by chromostereopsis and detection threshold depending on the lighting and change of the stereoscopic effect when field of the vision is partly obscured.

Method: Assessment test of chromostereopsis (a computer program) consisting of peripheral and central squares with chromatic difference of purple colour.

Conclusions: Chromostereopsis can be described by the detection threshold σ and psychometric curve midpoint value x_0 , which is dependent on the light ($p < 0.05$). Scotopic conditions require less color difference in order to observe the stereoscopic effect.

Keywords: chromostereopsis, depth perception, chromatic stimuli, chromatic aberrations

SATURS

APZĪMĒJUMU SARAKSTS	1
IEVADS	2
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	3
1.1. Dziļuma sajūta	3
1.1.1. Monokulārās dziļuma pazīmes	3
1.1.2. Binokulārā redze	4
1.1.3. Korespondējošie punkti	6
1.1.4. Fiksācijas disparitāte.....	6
1.1.5. Horopters un Panuma zona.....	7
1.1.6. Stereoredze.....	8
1.1.7. Leņķiskā disparitāte.....	9
1.2. Hromatiskās aberācijas	10
1.2.1. Longitudinālās (aksiālās) hromatiskās aberācijas.....	11
1.2.2. Transversālās (laterālās) hromatiskās aberācijas	13
1.3. Staru gaita acī.....	14
1.4. Hromostereopse	15
1.4.1. Optiskais fenomens.....	15
1.4.2. Pozitīvā un negatīvā hromostereopse	16
1.4.3. Tradicionālais modelis.....	17
1.4.4. Uzlabotais tradicionālais modelis	18
1.4.5. Smaguma punkta modelis	19
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	20
2.1. Mērķis un darba uzdevumi	20
2.2. Eksperimenta dalībnieki	21
2.3. Pētījuma metodika	22
2.3.1. Krāsu stereoredzes novērtēšanas tests	22

2.3.2. Konvertācija no stimula nr.p.k. uz papildkrāsas viļņa garumu λ	23
2.3.3. Eksperimenta gaita.....	24
2.4. Rezultāti un to analīze.....	25
2.4.1. Rezultātu apstrāde.....	25
2.4.2. Aproksimācija ar Bolcmaņa sigmoīdu.....	25
2.4.3. Polaritāte.....	27
2.4.4. Sigmoīdas parametru izmaiņas.....	28
SECINĀJUMI	30
NOBEIGUMS	31
PATEICĪBA	32
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	33
PIELIKUMI.....	35
1. PIELIKUMS.....	35
2. PIELIKUMS.....	36
3. PIELIKUMS.....	37

APZĪMĒJUMU SARAKSTS

PD-attālums starp zīlīšu centriem

HLA-Hromatiskās longitudinālās aberācijas

HTA-Hromatiskās transversās aberācijas

IEVADS

Dziļuma sajūtu krāsās jau daudzus gadsimtus izmanto mākslinieki, lai radītu vajadzīgo telpiskumu. 1810. gadā Gēte (*Goethe*) darbā „Krāsu mācība” (*Zur Farbenlehre*) apgalvoja, ka zilā krāsa rada attāliņošu efektu, bet dzeltenā/sarkanā-tuvinošu. Redzes zinātnē šo fizikālo parādību dēvē par *hromostereopsi* (*chromostereopsis*) - krāsu stereoredzi jeb krāsu stereoskopisko efektu. Pirmais to 1868. gadā aprakstīja Brike (*Brücke*). Tajā pašā gadā Donders (*Donders*) šo efektu minēja Nīderlandes Acu slimnīcas gada atskaitē. [1]

Krāsa ir viena no pazīmēm, kas piedalās dziļuma sajūtas uztverē; pieaugot tehnoloģiju pielietojumam ikdienā, arvien biežāk saskaramies ar dažādu veidu krāsu displejiem un paneļiem. Zīgels (*Siegel*) aplūkoja krāsu kā svarīgu iezīmi 3D attēlu veidošanā. [2]

Bakalaura darbā tiek pētīts, kā zilās un sarkanās krāsas salikumi vienā plaknē rada dziļuma sajūtu un ietekmē dziļuma uztveri, izmantojot datorizētu testu. Krāsu stereoredzes efekts mēdz būt traucējošs; dažreiz pat samazinot redzes komfortu un radot redzes nogurumu. Veiktais pētījums palīdz izprast krāsu stereoredzes ietekmi uz radīto dziļuma sajūtu.

Mērķis:

Izpētīt krāsu stereoredzes radīto dziļuma sajūtu un novērtēt tās pamanīšanas sliekšņa izmaiņas atkarībā no apgaismojuma.

Uzdevumi:

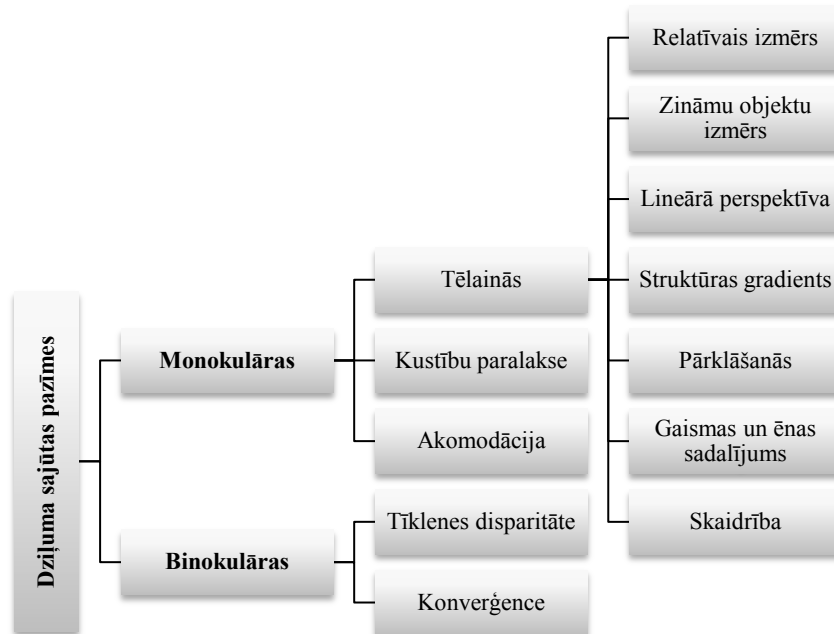
1. Izveidot metodiku krāsu stereoredzes radītās dziļuma sajūtas novērtēšanai, kas balstīta uz datorprogrammas izstrādi;
2. Noteikt eksperimenta dalībnieku atlases kritērijus, un pārbaudīt dalībnieku atbilstību;
3. Noteikt krāsu radītās stereoredzes pamanīšanas sliekšnis jeb krāsu diferences sliekšni, kas ierosina dziļuma sajūtu, fotopiskos apstākļos purpura krāsai;
4. Noteikt krāsu radītās stereoredzes pamanīšanas sliekšnis jeb krāsu diferences sliekšni, kas ierosina dziļuma sajūtu, skotopiskos apstākļos purpura krāsai;
5. Veikt temporālu zīlīšu aizklāšanu, lai novērotu krāsu stereoredzes *polaritātes* maiņu.

Eksperimentālās daļas ietvaros tiek izveidota un izmantota datorprogramma, kas ģenerē gadījuma punktu (*random-dot*) attēlus ar atšķirīgām RGB vērtībām. Eksperimenta dalībniekam tiek rādīts tests 3 reizes, kas sastāv no 21 stimuliem, kuri 5 reizes atkārtojas. Ar psihofizikālās līknes palīdzību tiek noteikta vidusvērtība un krāsu stereoredzes radītās dziļuma sajūtas pamanīšanas sliekšnis. Literatūras pārskatā aplūkoti pētījumi par dziļuma uztveri, krāsu stereoredzi un tās skaidrojošajiem modeļiem.

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

1.1. Dziļuma sajūta

Dziļuma uztveres veidošanā piedalās gan binokulāras, gan monokulāras dziļuma sajūtas pazīmes. Švartcs (*Schwartz*) galvenās dziļuma uztveres stimulu pazīmes iedala divās kategorijās: monokulāras un binokulāras, kuras iedala sīkāk. (skat. 1.1. att.) [3]



1.1.attēls. Dziļuma sajūtas pazīmju iedalījums

1.1.1. Monokulārās dziļuma pazīmes

Monokulāras dziļuma sajūtas pazīmes novēro gan ar abām acīm, gan arī tad, ja viena acs tiek aizklāta. Šīs pazīmes tiek apgūtas mācību ceļā. Galvenās monokulārās pazīmes iedala tēlainās (*pictorial*), kustību paralaksē un akomodācijā.

Tēlainās monokulārās dziļuma pazīmes sīkāk iedala: [3]

1. Relatīvais izmērs – objektu izmēri tiek salīdzināti, ja nav zināmi citi atskaites punkti. Objekts, kurš projicē uz tīklenes mazāku attēlu, tiek uztverts tālāk kā tas, kurš veido lielāku attēlu uz tīklenes;

2. Zināmu objektu izmērs – ja nav citu objektu ar ko salīdzināt, tad objekts tiek uztverts ierastajā lielumā. Ja uz tīklenes tiek projicēts mazs attēls, tad objekts tiks uztverts kā tālumā esošs;

3. Lineārā jeb ģeometriskā perspektīva – objektam attālinoties, piemēram, dzelzceļam, tas tiek uztverts šaurāks, bet dabā tas saglabā savu platumu;

4. Struktūras gradients – tuvumā virsmas struktūra un detaļas ir labi saskatāmas, bet tālumā virsmas detaļas ir saplūdušas un izlīdzinājušās;

5. Pārklāšanās – tuvumā esošais objekts aizklāj vai daļēji nosedz skatu uz objektu, kurš atrodas tālāk;

6. Gaismas un ēnas sadalījums – gaismai krītot uz objektu, tas met ēnu. Ēna tiek uztverta aiz objekta. Ēnojums var radīt padziļinājuma vai izvirzījuma sajūtu;

7. Objektu skaidrība – objekti ar asām skaidrām malām tiek uztverti tuvāk nekā, ja objekta kontūras ir miglainas vai tas ir ieskauts miglā, dūmos.

Kustību paralakse– papildus tiek vērtēts, kur atrodas priekšmets, vadoties no kustību īpatnībām. Skatoties ar vienu aci un veicot galvas kustības no vienas puses uz otru, objekti, kuri atrodas pirms fiksācijas punkta, virzīsies pretēji galvas kustības virzienam, un tie, kuri ir aiz fiksācijas punkta, virzīsies galvas kustības virzienā. Abos gadījumos, palielinoties attālumam no fiksācijas punkta, kustības ātrums pieaugs. [3]

Akomodācija– acs lēca akomodējot palielina laušanas spēju, kļūst biezāka, lai tuvumā esoši objekti tiktu skaidri projicēti uz tīklenes. Šī informācija tiek izmantota, lai noteiktu apskatītā objekta attālumu. Akomodācija ir saistīta arī ar muskuļu iespringumu, kurš nodrošina acu pagriešanos uz iekšu, fiksējot objektu. [3,4]

1.1.2. Binokulārā redze

Binokulārā redze ir abu acu uztverto attēlu koordinācija un integrācija vienā attēlā. Pilnvērtīgu un funkcionālu binokulāro redzi nodrošina centrālie, sensorie un motorie faktori. [5]

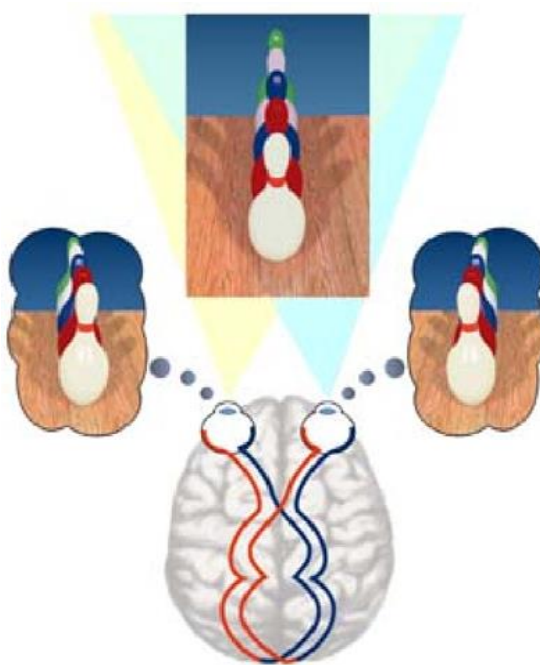
Binokulārās redzes sistēma novērotajam dod spēju noteikt relatīvos attālumus un virzienus no fiksācijas punkta. Binokulārās redzes attīstībā iesaistās svarīgi faktori: [6]

1. Anatomiskie – orbītas forma un acu muskuļu sadarbība;
2. Fizioloģiskie – fiksācijas, refleksācijas un zīlīšu refleksi.

Cilvēkam acis ir novietotas atstatus viena no otras. Tas nozīmē, ka katra acs uztver nedaudz atšķirīgu attēlu. Attālums starp zīlīšu centriem (PD) ir atkarīgs no rases, vecuma un dzimuma. Bērniem starpzīlīšu attālums bērniem mēdz būt no 41mm līdz 55mm, bet pieaugušajiem no 56 mm līdz 72 mm, sievietēm vidēji 62.6mm, vīriešiem 65.0mm. Pēc Gross (*Gross*) datiem vidējais attālums starp zīlīšu centriem ir 63 mm. [7]

Katrai acij ir savs redzes lauks. Apgabalā, kurā pārklājas abu acu redzes lauki ir iespējams iegūt binokulāro redzi. Cilvēka binokulārā redzes lauka lielums ir apmēram 120°. [8]

Binokulārās dziļuma sajūtas pazīmes balstās uz monokulāro attēlu atšķirību, ko sauc par binokulāro disparitāti, [9] kas tiek pārveidota dziļuma uztveres informācijā. Katras acs monokulārie attēli ar acu muskuļu un galvas smadzeņu mijiedarbību tiek sapludināti vienā attēlā (skat.1.2.att.), izmantojot fūziju mehānismu, kas satāv no motorās un sensorās daļas.



1.2.attēls. Labās un kreisās acs monokulārie attēli tiek sapludināti, iegūstot trīsdimensionālu attēlu¹

Motorā fūzija atbild par acu kustībām, ko nodrošina acu kustību muskuļi, lai panāktu, ka fiksējamā objekta attēls veidotos abu acu fovejā, stimulējot sensoro fūziju. Sensorā fūzija ir neirāls process, kas atbild par objekta divu tīklenes attēlu sapludināšanu. Lai notiktu sapludināšana, attēliem jābūt līdzīgiem pēc lieluma, izmēriem, spožuma, krāsas, virziena un kontrasta.[8]

¹<http://www.vrtiger.com/eWebEditor/uploadfile/2008102331813529.JPG>

1.1.3. Korespondējošie punkti

Skata virzienu shematiski var attēlot, savienojot fiksējamo objektu ar tīklenes foveju. Attiecībā pret šo līniju var novērtēt visus pārējos virzienus telpā. Normālas binokulārās redzes gadījumā abās acīs attēli veidojas abu acu tīkļu fovejās. Tās uzskata par korespondējošām vietām. Korespondējošie punkti ir tīklenes elementi, kas abās acīs atrodas atbilstoši vienādos attālumos un virzienos no fovejas. Pārējie tīklenes elementi tiek dēvēti par nekorespondējošiem jeb disparātajiem tīklenes punktiem attiecībā pret doto tīklenes apgabalu otrā acī. Par korespondējošiem punktiem runā tikai fovejā, kuras izmērs aptuveni ir 0,5 mm jeb 1,2°. Tīklenes perifērijā parādās korespondējošie apgabali, kas skaidrojami ar tīklenes uzbūves īpatnībām.[8]

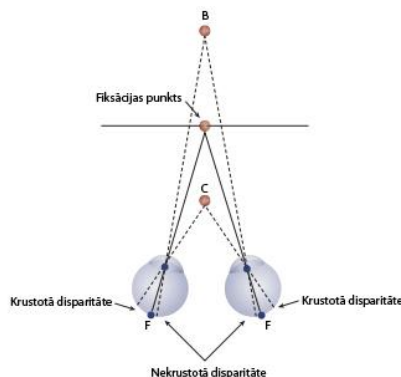
1.1.4. Fiksācijas disparitāte

Atkarībā no fiksācijas, iedala nekrustoto un krustoto disparitāti:

Nekrustotā jeb pozitīvā disparitāte - skatiens tiek fiksēts punktā F. Punkts A, kas atrodas aiz fiksācijas punkta F, uz tīklenes krīt nazāli no fovejas, ja tiek saglabāta fiksācija punktā F. Tālāk esošiem priekšmetiem piemīt nekrustotā disparitāte (skat.1.3.att.);[4]

Krustotā jeb negatīvā disparitāte - skatiens tiek fiksēts punktā F. Punkts B, kas atrodas tuvāk, uz tīklenes krīt temporāli no fovejas, ja tiek saglabāta fiksācija punktā F. Tuvāk esošiem priekšmetiem piemīt krustotā disparitāte, kā arī viss, kas tiek krīt uz tīklieni temporāli no fovejas tiek uztverts kā tuvāk esošs objekts (skat.1.3.att.).[4]

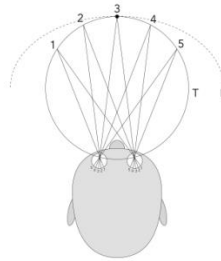
Palielinoties disparitātei, palielinās dziļuma sajūta. [10]



1.3.attēls. Shematiski skata virzienu attēlo, savienojot fiksācijas punktu ar foveju (F), objektiem aiz fiksācijas punkta (B) piemīt nekrustotā disparitāte, priekšmetiem pirms fiksācijas punkta (C) – krustotā disparitāte [5]

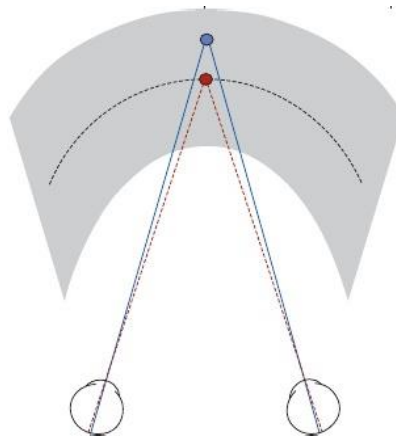
1.1.5. Horopters un Panuma zona

Teorētiskais horopters ir ģeometriski novietoti punkti, kuri atrodas uz horizontālā plaknē novietotas riņķa līnijas, kura iet caur abu acu nodāļiem punktiem un fiksācijas punktu.(skat.1.4.att.) Empīriskais horopters ir plakanāks, salīdzinot ar teorētisko. [4,8] Starp punktiem, kas atrodas uz horoptera, ir nulles disparitāte. Šie punkti tiek uztverti vienādā attālumā.[4]



1.4.attēls. Teorētiskais horopters ir riņķa līnija, kas savieno fiksācijas punktu un abu acu nodāļos punktus, empīriskais ir plakanāks, punktiem 1,2,3,4,5 ir nulles disparitāte un tie tiek uztverti vienādā attālumā no novērotāja²

Apgabalu, kurā stimulu ir iespējams sapludināt un tas tiek joprojām uztverts kā viens, sauc par Panuma zonu.(skat.1.5.att.) Objekti ir redzami stereoskopiski, kamēr tie atrodas Panuma zonas ietvaros, atrodoties ārpus Panuma zonas tiek novērota dubultošanās, bet objekts joprojām palīdz dziļuma uztveres mehānismam, jo smadzenes analizē jebkuru disparitātes informāciju. [8]



1.5.attēls. Horopters un Panuma zona, stimulus ir iespējams sapludināt, veidojot vienu attēlu, radot stereoskopisko efektu [4]

²<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Horopter.png>

1.1.6. Stereoredze

Stereoredze jeb stereopse - ir redzes sistēmas līdzeklis, kas nodrošina spēju orientēties telpā, noteikt relatīvo attālumu un objektu dziļumu ar disparitātes palīdzību. [5] Stereoredze ir nozīmīga tuvuma distancēs, visbiežāk rokas stiepiena attālumā, kad mazāk sastopamas monokulārās dziļuma pazīmes. Stereoredze ir mazāk nozīmīga skatoties tālumā, jo, lai rastos tīklenes disparitāte, ir nepieciešamas lielākas attēla atšķirības. [3]

Stereoasums – stereoredzes raksturlielums jeb minimālā binokulārā disparitāte, kuru novērotājs vēl spēj izšķirt. [5]

Stereoasumu dēvē par dziļuma diskriminācijas sliekšni. To mēra loka sekundēs ($1^\circ=3600''$).[8]

Stereoasumu mērījumi tiek veikti ar dziļuma saskanības uzdevumiem (*depth matching task*), kā viens no veidiem, kas balstās uz leņķisko stereoskopisko disparitāti, ir Dolmana iekārta (*Dolman apparatus*). Iegūstot labu stereoasuma rādījumus šādā testā, ne vienmēr tas liecina par labu stereoredzi, jo iesaistās novērotāja dziļuma uztveres iekšējie faktori (*depth perception bias*), kas ietekme stereoskopisku precizitāti, piemērām, pārvērtējot objekta dziļumu. [5]

Apmēram 5% iedzīvotāju ir stereo-akli (*stereo-blind*). Iespējamais cēlonis var būt bērnībā neārstēta šķielēšana vai ambliopija, kas izjaukusi pilnvērtīgu redzes sistēmas attīstību. [10]

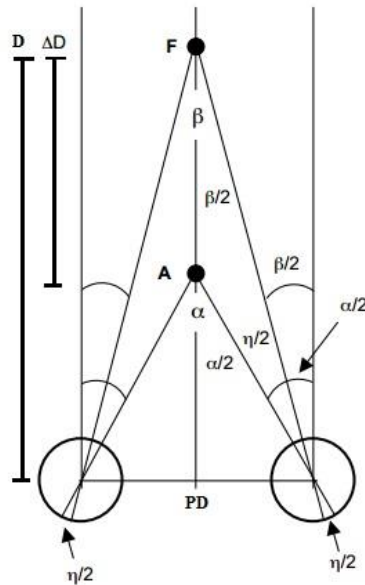
Vestheimers (*G. Westheimer*) 2013.gada pētījumā iesaka, ka vislabāk stereorasuma mērīšanā izmantot nedaudzus stimulus ar lielu kontrastu un skaidrām robežlīnijām, kā arī ar pietiekami ilgu ekspozīcijas laiku – vismaz 10 msec. [11]

1.1.7. Leņķiskā disparitāte.

Telpā objekti ir novietoti gan tuvāk, gan tālāk. Gadījumā, kad divi objekti atrodas dažādos attālumos, tiem ir dažādi vergēnces leņķi α un β . Dziļuma intervāls var tikt kvantitatīvi noteikts kā lineārs attālums ΔD , bet ģeometriskā disparitāte tiek izteikta kā vergēnces leņķu atšķirība. Leņķiskā disparitāte telpā attiecināma uz ģeometrisko disparitāti, kas aprakstāma ar (1.1.) vienādojumu:

$$\eta = \alpha - \beta = \frac{PD(\Delta D)}{D^2} \quad (1.1.)$$

kur α un β vergēnces leņķi, PD – attālums starp zīlīšu centriem, ΔD – dziļuma intervāls, D – fiksācijas attālums, $\eta/2$ leņķiskais izmērs dziļuma intervālam. Sadalot leņķus α un β ar viduslīniju, iegūst leņķus $\alpha/2$ un $\beta/2$. Dziļuma intervāls tiek projicēts uz katras acs tīklenes leņķī $\eta/2$. Šo leņķu summa ir leņķiskā disparitāte $\eta = \eta/2 + \eta/2$. [5,12] (skat.1.6.att)



1.6.attēls. Stereoredzes ģeometrija.; α un β vergēnces leņķi, PD – attālums starp zīlīšu centriem, ΔD – dziļuma intervāls, D – fiksācijas attālums, $\eta/2$ leņķiskais izmērs dziļuma intervālam. Balstoties uz šo ģeometriju ir iespējams noteikt leņķisko disparitāti [12]

1.2. Hromatiskās aberācijas

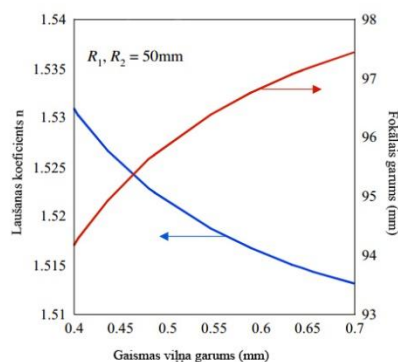
Acs optiskā sistēma nav optiski ideāla vide, gaismas dispersijas ietekmē visi redzamās gaismas viļņu garumi netiek sakopoti vienā fokālajā plaknē, tiek novēroti attēla kropļojumi – aberācijas. [13] Ikdienā to var novērot kā izplūdušas attēla kontūras vai dažādu krāsu līnijas ap objektu. (skat.1.7.att.)



1.7. attēls. Hromatisko aberāciju ietekme uz attēla kvalitāti³

Acs optiskajām struktūrām ir dažādi gaismas laušanas koeficienti n atkarībā no redzamās gaismas viļņa garuma λ ; piemēram, radzenes laušanas koeficients variē no 1.3726 līdz 1.3610, stiklveida ķermeņa koeficients - no 1.3317 līdz 1.3208, lēcas – no 1.4144 līdz 1.3999. [14]

Plānas lēcas vienādojumā $\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$ laušanas koeficients n ir atkarīgs no gaismas viļņa garuma λ , līdz ar to fokālais garums arī ir atkarīgs no gaismas viļņa garuma. [15] (skat.1.8.att.)



1.8. attēls. Laušanas koeficienta un fokālā garuma atkarība no viļņa garuma⁴

³http://www.nikon.com/products/sportoptics/how_to/guide/binoculars/technologies/img/technologies_08/pic_011.jpg

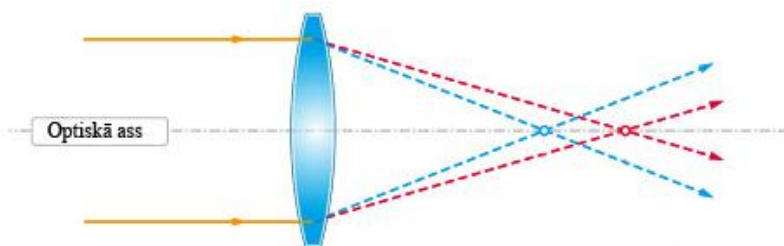
⁴http://www.imagine-optic.com/downloads/imagine-optic_yoon_article_optical-wavefront-aberrations-theory.pdf

Acs hromatiskās aberācijas iedala longitudinālajās jeb aksiālajās hromatiskajās aberācijās (LHA) un transversajās jeb laterālajās hromatiskajās aberācijās (THA).

1.2.1. Longitudinālās (aksiālās) hromatiskās aberācijas

LHA tiek pētītas jau kopš 18.gs., kad Ņūtons (*Newton*) aprakstīja LHA optiskajās sistēmās. LHA pētīja arī citi plaši pazīstami zinātnieki, piemēram, Jangs (*Young*) un Helmholtcs (*Helmholtz*).[13]

Hromatisko aberāciju ietekmē balta gaisma tiek sadalīta „krāsainos staros” un fokusēta dažādos ass punktos. Attāluma starpība no zilās gaismas fokusa līdz sarkanās gaismas fokusam tiek dēvēta par longitudinālo hromatisko aberāciju (LHA) jeb aksiālo hromatisko aberāciju. Zilās gaismas stari tiek fokusēti tuvāk nekā sarkanās gaismas stari. [15] (skat.1.9.att.)



1.9.attēls. Longitudinālās jeb aksiālās hromatiskās aberācijas, zilā gaisma fokusējas tuvāk lēcai nekā sarkanā⁵

LHA var aprakstīt kā (1.2) vienādojums:

$$LHA = F_s - F_z = \frac{n_s - n_z}{r}, [16] \quad (1.2.)$$

kur F_s -optiskās sistēmas stiprums sarkanai gaismai; F_z - optiskās sistēmas stiprums zilai gaismai; n_s -acs laušanas koeficients sarkanajā gaismā; n_z -acs laušanas koeficients zilajā gaisma, r -liekuma radiuss.

Tiboss (*Thibos*) LHA dēvēja arī par hromatisko stpruma atšķirību (*chromatic difference of power*) un aberācijas skaidroja kā gaismas avota vergences, kad acs ir fokusēta noteiktā viļņu garuma apgabalā. To dēvē par hromatisko refrakcijas atšķirību (*chromatic difference of refraction*). Šos parametrus izmanto, lai mērītu longitudinālās aberācijas. [17]

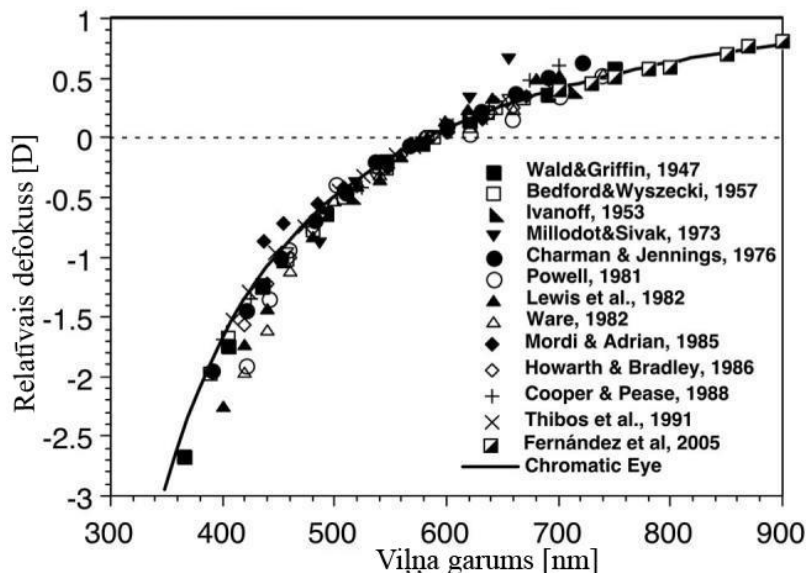
LHA mēra dioprijās (D). LHA teorētiskais apjoms redzamā spektra diapazonā no 400 līdz 700 nm sasniedz ~ 2.5 D [13], bet pētījumā 472-652 nm apgabalā ~ 1D [16], 2006.gadā tika

⁵http://www.nikon.com/products/sportoptics/how_to/guide/binoculars/technologies/img/technologies_08/pic_008.jpg

sistemātiski iegūts un matemātiski modelēts LHA lielums diapozonā no 700 līdz 900, sasniedzot ~ 0.4 D. [13]

LHA ietekmē redzes performanci (*visual performance*). Tikai šaurs redzamās gaismas viļņu garuma apgabals var tikt fokusēts uz fotoreceptoriem vienlaikus. Sākumā polihromatisks attēls neirālajā līmenī tiek uztverts kā kombinācija no asa un izplūduša attēla, atkarībā, kuri viļņu garumi tiek fokusēti. Defokusētie viļņu garumi samazina luminances kontrastu polihromatiskajā attēlā. LHA signalizē par defokusu. [18]

Attēls uz tīklenes, kas ir fokusēts uz zaļās gaismas diapozonu (~550nm) ir miopisks 1-2 D zilajā apgabalā (~480 nm) un 0,5D hipermetropisks sarkanajā apgabalā (~656nm). Defokuss mērīts 589nm. (skat.1.10.att.)



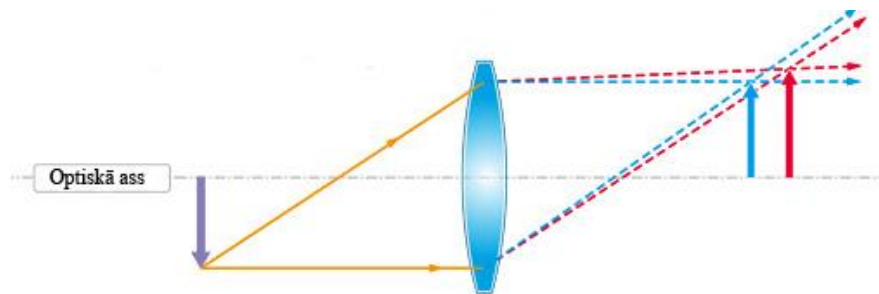
1.10.attēls. Hromatisko aberāciju mērījumi pieaugušajiem atkarībā no viļņa garuma [16]

LHA lielums nav vienāds visiem cilvēkiem. Millodē (*Millodot*) veica pētījumu par LHA atkarībā no vecuma. Pētījuma dalībniekiem vecumā no 10-40 gadiem LHA lielums ir vienāds – 2,5D, bet presbiopiem LHA lielums sasniedz tikai 0,5D. [18] LHA jaundzimušo acīs 2009.gadā pētīja Vangs (*Wang*). Jaundzimušo acīs LHA uzrādīja lielākas vērtības nekā pieaugušajiem. [16]. LHA samazinās dzīves gaitā.

1.2.2. Transversālās (laterālās) hromatiskās aberācijas

THA attiecas uz optisko fenomenu, kad, novērojot binokulāri, zilā gaisma tiek projicēta vairāk nazālajā tīklene daļā nekā sarkanā gaisma. Optiskā asi ir nobīdītas 5° no redzes ass, veidojot leņķi α . THA leņķiskās izmaiņas rada binokulāro disparitāti. [19]

Gadījumos, kad polihromatisks objekts neatrodas tieši uz optiskās ass (*off-axis*), veidojas dažādu krāsu attēli dažādos augstumos no optiskās. Vertikālā atšķirība starp sarkano un zilo tiek dēvēta par transversālajām jeb laterālajām hromatiskajām aberācijām. [15] (skat. 1.11.att.)



1.11.attēls. Transversālās jeb laterālās hromatiskās aberācijas polihromatiska attēla gadījumā, kas neatrodas uz optiskās ass, veidojas dažādu krāsu attēli dažādos augstumos no optiskās ass⁶

Acs lēcai ir tendence primāri fokusēties uz spektrāli visjutīgāko apgabalu - dzeltenzaļo gaismu. Tādā gadījumā pārējās krāsas ir nedaudz izplūdušas (defokusētas). [15]

Staru noliece ir atkarīga no lēcas (konverģējoša, diverģējoša) prizmas formas. Attālinoties no lēcas optiskā centra, „+” lēcas gadījumā tā kļūst plānāka, bet „-” lēcas gadījumā - biezāka. Gaismas stari tiek noliekti tuvāk klāt vai tālāk nost no optiskās ass, ja objekts neatrodas uz redzes ass. Abos gadījumos stari tiek noliekti tuvāk uz biezāko lēcas „bāzi”, bet leņķiskā noliece samazinās pieaugot viļņu garumam. [15]

⁶ http://www.nikon.com/products/sportoptics/how_to/guide/binoculars/technologies/img/technologies_08/pic_008.jpg

1.3. Staru gaita acī

Acs refrakcija ir acs spēja lauzt gaismu fizioloģiskā miera stāvoklī. Refrakcija ir atkarīga no acs optiskās sistēmas stipruma un acs aksiālā garuma. Galvenās optiskās struktūras, kas lauž gaismas starus ir radzene uz lēca. Ja acs optiskais stiprums un acs aksiālais garums ir „saskaņoti”, tad gaismas stari tiek fokusēti uz tīklenes. Acs refraktīvā stāvokļa anomāliju, kurā pie relaksētas akomodācijas objekts bezgalībā nefokusējas uz tīklenes sauc par ametropiju. Pie ametropijām pieskaita hipermetropiju, miopiju un astigmatismu. [20]

Atbildes duohromajā testā, kas balstās uz longitudinālo hromatisko aberāciju, sfēriskās korekcijas precizēšanai, variēs, atkarībā no ametropijas veida. Testā pacientam ir jāatbild, uz kura fona (sarkanā/zaļā vai abiem vienādi) optotipi šķiet skaidrāki, asāki.

Klīniskās refrakcijas veidi:

1. Emetropija – normālas acs refrakcijas spēja. Refrakcijas veids, kad pie atslābinātas akomodācijas acī paralēli krītoši gaismas stari fokusējas uz tīklenes. Optiskā ziņā pats pilnīgākais acs refrakcijas veids. Acs kopējais stiprums ir „saskaņots” ar acs aksiālo garumu; [20];

2. Hipermetropija jeb tālredzība. Refrakcijas veids, kad pie atslābinātas akomodācijas acī paralēli krītoši gaismas stari fokusējas aiz tīklenes. Acs optiskās sistēmas laušanas spēja neatbilst acs aksiālajam garumam. Šajā gadījumā acs aksiālais garums ir relatīvi mazs vai radzene relatīvi plakana, acs optiskais stiprums par vāju. Tiek koriģēts ar „+” lēcām; [20] Hipermetropijas gadījumā pacients atbildēs, ka burti šķiet skaidrāki uz zaļā fona, jo aberāciju ietekmē zaļie stari tiek fokusēti tuvāk tīklenei nekā sarkanie; [21]

3. Miopija jeb tuvredzība. Refrakcijas veids, kad pie atslābinātas akomodācijas acī paralēli krītoši gaismas stari fokusējas pirms tīklenes.. Šajā gadījumā acs ābola aksiālais garums ir relatīvi liels vai radzene relatīvi izliekta. [20] Tiek koriģēts ar „-” lēcām; Miopijas gadījumā pacients atbildēs, ka burti šķiet skaidrāki uz sarkanā fona, jo aberāciju ietekmē sarkanie stari fokusējas tuvāk tīklenei nekā zaļie; [21]

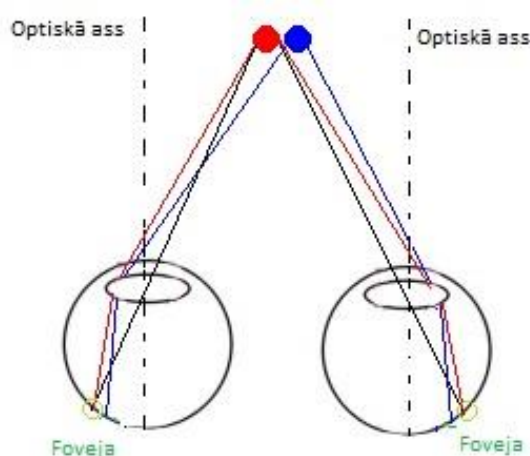
4. Astigmatisms – klīniskās refrakcijas veids, kur acs optiskās sistēmas komponentes nav sfēriskas, un gaismas stari netiek fokusēti vienā punktā. Astigmatisma pamatā ir acs optiskā aparāta dažāda refrakcijas spēja savstarpēji perpendikulāros virzienos. Šādās acīs ir vairāki galvenie fokusi, un skaidru attēlu iegūt nav iespējams. [20]

1.4. Hromostereopse

Atkinsons (*Atchison*) un Smits (*Smith*) aplūkoja *hromostereopsi* jeb krāsu stereoredzi kā binokulārās redzes fenomenu, kad dažādas krāsas objekti vienā plaknē rada dziļuma sajūtu. Krāsu stereoredzes gadījumā 2D attēls tiek uztverts kā 3D attēls, bez papildus palīgierīcēm vai skatīšanās metodēm. Šis fenomens ir balstīts uz binokulārās redzes mehānismu un acs hromatiskajām aberācijām. [17] Nozaru speciālisti, kas ir saistīti ar dizaina un maketu izstrādi, iesaka neizvēlēties spilgti sarkanās un spilgti zilās krāsu salikumu, lai neradītu krāsu stereoskopisko efektu, kas var būt traucējošs. [22]

1.4.1. Optiskais fenomens

Krāsu stereoredzes efekts rada illuzoru dziļuma sajūtu no plakanām virsmām. Šo efektu vislabāk novērot, aplūkojot zilus un sarkanus objektus vienā plaknē, kas atrodas uz melna fona, ir iespējamas arī citas krāsu kombinācijās, piemēram, sarkanais un zaļais. Krāsu stereoredzes gadījumā sarkanā un zilā objekta attēli projicējas dažādos tīklenes punktos, radot binokulāro disparitāti, ko pārveido dziļuma uztveres informācijā. (skat.1.12.att.)



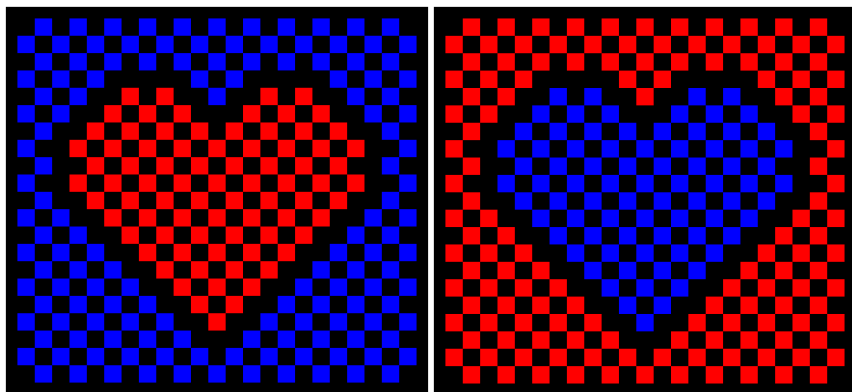
1.12.attēls. Ilustratīvi krāsu stereoredzes gadījumu var shematiski attēlot šādi - sarkana un zila objekta attēli projicējas dažādos tīklenes punktos, radot binokulāro disparitāti, kas novērotājam rada illuzoru sajūtu, ka zilais un sarkanais objekts neatrodas vienā plaknē, kaut arī šie objekti telpā atrodas vienā plaknē; ar melnu raustītu līniju ir attēlota optiskā ass, bet ar melnu nepārtrauktu redzes ass

1.4.2. Pozitīvā un negatīvā hromostereopse

Šo krāsu stereoskopisko fenomenu var iedalīt divās daļās jeb *polaritātēs*, atkarībā no novērotāja sajūtām: [23]

1. **Pozitīvā hromostereopse.** Novērotājam ar pozitīvo krāsu stereoredzi sarkanā krāsa/sirds liksies tuvāk nekā zilā (skat.1.13.att.). Tiek dēvēta arī par „sarkanais-priekšā-zilajam” (*red-in-front-of-blue*) krāsu stereoredzi.

2. **Negatīvā hromostereopse.** Novērotājam ar negatīvo krāsu stereoredzi zilā krāsa/sirds liksies tuvāk nekā sarkanā (skat. 1.13.att). Tiek dēvēta arī par „zilais-priekšā-sarkanajam” (*blue-in-front-of-red*) krāsu stereoredzi.



1.13.attēls. Pozitīvās krāsu stereoredzes novērotājam sarkanā sirds liksies tuvāk, bet negatīvās krāsu stereoredzes novērotājam zilā sirds liksies tuvāk [23]

Krāsu stereoredzes efekts samazinās, ja stimula fons ir balts vai izzūd pavisam, ja ir traucēta stereoredze vai skatās monokulāri. [23,24]

Čens (*Chen*) ar autoru kolektīvu 2013.gadā veica pētījumu par stereoskopisko dziļuma uztveri atkarībā no krāsas. Autori secināja, ka dziļuma uztvere ir atkarīga no krāsas, ka krāsu stereoredzes mehānisms ir vājāks par spožuma mehānismu un krāsu redze piedalās stereoredzes veidošanā pie izoluminātiem stimuliem. [25]

Tompsons (*Thompson*) ar autoru kolektīvu krāsu stereoskopiskā efekta samazināšana iesaka: [26]

1. Samazināt sarkanās krāsas luminanci un palielināt zilās krāsas luminanci;
2. Palielināt fona luminanci;
3. Iekļaut monokulārās dziļuma pazīmes.

Pastāv trīs galvenie modeļi, ar kuru palīdzību cenšas izskaidrot krāsu stereoredzes un tās radītās dziļuma sajūtas darbības mehānismus. Tie ir balstīti uz acs hromatiskajām aberācijām, binokulārās redzes mehānismiem un staru gaitu acī

1.4.3. Tradicionālais modelis

Hromatisko aberāciju ietekmē redzamās gaismas īsie viļņu garumi (zilā gaisma) tiek fokusēti tuvāk nekā garie viļņu garumi (sarkanā gaisma), kaut arī šie objekti atrodas vienādā attālumā pirms lēcas

Tradicionālā modeļa pirmsākumi ir meklējami 1868. gadā, kad Brike (*Brücke*) minēja, ka šī modeļa pamatā ir divu faktoru kombinācija: [26]

1. acs hromatiskās aberācijas - laušanas koeficientu atšķirības dažādiem viļņu garumiem - īso viļņu garumiem refrakcijas koeficients ir lielāks par 1.5 vai 2.0 D nekā garajiem viļņu garumiem. Zilās un sarkanās krāsas fokusu novietojums attiecībā pret fokālo plakni informē, ka zilais avots atrodas tālāk, jo fokuss atrodas tuvāk lēcai. Jo tuvāk lēcai ir fokuss, jo tālāk ir gaismas avots, ja laušanas koeficients ir nemainīgs

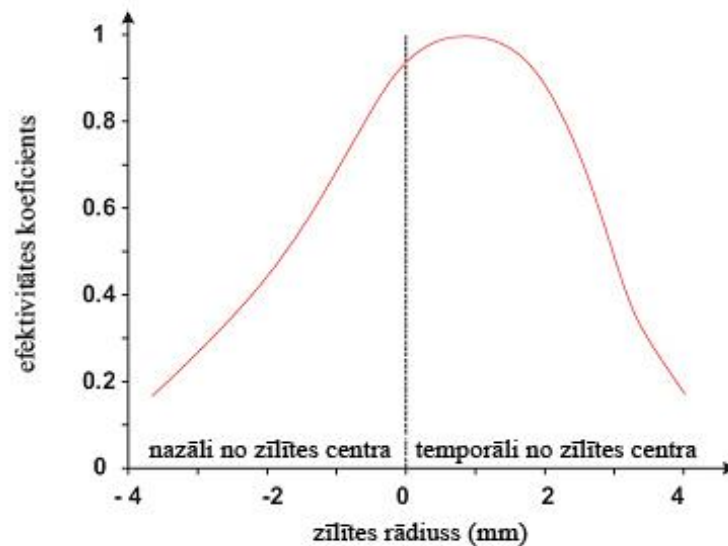
2. redzes un optiskās ass nobīdes acī – acs optiskajā sistēmā ir vairāk nekā piecas asis, bet šim modelim nozīmīgas ir divas: redzes ass -līnija, kas savieno fiksācijas objektu ar fovejas centru - un optiskā ass - līnija, kas iet perpendikulāri lēcas virsmai

No staru gaitas acī ir zināms, ka zilās krāsas fokuss atrodas tuvāk acs lēcai, tāpēc zilā krāsa būtu jāzūtvērt tālāk nekā sarkanā, bet daži novērotāji apgalvoja pretējo. Brike (*Brücke*) nespēdams izskaidrot, kāpēc vairākumam ir pozitīvā *hromostereopse*, kad sarkanais tiek noverots tuvāk, bet dažiem negatīvā *hromostereopse*, kad zilais tiek novērots tuvāk, šo modeli noraidīja. Einthovens (*Einthoven*) 1885. gadā vēlreiz izvirzīja šo modeli, ka hromostereopses pamatā ir palielinājuma hromatiskā atšķirība (*chromatic difference of magnification*), piemēram zilie stari tiek noliekti vairāk kā sarkanie acs optiskajā sistēmā, un to fokusi ir gan dažādos attālumos no lēcas, bet arī veido dažādus leņķus ar optisko asi, tādējādi stimulējot dažādus punktus uz tīklenes. No tā seko, ka iespējams novērotājiem ar temporāli ekscentrisku zīlīšu novietojumu būs novērojams zilais tuvāk, bet ar nazāli ekscentrisku zīlīšu novietojumu,- sarkanais. [26]

Balstoties uz tradicionālo modeli, krāsu stereoredzi būtu jānovēro arī monokulāri, bet Hovards (*Howard*) un Rodžers (*Rogers*) uzsver, ka ir nepieciešams skatīties binokulāri, lai novērotu krāsu stereoskopisko efektu. [23]

1.4.4. Uzlabotais tradicionālais modelis

Tradicionālais modelis nerada pilnīgu izpratni, kāpēc ir novērojama negatīvā krāsu stereoredze, Voss (*Vos*) prezentēja alternatīvu izskaidrojumu negatīvajai krāsu stereoredzei, minēdams, ka gaismas efektivitāte (*luminous efficiency*) mainās dažādās zīlītes vietās. [26] Šis fenomēns ir zināms kā Stīla-Kravforda efekts (*Stiles-Crawford effect*). Zīlītes gaismas efektivitāte temporāli no zīlītes ģeometriskā centra sasniedz maksimumu. Bīdoties nazāli no zīlītes ģeometriskā centra, efektivitāte samazinās. [7] (skat.1.14.att.)



1.14.attēls. Zīlītes gaismas efektivitāte mainās dažādās zīlītes vietās, ar 0 apzīmēts zīlītes ģeometriskais centrs [7]

Pamanīšanas sliekšnis gaismas kvantiem, kad tie krīt caur mazu apertūru zīlītes centrālajā daļā ir zemāks nekā, kad gaismas kvants krīt zīlītes perifērijā. Šādu sakarību var skaidrot ar fotoreceptoru vāļišu iekšējo segmentu formu, kas kā piltuve „savāc” krītošos gaismas kvantus. Dunnevolds (*Dunnewold*) aprakstījis, ka vairākam gaismas efektivitātes maksimuma punkts uz tīklenes ir novietots nazāli no optiskās ass, šādā situācijā Stīla-Kravforda efekts rada negatīvo krāsu stereoredzi. Savukārt foveja atrodas temporāli no optiskās ass, kas rada pozitīvo krāsu stereoredzi, radot antagonisku efektu. Palielinoties apgaismojumam, zīlīte sašaurinās un Stīla-Kravforda efekts samazinās. Samazinoties apgaismojumam, zīlīte paplašinās un Stīla-Kravforda efekts palielinās. Mezopiskos un skotopiskos apstākļos Stīla-Kravforda ierosinātā binokulārā

disparitāte var būt lielāka nekā fovejas ekscentriskā novietojuma radītā disparitāte, kas novērotājam rada negatīvo krāsu stereoredzi. [26]

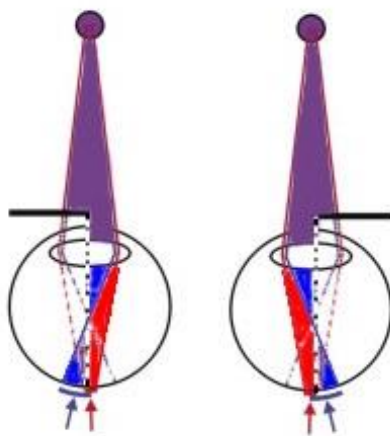
Kitaoka (*Kitaoka*) apgalvo, ka šis modelis ir nepilnīgs, jo nespēj izskaidrot, kāpēc, aizklājot redzes lauku temporālās puses, zilā krāsa tiek uztverta tuvāk nekā sarkanā. [23]

1.4.5. Smaguma punkta modelis

Zinātnieku grupa Kitaoka (*Kitaoka*) vadībā 2006. gadā izveidoja *Smaguma punkta modeli* (*Center-of-gravity model*), lai skaidrotu krāsu stereoredzes maiņu, kad daļēji tiek aizklāts acs ābols. [23]

Šis modelis paredz, ja tiek fokusēta sarkanā gaisma, tad zilā gaisma tiek projicēta uz tīklenes difūzi. Sarkanais stimul ir fokusā, kamēr „*smaguma punkts*” prezentē novietojumu difūzi projicētajam zilajam stimulam. Ja tiek fokusēta zilā gaisma, tad sarkanā gaisma tiek projicēta uz tīklenes difūzi. Zilais stimul ir fokusā, kamēr „*smaguma punkts*” prezentē novietojumu difūzi projicētajam sarkanajam stimulam. [23]

Smaguma centra modeļa pētījumā tika reizē aizklātas katras acs redzes lauka temporālās puses, neiesaistot foveālo redzi. Sarkanās gaismas „*smaguma punkts*” pārvietojas nazālā virzienā, kamēr „*smaguma centr*s” zilajai gaismai pārvietojas temporālā virzienā (skat.1.15.att). Šīs maiņas rada binokulāro disparitāti, kas ģenerē negatīvo krāsu stereoredzi. Aizklājot nazālās puses – tiek ģenerēta pozitīvā krāsu stereoredze.



1.15.attēls. Staru gaita Smaguma centra modelī, aizklājot redzes lauka temporālās puses, sarkanās krāsas „*smaguma punkts*” pārvietojas nazāli, bet zilās krāsas „*smaguma punkts*” – temporāli, radot negatīvo krāsu stereoredzi[23]

2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

2.1. Mērķis un darba uzdevumi

Mērķis:

Izpētīt krāsu stereoredzes radīto dziļuma sajūtu un tās pamanīšanas sliekšni atkarībā no apgaismojuma, kā arī stereoskopiskā efekta izmaiņu, daļēji aizklājot redzes lauku.

Uzdevumi:

1. Izveidot metodiku krāsu stereoredzes radītās dziļuma sajūtas novērtēšanai, kas balstīta uz datorprogrammas izstrādi;
2. Noteikt eksperimenta dalībnieku atlases kritērijus un pārbaudīt dalībnieku atbilstību;
3. Noteikt krāsu radītās stereoredzes pamanīšanas sliekšnis jeb krāsu diferences sliekšni, kas ierosina dziļuma sajūtu fotopiskos apstākļos;
4. Noteikt krāsu radītās stereoredzes pamanīšanas sliekšnis jeb krāsu diferences sliekšni, kas ierosina dziļuma sajūtu skotopiskos apstākļos;
5. Veikt temporālu zīlīšu aizklāšanu, pārbaudot, vai tiek novērota krāsu stereoredzes *polaritātes* maiņa.

2.2. Eksperimenta dalībnieki

Pētījuma dalībnieki eksperimentam tika atlasīti, pamatojoties uz šādiem kritērijiem:

- redzes asums binokulāri vismaz 1.0, ja nepieciešams, iegūts izmantojot korekciju
- binokulārā redze un vismaz rupja stereoredze (TNO)

Pētījuma laikā tika pievienots vēl viens atlasē kritērijs - stabila krāsu stereoredzes radītā dziļuma sajūta, kas nozīmē, ka eksperimenta dalībnieks nemainīgi novēro vienu krāsu kā tuvāk esošu, piemēram, sarkano, jo daudziem novērotājiem notika „pārslēgšanās” no pozitīvās uz negatīvo krāsu stereoredzi. To var skaidrot, ka krāsu stereoredzes mehānisms ir vājāks par spožuma mehānismu [25], kā arī, iespējams, neirālu faktoru ietekmē, līdzīgi kā Geštalta psiholoģijā, ka neesoši punkti tiek uztverti kā viens objekts.

Kopumā eksperimentālajā daļā piedalījās 15 cilvēki – 10 sievietes un 5 vīrieši. Dalībnieku vecums no 19 līdz 54 gadiem. 14 pētījuma dalībniekiem tika novērota pozitīva krāsu stereoredze, bet vienam – negatīvā. Pēc dalībnieku apgalvotā, nevienam eksperimenta veikšanas laikā nebija acu vai kādu vispārēju organisma saslimšanu.

2.3. Pētījuma metodika

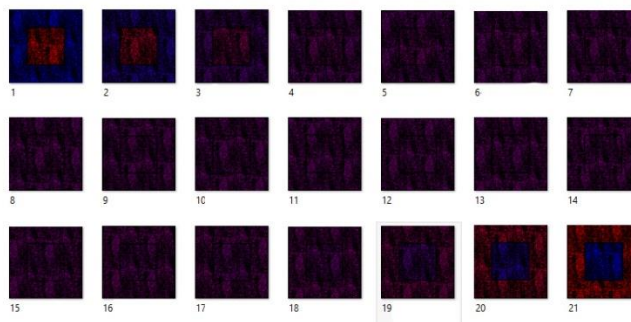
Ekspierimentālajā daļā tika izmantots speciāli veidots tests krāsu stereoredzes radītās dziļuma sajūtas novērtēšanai. Eksperiments norisinājās Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas telpās fotopiskos un skotopiskos apstākļos.

2.3.1. Krāsu stereoredzes novērtēšanas tests

Krāsu stereoredzes radītās dziļuma sajūtas novērtēšanas testa programma rakstīta, izmantojot programmēšanas valodas *HTML un JavaScript jQuery*. Iegūtie dati tika nosūtīti uz serveri, kur tiek saglabāti *MySQL* datubāzē.

Krāsu stereoredzes tests veidots pēc konstantā stimula metodes – tiek rādīti stimuli ar dažādām krāsu diferences stimuli jauktā secībā. Šī metode tiek dēvēta arī par „jā-nē” metodi, kā arī šajā testā ir iekļauts „tukšais stimul”, lai pārbaudītu rezultātu ticamību.[27]

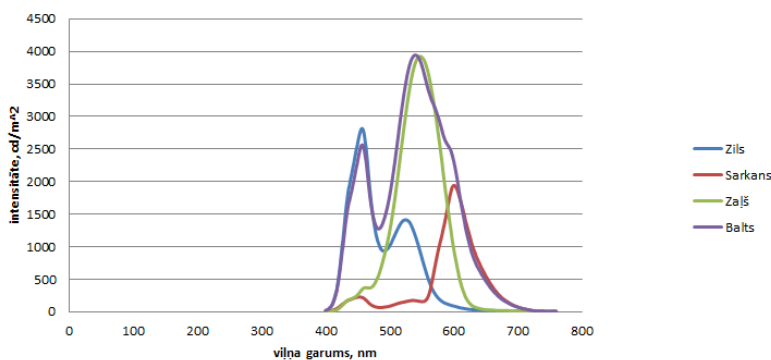
Krāsu stereoredzes novērtēšanas tests sastāv no 21 stimula, kas 5 reizes randomizēti atkārtojas, kopā 105 stimuli. Programma stimulus ģenerē no gadījuma punktiem (*random-dot*). Vizuāli stimul ir sadalīts iekšējā un ārējā kvadrātā. RGB vērtības gan iekšējam, gan ārējam kvadrātam mainās. Stimula Nr.-10 ārējais kvadrāts ir zils, RGB (0,0,255), bet iekšējais kvadrāts – sarkans, RGB (255,0,0). Katrs nākamais stimul vairāk pietuvinās viduspunktam purpura krāsai RGB (127,0,127), kas atbilst stimulam Nr.0, kad ārējais un iekšējais kvadrāts ir vienā krāsā. Stimula Nr.10 ārējais kvadrāts ir sarkans, RGB (255,0,0), bet iekšējais kvadrāts – zils, RGB (0,0,255). Attēlā 2.1. attēloti krāsu stereoredzes stimulu piemēri. RGB vērtības skatīt 1.pielikumā.



2.1.attēls. Krāsu stereoredzes testa stimulu piemēri augošā secībā,stimuls Nr.-10 stimul sastāv no zila ārējā kvadrāta un sarkana iekšējā kvadrāta, Nr.0 sastāv no vienādas purpura krāsas kvadrātiem; Nr.10 sastāv no sarkana ārējā kvadrāta un zila iekšējā kvadrāta

2.3.2. Konvertācija no stimula nr.p.k. uz papildkrāsas viļņa garumu λ

Eksperimentā tika izmantots portatīvā datora DELL INSPIRON15 monitors, izšķirtspēja 1366x765, Krāsu stereoredzes tests tiek rādīts, iestatot monitoram maksimālo spožumu, kas paliek nemainīgs eksperimenta gaitā. Monitoram tika uzņemtas spektrālā starojuma līknes dažādu krāsu luminoforiem. (skat.2.2.att.)



2.2.attēls. DELL INSPIRON15 spektrālā starojuma līknes dažādu krāsu luminoforiem.

Tā kā purpura krāsas diferencu starpība ir dažāda starp testa stimula nr.p.k., ir nepieciešams veikt konvertāciju uz papildkrāsa vērtību nm (purpura krāsai nav dominantais viļņu garums, tāpēc tiek izmantota papildkrāsas viļņa garums λ). Papildkrāsas viļņa garums neatbilst dominantās krāsas viļņa garumam, ko uztver acs.

Ar hromometru *Konica Minolta CS-100A* tika mērīts katra stimula iekšējā un ārējā kvadrāta vērtības x un y CIE 1931 krāsu telpā.

Krāsu diferences aprēķināšana CIE1931 krāsu telpā pēc grafiskās metodes. Stimuls nr-10 sastāv no centrāla sarkana kvadrāta ($x=0,552; y=0,350$) un zila perifērā kvadrāta ($x=0,156; y=0,126$); šie punkti grafiski tiek atļikti un ar līniju savienoti caur neitralizācijas punktu ($x=0,330; y=0,330$). Sarkanās krāsas papildkrāsas viļņa garums 491nm. Zilās krāsas papildkrāsas viļņa garums 577nm; šo divu krāsu diference ir -86nm.(skat.2.pielikumu)

Centrālie stimulu vērtības atbilst krāsu diferences vērtībai, tiek pieņemts, ka centrālo stimulu vērtības ir diferences vērtība nm. Iegūtie rezultāti apkopoti 2.1.tabulā.

2.1.tabula. Sakarība starp stimula nr. un krāsu diferencēm, kas attēlots papildkrāsas viļņa garumos λ .

Stimula nr.p.k.	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Diferences vērtība nm	-86	-74	-68	-10	-9	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	9	10	68	74	-86

2.3.3. Eksperimenta gaita

Krāsu stereoredzes pamanīšanas sliekšņa noteikšanai bija nepieciešams 2.3.1 nodaļā aprakstītais krāsu stereoredzes novērtēšanas tests. Eksperimenta dalībniekam bija jāieņem vieta krēslā 3m attālumā no portatīvā datora DELL INSPIRON15 monitora, uz kura tika demonstrēts krāsu stereoredzes novērtēšanas tests. Eksperimentu iedala divās daļās – eksperimentu veic fotopiskos apstākļos un skotopiskos. Abas eksperimenta daļas veic binokulāri, ja vajadzīgs, izmantojot korekcijas līdzekli. 7 emetropi eksperimentu veica bez redzes korekcijas līdzekļa; 5 miopi izmantoja brilles, t.s. 3 no tiem arī kontaktlēcas; 2 hipermetropi veica bez brillēm, 1 hipermetrops ar brillēm, atkarībā no redzes korekcijas nepieciešamības tālumā.

Tika veikta arī temporāla redzes lauka aizklāšana, izmantojot proves rāmi ar diafragmu, kurai puse ir nosepta. Tā kā krāsu stereoredzes radītais efekts ir nestabils pie acu un galvas kustībām, tad viens motivēts eksperimenta dalībniekam izpildīja krāsu stereoredzes testu, izmantojot zoda atbalstu. Pārējiem dalībniekiem tika veikta aizklāšana un jautāts, vai tiek novērota *polaritātes* maiņa.

Testā eksperimenta dalībniekam ir jāatbild uz jautājumu "Vai iekšējais kvadrāts šķiet tuvāk?" nospiežot ar peli uz atbilžu varianta „Jā” vai „Nē”. Ja pētījuma dalībniekam illuzori rodas sajūta, ka iekšējais kvadrāts ir izbīdīts uz āru, tad atbilde ir pozitīva, ja iekšējais kvadrāts šķiet vienā plaknē ar ārējo kvadrātu vai ārējais kvadrāts illuzori rada sajūtu, ka ir izbīdīts uz āru, tad atbilde ir noraidoša.

Testu atkārtoti trīs reizes. Kad eksperimenta pirmā daļa ir izpildīta, seko pauze-adaptācijas laiks tumsai, apmēram piecas minūtes, tad tests tiek trīs reizes atkārtots skotopiskos apstākļos. Pēc eksperimenta dalībnieku vēlmēm un vajadzībām bija iespēja arī izmantot pauzes acu atpūtināšanai starp testiem, jo šī testa aplūkošana rada acu nogurumu.

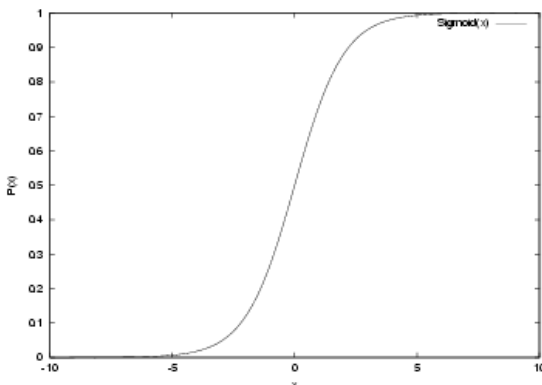
2.4. Rezultāti un to analīze

2.4.1. Rezultātu apstrāde

Rezultātu apstrādei tika izmantotas divas datorprogrammas – *Microsoft Office Excel 2010* un *MicroCal OriginPro 8.5*.

2.4.2. Aproximācija ar Bolcmaņa sigmoīdu

Krāsainu stimulu radītās dziļuma sajūtas mērījuma dati no datorprogrammas datu bāzes tika pārnesti un apstrādāti OriginPro 8.5. Uz x-ass tika attēlots stimula numurs, uz y-ass pozitīvo atbilžu skaits procentos, kas parāda, cik reižu uz testa jautājumu "Vai iekšējais kvadrāts šķiet tuvāk" ir atbildēts „Jā”. Iegūtie dati tika aproksimēti ar Bolcmaņa (*Boltzmann*) sigmoīdu, tā tika pieņemta par pētījuma dalībnieka psihometrisku funkciju. (skat.2.3.att.)



2.3.attēls. Bolcmaņa sigmoīda⁷

Bolcmaņa sigmoīdu apraksta (1.3) vienādojums: [28]

$$f(x) = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{\frac{x - x_0}{\sigma}}} \quad (1.3)$$

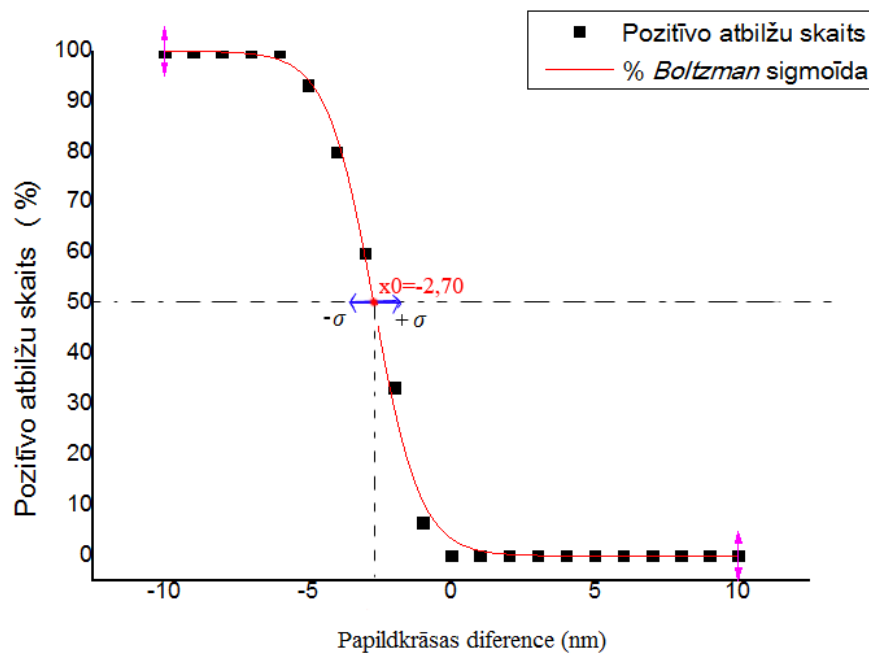
Kur A_1 un A_2 maksimālā un minimālā Bolcmaņa sigmoīdas vērtība, x_0 ir x vērtība, kurai atbilst Bolcmaņa sigmoīdas 50% no maksimālās vērtības, σ – sigmoīdas pusplatums. Šajā eksperimentā $A_1 = 15$ un $A_2 = 0$

⁷ <http://www2002.org/CDROM/refereed/232/sigmoid.png>

Krāsu radītās stereoredzes pamanīšanas sliekšnis ir Bolcmaņa sigmoīdas parametrs sigmoīdas pusplatums σ . Šajā eksperimentā katram dalībniekam tika iegūts grafiks, kas attēlo krāsu stereoredzes radītās dziļuma sajūtas (arī psihometriskās līknes) viduspunktu x_0 un pamanīšanas sliekšni σ . Balstoties uz 2.3.2. nodaļā aprakstīto stimula konvertāciju, doto rezultātu vērtības jāinterpretē kā papildkrāsu difference nm.

Tā kā nav pieejami pētījumi par krāsu stereoredzes pamanīšanas sliekšni, tad iegūtie rezultāti ir informatīvi, jo nav iespējams salīdzināt iegūtos datus ar literatūras avotiem.

Piemēram, eksperimenta dalībnieka Nr. 16 sigmidālā līkne un tās aprakstošie parametri. (skat.2.4.att.)



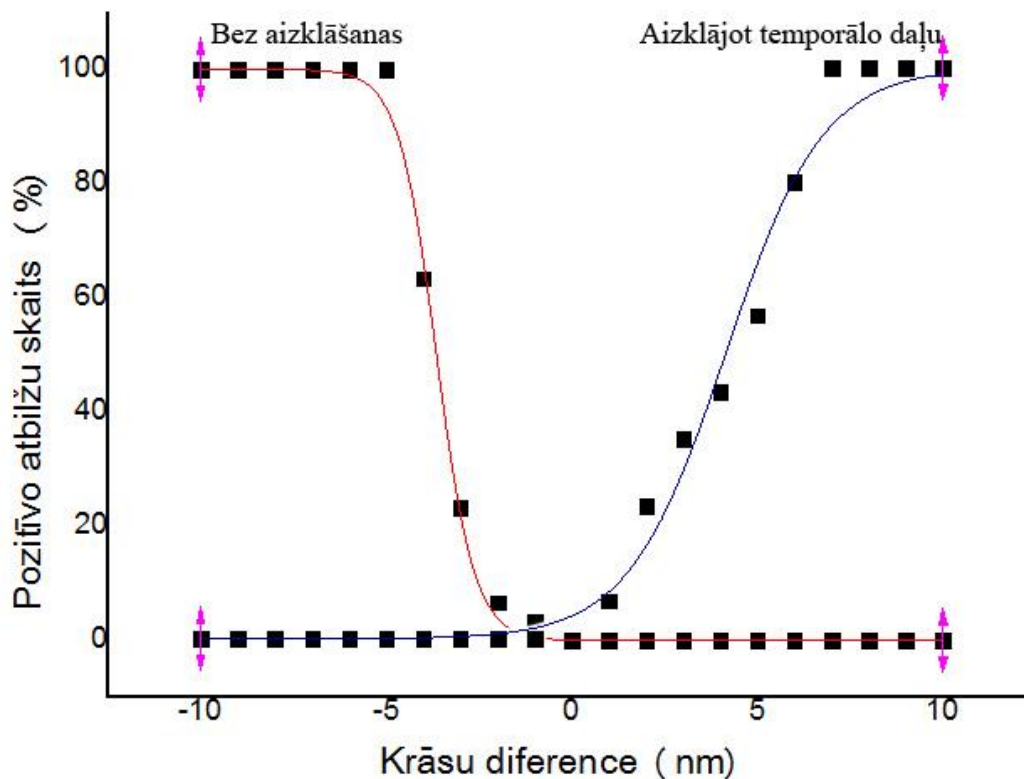
2.4.attēls. Bolcmaņa sigmoīda kā eksperimenta dalībnieka Nr. 16 psihometriskā līkne ar tās parametriem $x_0 = -2,70$ nm (mīnuss zīme norāda virzienu no nulles difference) un $\sigma = 0,81$ nm skotopiskos apstākļos

Sigmoīdas viduspunkta x_0 un krāsu stereoredzes pamanīšanas sliekšņa vērtības σ un standartklūdas fotopiskos un skotopiskos apstākļos novērotājiem ar pozitīvu krāsu stereoredzi skatīt 3.pielikumā.

2.4.3. Polaritāte

Polaritāte ir krāsu stereoredzes iedalījums pēc subjektīvajām sajūtām - pozitīvā un negatīvā krāsu stereoredze. No 15 eksperimenta dalībniekiem tikai viens novēroja negatīvo krāsu stereoredzi, kaut arī pēc literatūras datiem negatīvo stereoredzi novēro 20%. [23] Būtu jāveic pētījums, kas ietver lielāku eksperimenta dalībnieku skaitu, lai precīzāk noskaidrotu, cik bieži ir sastopami novērotāji ar negatīvo krāsu stereoredzi, bet apstiprinās, ka vairākumā ir novērotāji ar pozitīvo krāsu stereoredzi.

Līdzīgi kā *Smaguma punkta modeļa* pētījumā, šajā eksperimentā dalībniekam tika veikta abu redzes lauku temporālo daļu aizklāšana un tika novērota polaritātes maiņa. (skat.2.5.att.) Normālos skatīšanas apstākļos $x_0 = -3,70 \pm 0,10 \text{ nm}$, $\sigma = 0,70 \pm 0,09 \text{ nm}$, bet ar aizklātu redzes lauka temporālo daļu $x_0 = -4,15 \pm 0,12 \text{ nm}$, $\sigma = 1,31 \pm 0,10 \text{ nm}$. Šī *polaritātes* maiņa ir skaidrojama, ka sarkanās gaismas „*smaguma punkts*” pārvietojas nazālā virzienā no fovejas, kamēr „*smaguma centrs*” zilajai gaismai pārvietojas temporālā virzienā no fovejas. Šīs maiņas rada binokulāro disparitāti, kas ģenerē negatīvo krāsu stereoredzi.

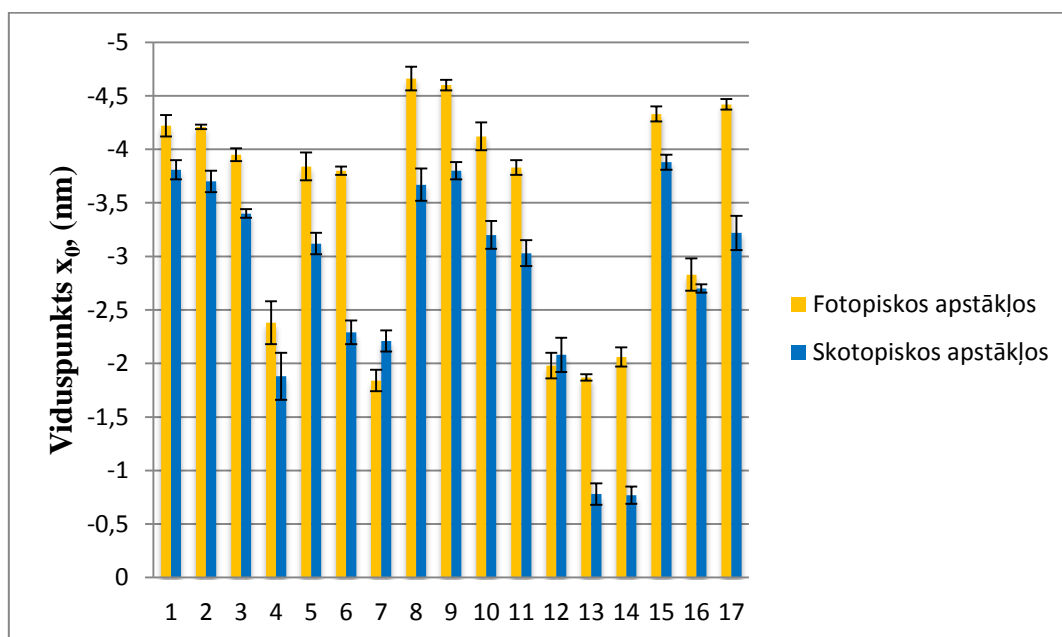


2.5.attēls. Normālos skatīšanas apstākļos tiek novērota pozitīvā krāsu stereoredze, bet aizklājot redzes lauka temporālo daļu, novēro *polaritātes* maiņu uz negatīvo krāsu stereoredzi

Jāatzīmē, ka arī eksperimenta dalībniekam, kam normālos skatīšanas apstākļos tiek novērota negatīvā krāsu stereoredze, aizklājot redzes lauka temporālo pusi, saglabājas negatīvā krāsu stereoredze.

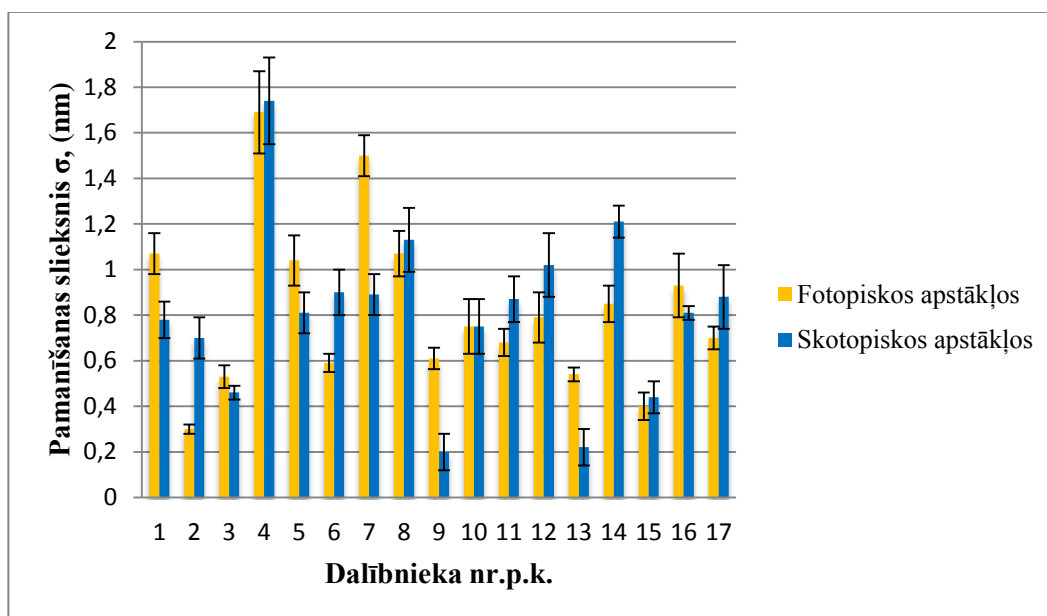
2.4.4. Sigmoidas parametru izmaiņas

Veicot *Excel t-Test: Paired Two Sample for Means* sigmoidas viduspunkta vērtībai x_0 14 eksperimenta dalībnieku izlasē (kopā 17 mērījumi, jo trīs pētījuma dalībniekiem pirmajā reizē tika izmantota redzes korekcija brilles, bet otrajā - kontaktlēcas) ir statistiski nozīmīga atšķirība (kritiskais būtiskuma līmenis jeb $p < 0,01$), tas nozīmē, ka ar 99% statistisko ticamību šie lielumi ir atšķirīgi. Vidējā vērtība fotopiskos apstākļos ($x_0 = -3,47 \pm 0,25$ nm), skotopiskos ($x_0 = -2,80 \pm 0,25$ nm). Attēlotas viduspunkta vērtības eksperimenta dalībniekiem, kuri novēroja pozitīvo krāsu stereoredzi. Dalībnieki nr. 1-6 emetropi, 7-9 hipermetropi, 10-17 miopi, kuriem kā redzes korekcijas līdzeklis izvēlēts brilles un 3 no tiem arī kontaktlēcas. (skat.2.6.att.)



2.6.attēls. Sigmoidas viduspunktu vērtības fotopiskos un skotopiskos apstākļos, dalībnieku kārtas numuri: 1-6 emetropi, 7-9 hipermetropi, 10-17 miopi, kuriem kā redzes korekcijas līdzeklis izvēlēts brilles un 3 no tiem arī kontaktlēcas

Krāsu stereoredzes ierosinātās dziļuma sajūtas pamanīšanas sliekšnim σ nav statistiski nozīmīga atšķirība $p > 0,05$ fotopiskos un skotopiskos apstākļos. (skat.2.7.att.) Vidējā vērtība fotopiskos apstākļos ($\sigma = 0,83 \pm 0,09$ nm), skotopiskos ($\sigma = 0,81 \pm 0,09$ nm).



2.7.attēls. Krāsu stereoredzes radītās dziļuma sajūtas pamanīšanas sliekšnis σ fotopiskos un skotopiskos apstākļos, dalībnieku kārtas numuri: 1-6 emetropi, 7-9 hipermetropi, 10-14 miopi, 15-17 miopi ar kontaktlēcām

Veicot *Excel F-Test Two-Sample for Variances* tika salīdzinātas dalībniekiem, kuriem ir redzes korekcija un kuriem nav. Gan fotopiskos, gan skotopiskos apstākļos nav statistiski nozīmīgu izmaiņu vidupunktu vērtībām x_0 , bet fotopiskos apstākļos pamanīšanas sliekšni σ ir zemāks ar korekciju ($p=0,003$). To var skaidrot ar acs optiskās sistēmas kvalitātes uzlabošanu, bet jāņem vērā arī neirālie faktori, kas ietekmē dziļuma uztveri. Skotopiskos apstākļos lielāka ietekme ir Stīla-Kravforda efektam, jo paplašinās zīlītes, bet sliekšni tas neietekmē. Pētījuma dalībnieki ziņoja, ka tumsas apstākļos stereoskopiskais efekts palielinājās. Būtiski varētu būt arī zilās krāsas uztveres īpatnības centrālajā daļā un perifērijā.

Fotopiskos un skotopiskos apstākļos nav novērojama korelācija $R^2 < 0,08$ starp vidupunktu vērtībām x_0 un vecumu, kaut arī ir zināms, ka palielinoties vecumam, samazinās hromatiskās aberācijas acī. Tāpat nenovēro korelāciju starp pamanīšanas sliekšni σ un vecumu $R^2 < 0,06$.

SECINĀJUMI

1. Izveidotajā metodikā ar datorprogrammas palīdzību iespējams noteikt psihometriskās līknes viduspunkta vērtība x_0 un krāsu stereoredzes radītās dziļuma sajūtas pamanīšanas sliekšni σ .

2. Krāsu stereoredzi raksturo pamanīšanas sliekšnis σ , kas nav atkarīgs no apgaismojuma, un psihometriskās līknes viduspunkta vērtība x_0 , kas ir atkarīga no apgaismojuma ($p < 0,05$). Skotopiskos apstākļos nepieciešama mazāka krāsu diference, lai novērotu stereoskopisko efektu.

3. Veicot redzes lauku temporālu aizklāšanu, tiek novērota *polaritātes* maiņa no pozitīvās jeb *sarkanais-priekšā-zilajam* uz negatīvo jeb *zilais-priekšā-sarkanajam* krāsu stereoredzi.

NOBEIGUMS

Darbā izvirzītais mērķis tika sasniegts. Izveidotais krāsu stereoredzes ierosinātās dziļuma sajūtas novērtēšanas tests, lai arī nepilnīgs, ir pamats, uz kura bāzes var tālāk attīstīt ideju par krāsu stereoredzes pētīšanu un novērtēšanu. Būtu vēlams veikt precīzāku testa stimulu konvertēšanu uz papildkrāsas viļņa garum.

Japāņu zinātnieka *Kitaoka* un kolēģu izveidotais *Smaguma punkta modelis* ir pietiekami plašs un precīzs, lai skaidrotu krāsu stereoredzes *polaritātes* maiņu, aizklājot redzes lauka temporālās daļas - zilās krāsas „smaguma punkts” pārvietojas temporāli, radot illuzoru sajūtu, ka zilā krāsa atrodas tuvāk no novērotāja. Šis modelis realizējās bakalaura darba eksperimentālajā daļā, uz to var balstīties tālākā pētniecībā, piemēram, veidot krāsu stereoredzes un tradicionālās stereoredzes vienotu testus, kas ļautu kvantitatīvi salīdzināt dažādu krāsu salikumu radīto dziļuma sajūtu.

PATEICĪBAS

Gribētu pateikties darba vadītājam Mārim Ozoliņam par *trakajām* idejām un vērtīgajiem padomiem bakalaura darba tapšanas laikā. Izsaku pateicību Andrim Gaņģim par ieguldījumu datorprogrammas koda rakstīšanā, kā arī eksperimenta dalībniekiem par veltīto laiku testa izpildei. Paldies maniem tuviniekiem par sapratni.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. **Vos, J.J.** Depth in colour, a history of a chapter in physiologie optique amusante. *Clinical and Experimental Optometry*, 2008, Vol.91, N 2, p.139-147.
2. **Siegel, M., Tobinaga, Y., Akiya, T.** Kinder Gentler Stereo. *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VI*, January, 1999, p.18-27.
3. **Schwartz, S.** *Visual Perception: A Clinical Orientation Fourth Edition*. McGraw Hill Companies, 2009. p.229-241.
4. **Wilcox, L., M.Harris, J.,M.** Fundamentals of Stereopsis, *Encyclopedia of the Eye*, Academic Press 2010, p.154-171.
5. **Steinman, S., Steinman, B., Garzia, R.** *Foundations of Binocular Vision A Clinical Perspective*. The McGraw-Hill Companies, 2000. p.173-234.
6. **Bhola, R.** *Binocular Vision*. [tiešsaite] – [atsauce 12.01.14.]. Pieejams internetā: <http://webeye.ophth.uiowa.edu/eyeforum/tutorials/bhola-binocularvision.html>
7. **Gross, H., Blechinger, F., Achtner, B.** *Handbook of Optical Systems: Vol. 4 Survey of Optical Instruments*, 2008, 1092 p.
8. **Švede, A.** Binokulārā redze. *Lekciju materiāli*.
9. **Noorden G.K.,Campos, E.,C.** *Binocular Vision and Ocular Motility Sixth Edition*. Mosby, 2002. p.21-25.
10. **Snowden, R., Thompson, P., Troscianko, T.** *Basic Vision: An Introduction to Visual Perception* , Oxford University Press, 2006, p.197-213.
11. **Westheimer, G.** Clinical evaluation of stereopsis. *Vision Research*, 2013. Vol.90, N 20, p.38-42.
12. **Solmon, T.** *Stereopsis*. [tiešsaite] – [atsauce 17.05.2014.].Pieejams internetā: http://arapaho.nsuok.edu/~salmonto/vs3_materials/Lecture14.pdf
13. **Fernández, E.J., Unterhuber, A., Považay, B., Hermann, B., Artal, P., Drexler, W.** Chromatic aberration correction of the human eye for retinal imaging in the near infrared. *Optics Express*, 2006, Vol.14, N 13, p.6213-6225.
14. **Voke, J.** *Understanding the Basics of Ocular Aberrations*. [tiešsaite] – [atsauce 28.04.14.].Pieejams internetā: http://www.optometry.co.uk/uploads/articles/CET_120210_1_POINT.pdf
15. **Hecht, E.** *Optics Forth Edition*, Addison-Wesley Publishing Company, 1998, p.268-272.

16. **Wang, J., Candy, R., Jacobs, R.** Longitudinal chromatic aberration of the human infant eye. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, image science, and vision*, 2008, Vol.25, N 9, p.2263-2270.
17. **Atchison, D.A., Smith, G.** *Optics of the Human Eye*. Butterworth-Heinemann, 2000. p.17-192.
18. **Millodot, M.** The Influence of Age on the Chromatic Aberration of the Eye. *Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie* 1976, Vol.198, N 3 , p.235-43.
19. **Hartridge, H.** Chromatic aberration and the resolving power of the eye. *Journal of Physiology*, 1918, Vol.52, N 4, p.175-246.
20. **Krūmiņa, G.,** Redzes refraktīvie defekti. *Lekciju materiāli*
21. **Fridrihsons, J.** Redzes refraktīvie defekti II. *Lekciju materiāli*.
22. **Cooper, A., Reimann, R., Cronin, D.** *About Face 3 The Essentials of Interaction Design* Wiley Publishing, Inc., 2007. 311p.
23. **Kitaoka, A., Kuriki, I., Ashida, H.** The Center-of-gravity Model of Chromostereopsis. *Ritsumeikan Journal of Human Sciences*, 2006, Vol.27, N 11, p.59-64.
24. **Kitaoka, A.** *Chromostereopsis. Advancing color and receding color*. [tiešsaite] – [atsauce 02.01.14.]. Pieejams internetā: <http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/scolor-e.html>
25. **Chen, Z., Shi, J., Tai Y., Yun, L.** Stereoscopic depth perception varies with hues. *Optical Engineering*, 2012, Vol.51, N 9, p.1-6.
26. **Thompson, P., May, K., Stone, R.** Chromostereopsis: a multicomponent depth effect? *Displays*, 1993, Vol.14, N 4, p.227-234.
27. **Ikaunieks, G.** Redzes fizioloģija. *Lekciju materiāli*
28. *Manuālis datu apstrādes programmai OriginPro* [tiešsaite] – [atsauce 17.05.2014.]. Pieejams internetā:
http://wwwhep.physik.uni-freiburg.de/fp/origin/origin_help/16_CurveFitting.pdf

PIELIKUMI

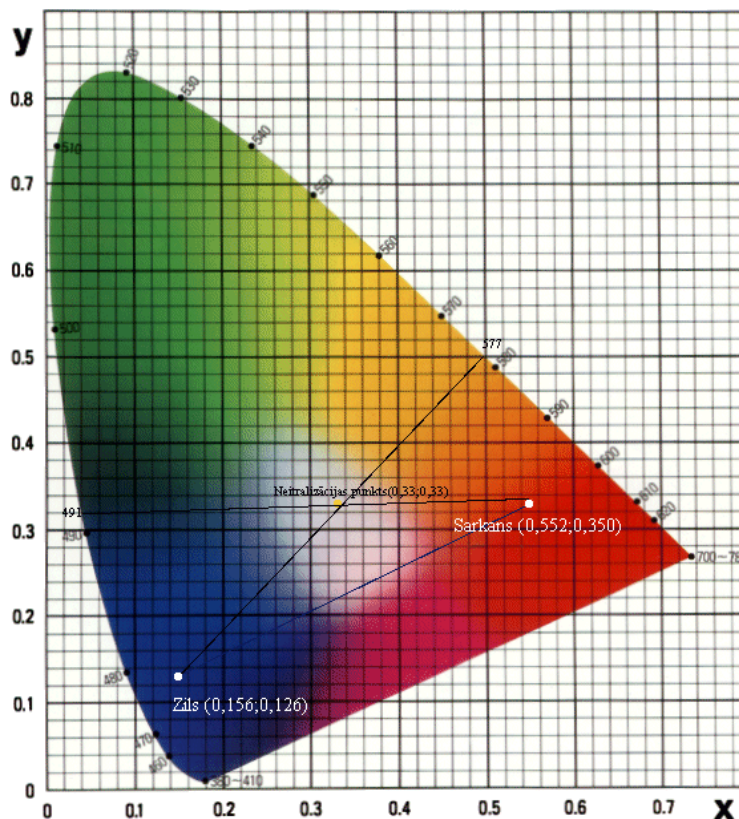
1. PIELIKUMS

Krāsu stereoredzes novērtēšanas testa RGB vērtības

Stimula Nr.p.k.	Ārējā kvadrāta RGB vērtības	Iekšējā kvadrāta RGB vērtības
-10	0,0,255	255,0,0
-9	50,0,200	20,0,50
-8	100,0,150	150,0,100
-7	120,0,133	134,0,121
-6	121,0,131	133,0,122
-5	122,0,131	132,0,123
-4	125,0,130	130,0,125
-3	126,0,129	129,0,126
-2	126,0,128	128,0,126
-1	126,0,127	128,0,127
0	127,0,127	127,0,127
1	128,0,127	126,0,127
2	128,0,126	126,0,128
3	129,0,126	126,0,129
4	130,0,125	125,0,130
5	132,0,123	122,0,131
6	133,0,122	121,0,131
7	134,0,121	120,0,133
8	150,0,100	100,0,150
9	20,0,50	50,0,200
10	255,0,0	0,0,255

2. PIELIKUMS

Krāsu diferences aprēķināšana CIE1931 krāsu telpā pēc grafiskās metodes. Stimuls nr-10 sastāv no centrāla sarkana kvadrāta ($x=0,552; y=0,350$) un zila perifērā kvadrāta ($x=0,156; y=0,126$); šie punkti grafiski tiek atļikti un ar līniju savienoti caur neitralizācijas punktu ($x=0,330; y=0,330$). Sarkanās krāsas papildkrāsas viļņa garums 491nm. Zilās krāsas papildkrāsas viļņa garums 577nm; šo divu krāsu diference ir -86nm^8



⁸ <https://www.cs.auckland.ac.nz/courses/compsci708s1c/lectures/Glect-html/CIE1931.gif>

3. PIELIKUMS

Sigmoīdas viduspunkta x_0 un krāsu stereoredzes pamanīšanas sliekšņa vērtības un standartklūdas fotopiskos un skotopiskos apstākļos

Nr.p.k.	Vecums	Fotopiskos apstākļos				Skotopiskos apstākļos			
		x_0, nm	standartklūda, nm	δ, nm	standartklūda, nm	x_0, nm	standartklūda, nm	δ, nm	standartklūda, nm
1	24	-4,22	0,10	1,07	0,09	- 3,81	0,09	0,78	0,08
2	25	-4,21	0,02	0,30	0,02	- 3,70	0,10	0,70	0,09
3	25	-3,95	0,06	0,53	0,05	- 3,40	0,04	0,46	0,03
4	29	-2,38	0,20	1,69	0,18	- 1,88	0,22	1,74	0,19
5	34	-3,84	0,13	1,04	0,11	- 3,12	0,10	0,81	0,09
6	39	-3,80	0,04	0,59	0,04	- 2,29	0,11	0,90	0,10
7	22	-1,84	0,10	1,50	0,09	- 2,21	0,10	0,89	0,09
8	22	-4,66	0,11	1,07	0,10	- 3,67	0,15	1,13	0,14
9	53	-4,60	0,05	0,61	0,05	- 3,80	0,08	0,20	0,08
10	19	-4,12	0,13	0,75	0,12	- 3,20	0,13	0,75	0,12
11	21	-3,83	0,07	0,68	0,06	- 3,03	0,12	0,87	0,10
12	21	-1,98	0,12	0,79	0,11	- 2,08	0,16	1,02	0,14
13	22	-1,87	0,03	0,54	0,03	- 0,78	0,10	0,22	0,08
14	23	-2,06	0,09	0,85	0,08	- 0,77	0,08	1,21	0,07
15	21	-4,33	0,07	0,40	0,06	- 3,88	0,07	0,44	0,07
16	21	-2,83	0,15	0,93	0,14	- 2,70	0,04	0,81	0,03
17	22	-4,42	0,05	0,70	0,05	- 3,22	0,16	0,88	0,14

Bakalaura darbs „Krāsainu stimulu radītā dziļuma uztvere” 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: Kristīne Muižniece

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: profesors, Dr.habil. phys. Māris Ozoliņš

Recenzente: asociētā profesore, Dr.phys. Gunta Krūmiņa

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____. protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: docents, Dr.phys. Pēteris Cikmačs