

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE  
OPTOMETRIJAS UN REDZES ZINĀTNES NODAĻA

**DATORIZĒTA HROMATISKĀS JUTĪBAS  
NOTEIKŠANA AR MODIFICĒTU TREPJU UN  
KONSTANTO STIMULU METODI**

BAKALaura DARBS

Autors: **Kristīne Freiberga**

Studenta apliecības Nr.: kf12008

Darba vadītājs: Mg.sc. Renārs Trukša

RĪGA 2015

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir uzrakstīts uz 42 lpp, satur 22 attēlus, 2 tabulas, 1 pielikumu un 36 literatūras atsauces.

**Darba mērķis:** veikt datorizēta krāsu redzes testa aprobāciju un noskaidrot sesijas apjoma ietekmi uz iegūstamo rezultātu.

**Dalībnieki:** 12 dalībnieki, no kuriem 2 bija ar krāsu redzes deficītu.

**Metode:** dalībnieku krāsu redze tika novērtēta ar *HRR* pseidoizohromatiskajām kartēm, anomaloskopu un datorizēto krāsu redzes testu izmantojot trepju un konstanto stimulu metodi. Dalībniekiem ar krāsu redzes testu tika konstatēts sarkan-zaļais krāsu redzes deficīts. Tika noteiktas hromatiskās jutības sliekšņu vērtības 6 hromatiskajos virzienos. Tika secināts, ka pie ilgstošas krāsu redzes testa pildīšanas hromatiskā jutība samazinās.

**Atslēgas vārdi:** krāsu redze, krāsu redzes deficīts, datorizētais krāsu redzes tests, hromatiskā jutība.

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis contain 42 pages, 22 images, 2 tables, 1 appendix and 36 references.

**Purpose:** aprobate computerized color vision test and determine the influence of session on the results

**Subjects:** 12 people participants, 2 of them was with color vision defect

**Metode:** colour vision was tested with *HRR* pseudoisochromatic plates, anomaloscope and computer controlled color vision test using staircase and constant stimuli method. Participants with color vision tests showed red – green color vision deficiency. Were determined chromatic sensitivity thresholds to 6 chromatic directions It was concluded, that chromatic sensitivity decreases with longer color vision testing.

**Keywords:** colour vision, colour vision deficiency, computerized colour vision test, hromatiskā jutība.

## Satura rādītājs

IEVADS .....	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS .....	2
1.1. Krāsu redze .....	2
1.2. Krāsu redzes attīstība .....	4
1.2.1 Trihromātiskā krāsu redzes teorija .....	4
1.2.2 Oponentā krāsu redzes teorija .....	4
1.2.3 Fotoreceptori .....	5
1.3. Krāsu redzes defekti .....	6
1.3.1 Krāsu redzes defektu rašanās .....	6
1.3.2 Monohromātiska redze .....	7
1.3.3 Dihromātiska redze .....	7
1.3.4 Anomāli trihromātiska redze .....	8
1.4. Krāsu redzes novērtēšanas testi .....	10
1.4.1 HRR pseidoizohromatiskās kartes .....	10
1.4.2 Anomaloskops .....	12
1.4.3 Cambridge Colour Test .....	13
1.5. Krāsu telpas .....	15
1.5.1 CIE sistēma .....	15
1.5.2 Konfūzijas līnijas .....	17
1.6. Psihofizika .....	18
1.6.1 Trepju metode .....	18
1.6.2 Konstanto stimula metode .....	19
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA .....	20
2.1. Pētījuma dalībnieki .....	20
2.2. HRR tests .....	21
2.2.1 Eksperimenta gaita .....	21
2.2.2 Testa rezultāti un to analīze .....	21
2.3. Anomaloskops .....	22
2.3.1 Eksperimenta gaita .....	22
2.3.2 Rezultāti .....	22
2.4. Datorizēta krāsu redzes testa uzbūve .....	24
2.4.1 Eksperimenta gaita ar trepju metodi .....	25

2.4.2 Rezultāti .....	25
2.4.3 Eksperimenta gaita ar konstanto stimulu metodi .....	27
2.4.4 Rezultāti .....	28
SECINĀJUMI .....	32
PIELIKUMS.....	33
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	34

## IEVADS

Mūsdienās cilvēkiem jāuzņem arvien vairāk informācijas un tieši ar acīm mēs uzņemam tās lielāko daļu. Redze mums sniedz informāciju par priekšmetu formu, lielumu, krāsu. Daļa cilvēku pat nenojauš, cik daudzi no mums visapkārt esošās krāsas redz un uztver pavisam citādi, cilvēki ar krāsu redzes defektiem nav retums. Krāsu redzei informācijas uztverē ir būtiska loma, tā ļauj labāk orientēties apkārtējā vidē. Dažādu fizioloģisku iemeslu dēļ, kas parasti ir iedzimta īpatnība, daļa cilvēku krāsas apkārtējā pasaulē uztver atšķirīgi salīdzinājumā ar vairākumu. Šī īpatnā krāsu uztvere cilvēkam parasti saglabājas visu mūžu, tāpēc ir svarīgi apzināties krāsu redzes defekta esamību. Tā kā mūsdienās cilvēkiem ar krāsu redzes defektiem ir ierobežojumi profesijas izvēlē, piemēram, auto tiesību iegūšanā, krāsu redzes defekts var ietekmēt profesijas un karjeras izvēli. Tāpēc ātrāk atklājot šo defektu, iespējams plānot un atvieglot cilvēka turpmāko dzīvi.

Praksēs lieto vairākus krāsu redzes novērtēšanas testus. Sakarā ar to, ka krāsu redzes testi ir dārgi un krāsu redzes izpēte ikdienā nav tik pieejama, tiek meklētas jaunas iespējas padarīt krāsu redzes testus pieejamākus. Ar mūsdienu tehnoloģiju attīstību, krāsu redzes diagnosticēšanā ir iespēja izmantot datorizētus krāsu redzes testus.

Datorizēti krāsu redzes testi ir pieejamāki, precīzāki un, laikam ejot, tie saglabā savus parametrus. Lai iegūtu vairāk informācijas par krāsu redzes deficītu, cilvēki tiek ilgstoši, eksaminēti neļaujot redzes sistēmai atgūties, tādēļ darbā tiek izvirzīta hipotēze, ka ilgstoša krāsu redzes izmeklēšana palielina hromatiskās jutības sliekšni.

**Darba mērķis** ir veikt datorizēta krāsu redzes testa aprobāciju un noskaidrot, kā sesijas apjoms ietekmē iegūstamos testa rezultātus.

### **Darba uzdevumi:**

1. Noskaidrot normai atbilstošus hromatiskās jutības sliekšņus;
2. Salīdzināt rezultātus ar HRR un anomaloskopa testa uzrādītajiem rezultātiem.

# 1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

## 1.1. Krāsu redze

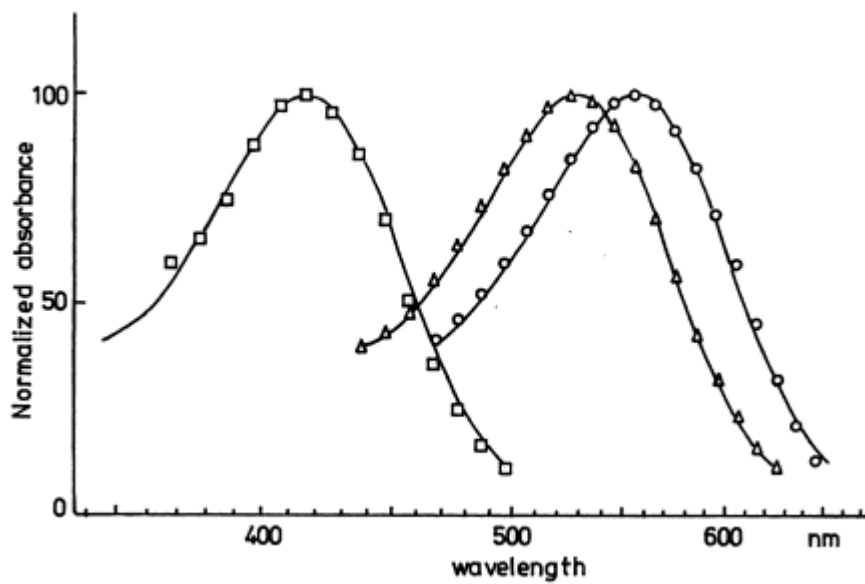
Cilvēkam ir piecas maņas – redze, dzirde, garša, oža un tauste. Ar redzi cilvēks spēj uztvert ļoti lielu informācijas daudzumu par apkārtējo pasauli. Redze cilvēkam dod informāciju par apkārtējiem priekšmetiem, cilvēkiem, dabas skatiem. Tomēr krāsa nav galvenais, lai cilvēks uztvertu apkārtējo vidi pilnvērtīgi. Lai izprastu pasauli, pietiek ar formas, tekstūras vai kustību uztveri.

Lai uztvertu krāsu, gaismas fotoniem jāiziet caur acs dzidrajām daļām – radzeni, lēcu, acs ābolu – līdz tīkļenei, kas ir gaismjūtīga membrāna sastāvoša no fotoreceptoriem, ganglionārajām, horizontālajām, amakrīnajām un bipolārajām šūnām. Šos gaismas impulsus cilvēka acs tīkļenes mugurējā daļā uztver divu tipu gaismjūtīgi fotoreceptori – nūjiņas, kuras ir atbildīgas par redzes uztveri sliktos jeb krēslas apgaismojuma apstākļos un vāļītes, kuras uztver krāsas un darbojas tikai laba apgaismojuma laikā. Nūjiņas nav sastopamas tīkļenes centrā (fovea), tās nodrošina ahromātisku redzi, un to skaits vienas acs tīkļenē var sasniegt 120 miljonus, to īpatsvars no tīkļenes fotoreceptoriem ir 95%. Lai gan vislielākais vāļīšu blīvums ir tīkļenes centrālajā daļā, tur atrodas tikai 1% no visu vāļīšu skaita. [1] Samazinoties vāļīšu skaitam uz perifēriju, to fizikālie izmēri palielinās, tās ātri reaģē uz gaismas izmaiņām, nodrošina krāsu redzi. To skaits vienas acs tīkļenē var sasniegt 6 miljonus.[2]

Tīkļenē ir trīs veidu vāļītes – īso viļņu jutības vāļītes jeb “zilajām” vāļītēm, vidējo viļņu jutības vāļītes jeb “zaļās” un garo viļņu jutības vāļītes jeb “sarkanās”. Tīkļenes centrālajā daļā nav īso viļņu vāļīšu.

Katram vāļītes veidam ir savs gaismas jutības maksimums (viļņa garums, ko tas absorbē vislabāk). Ar mikrospektrofotometrijas palīdzību tika noteikts, ka īso viļņu (zilo) vāļīšu jutības maksimums ir pie 415 – 420 nm, vidējo jeb zaļo pie 520-540 nm, bet garo viļņu vāļīšu ir 555-575 nm. [3] Ir nepieciešami vismaz trīs fotopigmenti ar savstarpēji atšķirīgiem gaismas absorbcijas spektriem, lai jebkuru krāsu būtu iespējams atšķirt no baltas. [4]

Mēdz būt tādi krāsu stimuli, kuru spektrālais sastāvs ir atšķirīgs, bet krāsu sajūta neatšķiras – šķietami vienādās krāsas rada vienādu absorbciju vāļīšu fotopigmentos. Parādību, kad stimuli ar atšķirīgu spektrālo sastāvu redzes sistēmā var izraisīt vienādu krāsu sajūtu, t.i., krāsas šķiet vienādas, sauc par metamērismu, bet pašas krāsas, kas rada vienādu krāsu sajūtu, bet stimulu spektrālais sastāvs ir atšķirīgs, sauc par metamērām krāsām. [5]



att. 1.1 Tiklenes vālišu spektrālā jutība trihromātiskas krāsu redzes gadījumā [3]

Cilvēka acs spēj uztvert tikai nelielu daļu no elektromagnētiskā starojuma spektra, no 380-390 nm līdz 760 nanometriem. Šo diapazonu sauc par redzamo gaismu. [6,7].

## 1.2. Krāsu redzes attīstība

Viens no pirmajiem zinātniekiem, kas aprakstīja krāsu redzi, bija angļu fiziķis Sers Īzaks Ņūtons. 17.gs otrajā pusē Ņūtons veica eksperimentus, kurā, izlaizdams saules gaismu caur stikla prizmu, novēroja, kā tā sadalās vairākās krāsās, ko vēlāk nosauca par spektru, kā arī, jaucot dažādas spektra krāsas, atklāja, ka ir krāsas, kas ir fizikāli dažādas (atšķirīga spektrālā intensitāte), bet izskatās identiski. Ņūtons apstiprināja, ka baltā gaisma nav homogēna un ka prizma nevis pārveido saules gaismu, bet sadala to gaismas staros ar dažādu laušanas spēju. [8]

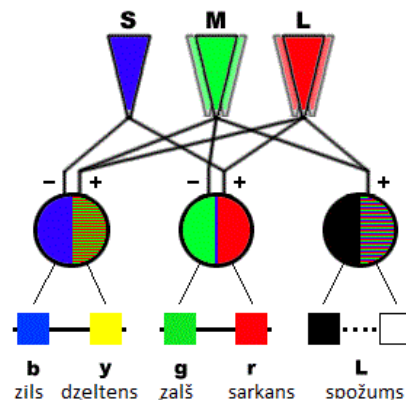
### 1.2.1 Trihromātiskā krāsu redzes teorija

Balstoties uz Ņūtona idejām, Tomas Jungs izteica priekšlikumu, ka ir trīs tipu tīklenes nervu šķiedras jeb receptori (violets, zaļš un sarkans) ar dažādu viļņu garuma jutību diapazonā no 400 nm līdz 700 nm, piebilstams, ka violetās šķiedras ir vairāk jutīgas uz īsiem viļņa garumiem, zaļās – vidējiem, sarkanās – garajiem. Atšķirīgas krāsu sajūtas tika iegūtas atkarībā no tā, cik stipri tika aktivēta katra šķiedra ar gaismu. Ierosinot visas šķiedras ar vienādu stiprumu, varēja iegūt baltās krāsas sajūtu. Vēlāk Jungs atklāja, ka dzelteno krāsu var iegūt jaucot kopā citas, kā rezultātā dzelteno vairs neuzskatīja par pamatkrāsu un tā tika aizstāta ar zaļo. [9]

### 1.2.2 Oponentā krāsu redzes teorija

Hērings (*Ewald Hering*) novēroja, ka daudzas krāsas, kas ir sakārtotas aplī, var iegūt sajaucot kopā divas vai vairāk citas krāsas, bet nav tādu krāsu, kuras vienlaikus ir gan zilā, gan dzeltenā krāsā, vai sarkanā un zaļā, kā rezultātā viņš ierosināja, ka eksistē divi krāsu kanāli (sarkan-zaļais un zili-dzeltenais), vēlāk saprazdams, ka ir arī ahromātiskā komponente (balti-melnā) jeb spožuma kanāls. Hēringsa oponento krāsu teorija balstās uz krāsu salīdzināšanu – katra krāsa tiek analizēta, vai tā ir vairāk dzeltena vai zila, sarkana vai zaļa, vai gaiša vai tumša. Hēringsa teorija nosaka, ka zaļā, sarkanā, zilā un dzeltenā ir pamatkrāsas. Zinātnieks saprata, ka pelēks un melns nav no objektiem nākošās gaismas trūkums, bet samazināts tās daudzums salīdzinot ar apkārtējo vidi. Teorija uzsver dzeltenās pamatkrāsas svarīgumu un palīdz izskaidrot krāsu pēcefektu, kad sākumā skatoties ilgāku laiku uz vienu krāsu, tad novēršot skatienu uz baltu fonu, var saskaņot novērotās krāsas pretkrāsu. [9]

Teorijā tiek ietverti arī neirālie procesi. Atkarībā no tā, cilvēks krāsu sajaukumus var redzēt tuvākus kādam toni, piemēram, violetu var redzēt vairāk zilganu vai vairāk sarkanīgu.



att. 1.2 Oponentā krāsu redzes teorija

### 1.2.3 Fotoreceptori

Tīklenē ir 3 dažādi krāsu jutīgi fotoreceptori – vāļītes, kas sastāv no ārējā, iekšējā segmenta un sinapses gala. Ārējā segmentā ir membrānu diski ar fotopigmentiem, kas absorbē gaismu. Ārējā segmentā atrodas arī gaismu jutīgi fotopigmenti, kas sastāv no olbaltumvielām – hromoforas un opsīna. Opsīna maksimālā absorbcija ir ultravioletās gaismas diapozonā zem 300 nm, bet retināla – virs 380 nm. [1] Hromofora sastāv no retināla, kas ir retinola jeb A vitamīna atvasinājums. Visos vāļīšu tipos hromofora – fotopigmenta gaismas jutīgā daļa – ir vienāda, bet opsīns atšķirīgs – jodopsīns īso viļņu jutības vāļīšu, hlorobols – vidējo un eritlābs garo viļņu jutības vāļīšu pigments. Opsīns nosaka fotopigmenta molekulas absorbcijas spektru. Katrai vāļītei ir sava spektrālā jutība jeb absorbcijas spektrs. Garo un vidējo viļņu vāļītes vairāk ir sakopotas tīklenes foveolā, kas nodrošina labu redzes asumu. [4]

Ir zināms, ka katra individuāla vāļīte pakļaujas viena faktora principam (*Principe of Univariance*). Tas nosaka, ka vāļītes stimulēšana var manīties atkarība no starojuma un viļņa garuma, izejošā informācija izpaužas tikai šūnas hiperpolarizācijas līmenī. Mainoties viļņa garumam, mainās arī gaismas fotona absorbcijas jutība, kas raksturo to, cik reižu viena veida enerģijas fotoni var ierosināt fotopigmentu vairāk nekā otri. Bet līdz ko fotons tiek absorbēts, visa informācija par viļņa garumu un frekvenci tiek zaudēta. Tādēļ individuāli vienai vāļītei vai nelielam to kopumam ir samazināta spēja izšķirt krāsas. [11] Lai atšķirtu krāsas vajag ne tikai noteiktu informācijas apjomu (viļņa garums), bet arī iespēju tās salīdzināt. Lai izšķirtu krāsu, ir jāsalīdzina fotona absorbcija dažādos fotopigmentos, t.i., absorbcijas summēšana vāļīšu fotopigmentos neirālajā līmenī radīs gaišuma/spožuma un kontrasta atšķirību.

### 1.3. Krāsu redzes defekti

Salīdzinot ar citām dzīvām būtnēm, cilvēkam ir salīdzinoši labi attīstīta redze. Krāsu redzes traucējumi ir stāvoklis, kad ir izmainīta krāsu uztvere, spēja tās saskaņot vai atšķirt, bet citas redzes funkcijas, piemēram, redzes asums, nav traucētas. Cilvēks spēj izšķirt ap 2,3 miljonu dažādu krāsu un 10 miljonu krāsu toņu. Zinātnieki ir noskaidrojuši, ka aptuveni 8 % vīriešu un 0.5 % sieviešu ir novērojami krāsu redzes traucējumi. [12]

Cilvēkam ar normālu krāsu redzi, vecumam pieaugot, pieaug fotoreceptoru krāsu jutības sliekšnis, krāsu izšķiršanas spēja mainās. [13] Kā viens no galvenajiem iemesliem ir selektīvas izmaiņas acs lēcas gaismas caurlaidībā, t.i., tiek vairāk absorbēti redzamā spektra īsie gaismas viļņi. [14] Fotoreceptoru līmenī tas izskaidrojams ar fotopigmentu blīvuma samazināšanos, kas ir vāļišu ārējā segmenta garuma samazināšanās dēļ. Izmaiņas notiek arī redzes ceļos – samazinās tīklenes ganglionāro šūnu skaits. Kortikālā daļā neironi zaudē dendrītu pinumus un mainās to mielīna apvalks, aksoniem samazinās to neirālā efektivitāte. [15] Krāsu izšķirtspēja samazinās visiem trīsvektoru parametriem ( $p < 0.001$ ) ar ātrumu: protāniem  $0.56 + 0.14u'v'$ /gadā, deitāniem  $0.61 + 0.13$ , tritāniem  $1.5 + 0.30u'v'$  CIE  $Lu'v'$  vienības gadā. [13, 14] Tas ir izskaidrojams ar optiskā nerva slimībām, kas ietekmē sarkan-zaļo kanālu, kā arī citām optiskās neiropatijas slimībām kā iedzimtā Lēbera (*Leber's*) neiropatija. [14]

#### 1.3.1 Krāsu redzes defektu rašanās

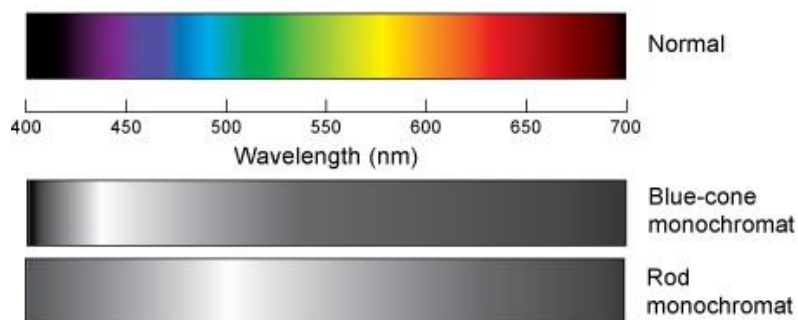
Krāsu redzes defekti var būt gan iedzimti, gan iegūti, bet visbiežāk tie ir iedzimti. Tie ir saistīti ar recesīvo x hromosomu, ko manto no mātes, kas ir šī gēna nēsātāja. Recesīvais gēns ir gēns, kas ir genotipā, bet tā pazīmes neparādās.

Krāsu redzes defektu var iegūt jebkurā vecumā. Iegūties krāsu redzes defekti vispirms parādās monokulāri. Biežākie iemesli iegūtam krāsu redzes defektam ir diabēts, katarakta, makulas deģenerācija, glaukoma, tīklenes pigmentācija, var parādīties arī pie multiplā skleroze, aknu slimības un citu acu slimību dēļ un pie dažādām traumām. Alkoholisma gadījumos vienmēr ir novērota vitamīna A deficīts. [16]

Iedzimtus krāsu redzes defektus var iedalīt pēc tā, kuras vāļītes jutība ir izmanīta. Ja izmaiņas ir notikušas garo viļņu jutības vāļītēs, tas ir protāna defekts, ja vidējo viļņu jutības vāļītes – deitāna un īso viļņu vāļītēs – tritāna krāsu redzes defekts. Krāsu redzes defektus var iedalīt arī trīs lielākās grupās atkarībā no tā, cik dažādu veidu fotoreceptoru ir cilvēka acs tīklenē - monohromāzija, dihromāzija un anomāla trihromāzija.

### 1.3.2 Monohromātiska redze

Monohromātiska redze (monohromāzija) jeb ahromatopsija ir cilvēkiem, kuriem ir tikai viens fotopigments. Ir divu veidu monohromāzijas – nūjiņu un vāļišu (īso, vidējo, garo viļņu) monohromāzija. Nūjiņu monohromāzijas gadījumā tīklenē pilnībā iztrūkst vāļītes, kā rezultātā cilvēkam vispār neveidojas krāsu redze, viss krāsu spektrs ir melnbalts. Neatkarīgi no viļņa garuma vai spožuma, cilvēks izšķirs spektru pēc kontrasta, tekstūras.



att. 1.3 Cilvēka krāsu spektrs normālas un monohromātiskas redzes gadījumā [1]

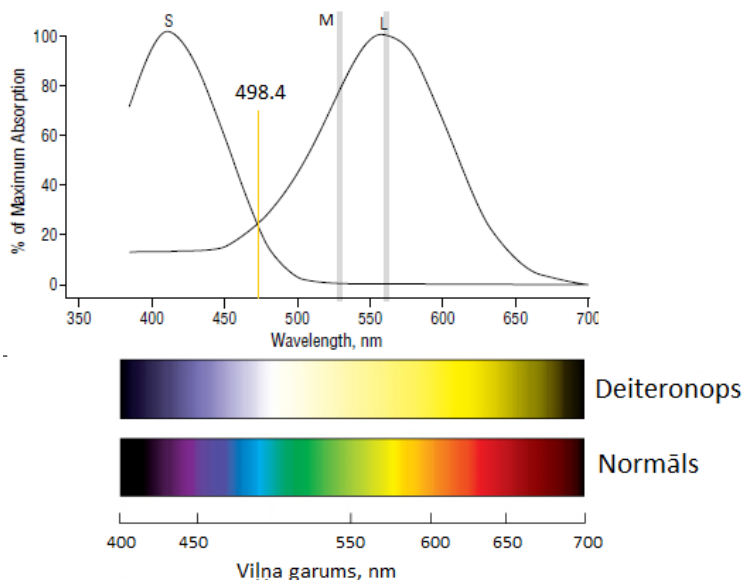
Nūjiņu monohromāzija jeb ahromatopsija ir sastopama ļoti reti. Tā ir saistīta ar autosomāli recesīvā gēna iedzimtību, tai raksturīgs pazemināts redzes asums 1.0 līdz 0.8LogMAR (augsta hipermetropijas pakāpe), novērojama sāpīga fotofobija un nistagms, skotomas, redze ir tīri skotopiska. Biežāk sastopamā ir zilo vāļišu monohromāzija, kas saistās ar izmaiņām hromosomā opsīna gēnā vai tā zudumu. Tīklenē darbojas tikai īso viļņu (zilās gaismas) jutības vāļītes. Zilo vāļišu monohromāzijas gadījumā ir pazemināts redzes asums robežās no 0.6 līdz 0.3LogMAR. Cilvēki ir ļoti jutīgi uz sarkano gaismu, tiem ir novērojama sāpīga fotofobija un nistagms. Sastopama 1:100 tūkst gadījumu vīriešiem. [17, 10]

Pastāv arī cerebrālā ahromatopsija – krāsu zudums, ko izraisījis bojājums smadzeņu garozā V4 līmenī, kas radies slimības vai ievainojuma rezultātā. Neskatoties uz nespēju nosaukt krāsas, tie spēj atšķirt krāsu robežas, uztvert formu un noteikt stimula kustības virzienu. [18]

### 1.3.3 Dihromātiska redze

Dihromātiskas redzes gadījumā cilvēkam krāsu redzi nodrošina divu veidu vāļītes, jo iztrūkst vai pilnībā nefunkcionē trešais fotopigments. [1] Atkarībā no trūkstošā fotopigmenta, dihromāti iedalās protanopos, deiteranopos un tritanopos. Protanopam iztrūkst vai nefunkcionē garo viļņu vāļītes, kā rezultātā ir samazināta jutība uz sarkano gaismu jeb garajiem viļņiem, deiteranopam trūkst zaļās gaismas absorbējošo vāļišu, kas samazina jutību uz vidējo viļņu gaismas jutību. Tritanopijai raksturīga īso viļņu vāļišu jutības nefunkcionēšana.

Lai iegūtu visas spektrālās krāsas, dihromāti izmanto tikai divus gaismjutīgus fotoreceptorus, kā rezultātā viņi jauc vai nespēj izšķirt krāsas. Ja krāsas, ko neizšķir dihromāti, tiek atzīmētas krāsu diagrammā, tās atrodas konfūzijas līnijām. Atšķirībā no trihromāta, protanops spēj atšķirt tikai 21 noteiktu viļņa garumu, deiteronopi – 31 no 150 no viļņa garumiem spektrā. [1] Dihromātu spektrs ir divkrāsains, tas sastāv no divām tīrām krāsām, deiteronopiem/protanopiem zilās un dzeltenās, kas ir atdalītas ar neitrālo jeb ahromātisko zonu, kur krāsas ir neatšķiramas no baltās. Neitrālā zona korespondē ar pāri palikušo divu vāļišu absorbciju spektru krustpunktiem, uz abām pusēm no tās krāsu piesātinājums palielinās. Protanopa un deiteronopa neitrālie punkti baltai gaismai ir 492.3 nm un 498.4 nm. Sarkan-zaļās dihromātijas gadījumā ir novērots, ka pie lielāka redzes lauka krāsu redzes izšķirtspēja palielinās. [1]



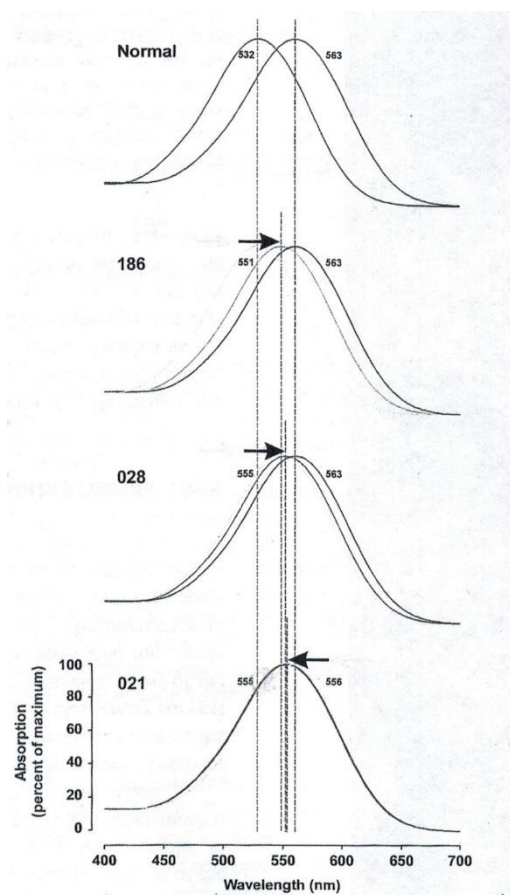
att. 1.4 Augšējais attēls parāda deiteronopijas divu fotopigmentu spektrālās jutības līknes ar to neitrālo zonu (498.4nm), apakšējais – deiteronopa cilvēka krāsu redzes spektru [1, 19]

### 1.3.4 Anomāli trihromātiska redze

Cilvēkam ar anomālo trihromāziju ir visi trīs krāsu jutīgi fotoreceptoru, bet dažādu iemeslu dēļ viena fotoreceptora jutība uz gaismas viļņiem var būt izmanīta. Atbilstoši krāsu redzes deficīta veidam, divu fotopigmentu absorbcijas spektri ir savstarpēji līdzīgāki nekā vairumam cilvēku. Anomālo trihromāziju iedala protanomālījā, deiteranomālījā un tritanomālījā, tiem ir plaša izteiktības pakāpju dažādība. Jo indivīda fotopigmentu spektrālās jutības ir līdzīgākas, jo izmainītāka būs viņa krāsu redze, viņa izteiktības pakāpe būs lielāka. [9]

Protanomālija (anomālā trihromāzija) ir novērojama, ja ir izmainīta jutība garo viļņu jutību vāļītēm jeb pret sarkano krāsu, deiteranomālija – vidējo viļņu jutība, tritanomālija – īso viļņu jutība. Deiteroanomālija ir visbiežāk sastopamais krāsu redzes deficīts, tas skar 5% vīriešu. [20]

Tiek uzskatīts, ka anomālās trihromāzijas gadījumā atšķirīgais S, M vai L pigments tiek aizvietots ar pigmentu, kura spektrālais maksimums ir tuvāk normālajam cita veida pigmentam, šī parādība zināma kā viļņus nobīde “*single-shift*”, kas nosaka, ka, pietuvinoties “anomāla pigmenta” viļņa garuma maksimumam klāt normālajam, krāsu izšķirtspēja samazinās. [9]



att. 1.5 Cilvēku absorbcijas spektri normālas un izmainītas krāsu redzes gadījumā. Augšējās līknes parāda M un L fotoreceptoru jutību trihromātiem, zemāk esošās – raksturo gaismas absorbcijas spēju trīs dažādiem cilvēkiem ar atšķirīgu deficīta izteiktības pakāpi [9]

Atšķirībā no dihromātiem, anomāliem trihromātiem nav neitrālās zonas, vieta, kur krustojās divu dažādu jutību vāļītes, kā rezultātā viņi redz vairāk kā divus spektrālos toņus. [1]

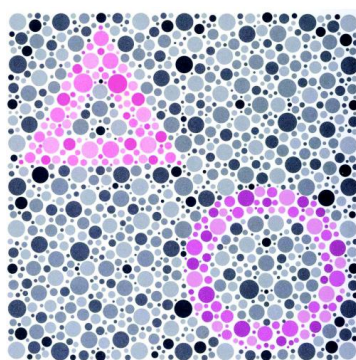
## 1.4. Krāsu redzes novērtēšanas testi

Ir plaša testu izvēle krāsu redzes novērtēšanai. Katram ir savas priekšrocības un mehānismi, tādēļ vienam cilvēkam visi testi var neuzrādīt vienādu rezultātu. Kā, piemēram, ir pseidoizohromatiskie testi, kur cilvēkam jāatpazīst figūra vai simbols, cipars uz ahromātiska fona. *Farnsworth Dichotomus* testā cilvēkam ir pareizi jāsarindo krāsu paraudziņi to toņu mainīšanās secībā. Anomaloskopā, cilvēkam mainot sarkanās un zaļās gaismas toni, ir jāpiemeklē pareiza tā krāsu attiecība, lai kopā veidotos dzeltena krāsa, kā dotajā paraugā.

### 1.4.1 HRR pseidoizohromatiskās kartes

HRR ir trīs autoru *Hardy, Rand* un *Rittler* pseidoizohromatisko testu izgudrojums, ko 1955.gadā pirmo reizi publicējusi Amerikāņu Optikas kompānija, kas deva iespēju diagnosticēt iedzimtus un iegūtus gan sarkani-zaļos (protāna, deitāna), gan zili-dzeltenos (tritāna) krāsu redzes defektus, kā arī noteikt redzes deficīta izteiktības pakāpi – zema, vidēja vai augsta. [21, 22] Tests tika izgatavots skrīningam un krāsu redzes deficītu diagnostikai. No 2002.gada tiek izmantots tikai ceturtais testa izdevums, kas tika attiecīgi pilnveidots. [22]

HRR testa izvēlētās krāsas atrodas maksimāli tuvu konfūzijas līnijām no CIExy krāsu telpas. Fona un simbola apli ir ar dažādu spožumu, lai cilvēki figūras atpazītu, balstoties uz krāsas atšķirību, nevis spožumu. [23] Katrā platē, kas veidota no dažāda lieluma apliem, ir attēlots viens vai divi krāsaini simboli uz ahromātiska fona. Krāsainie punkti ir sakopoti tā, lai veidotu noteiktu ģeometrisku figūru – trijstūri, apli vai krustu. [21]



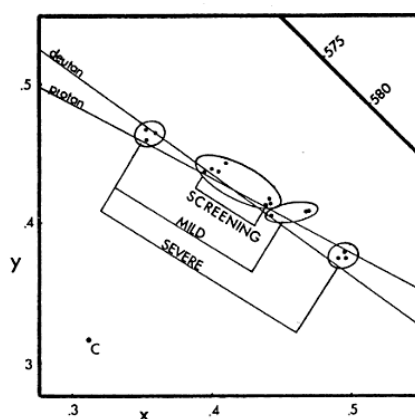
att. 1.6 HRR pseidoizohromatiskās kartes paraugs [21]

Tests sastāv no 24 platēm – četrām demonstrācijas, kurās simbolus redz cilvēki ar un bez krāsu redzes deficīta, 6 skrīninga, kas visas veidotas pēc izzušanas principa – no tām pirmās divas ir zili-dzelteno krāsu redzes defektu skrīningam, pārējās četras sarkani-zaļo krāsu redzes defektu skrīningam. Nākamās ir 10 diagnostificējošās plates, kuras ļauj noteikt defekta veidu un izteiktības pakāpi. Beigās ir 4 plates tritanopijas klasificēšanai. [21] Plašu krāsu piesātinājums pieaug ar katru nākamo plati. Cilvēki ar smagu krāsu redzes deficītu neredzēs

simbolus, kuru krāsu koordinātes ir uz to konfūzijas līnijas, pat vispiesātinātākās, bet redzēs krāsas no citas konfūzijas līnijas. [21]

Platēm ir 4 veidu dizaini:

1. Izgaistošās – cilvēks ar krāsu redzes defektu nespēj saskatīt simbolus, ko redz normāls novērotājs. Izkuššanas princips darbojas cilvēkiem ar anormālu krāsu redzi – novērotājs ar augstu krāsu redzes deficīta izteiktības pakāpi nespēs saredzēt simbolus, kas ir tuvāk baltajai krāsai, bet cilvēks ar vidēju izteiktības pakāpi redzēs simbolus, kas domāti augstai izteiktības pakāpei un neredzēs, kas ir tuvāk baltajai krāsai. Izgaistošās pseidoizohromatiskās plates ir vieglākās un biežāk lietotās.
2. Diagnostikas – sarkan-zaļajās platēs viens simbols būs redzams deiteronopam, otrs protanopam.
3. Apslēpto figūru plates – šajās platēs cilvēki ar krāsu redzes defektiem saskatīs kādu simbolu, ko nevarēs saskatīt cilvēki ar normālu krāsu redzi.
4. Transformācijas plates – cilvēki ar normālu krāsu redzi redzēs pavisam citu simbolu nekā cilvēki ar krāsu redzes deficītu. [5]



att. 1.7 Izgaistošās plates shematisks attēlojums [5]

Tā kā testā, kā stimuli ir izmantotas ģeometriskas figūras, tās ir saprotamas un viegli izmantojamas arī bērnu redzes diagnostikā. Diagnozes rezultāts balstās uz kopējo pieļauto kļūdu skaitu. [23]

Testam ir ļoti augsta jutība 1.0 un specifitāte 0.975 pie nosacījuma, ka tiek pieļauta viena vai divas kļūdas skrīninga platēs. [21] Ar testu krāsu redzes defekts tiek pareizi klasificēts 86 % gadījumu. [23]

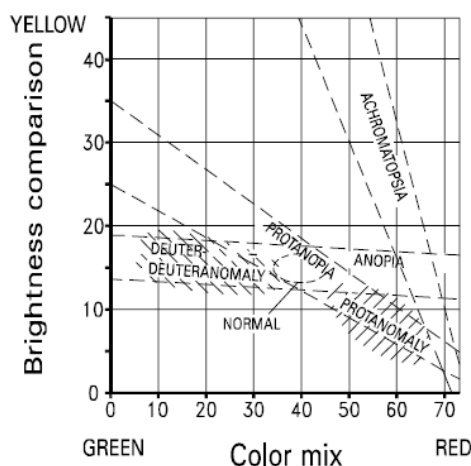
### 1.4.2 Anomaloskops

Lai gan anomaloskops ir relatīvi dārga un sarežģīta ierīce, tā ir precīza ierīce, ko izmanto klīniskajos pētījumos krāsu redzes diagnostikā. [24] Salīdzinot ar citiem krāsu redzes testiem, tā ir vienīgā ierīce, kas, uzrādot kvantitatīvu rezultātu, ne tikai nosaka deficīta veidu (sarkan-zaļais, zili-dzeltenais), bet arī klasificē to dihromātiskā un anomāli trihromātiskā redzē, nosakot arī to izteiktības pakāpi. Lai noteiktu defektu, tas prasa iemaņas un laiktietilpīgu darbu. [5] Augstā anomaloskopa testa jutība ļauj diagnosticēt iegūtu un iedzimtu krāsu redzes defektu arī tad, ja fotopigmentu spektrālās jutības nobīde ir maza. [37]

Testa stimuluss sastāv no apļa, kas ir sadalīts horizontāli ar tievu līniju divās daļās, kur apakšā ir konstanta parauga krāsa, augšā – divu krāsu sajaukums, kas jāpielāgo paraugam. Abas apļa daļas ir homogēni apgaismotas. Testā, lai noteiktu sarkan-zaļo krāsu deficītu, ar Releja atbilstības metodi ir jāpielāgo sarkanās (666 nm) un zaļās (549 nm) krāsas atbilstība dzeltenajai (589 nm). Testa stimulss ir 2° liels no redzes leņķa. [25]

Cilvēkam ar normālu krāsu redzi savietošanas apgabals uz sarkan-zaļās ass ir robežās no 38 līdz 43. Mazāks apgabals norādīts uz labāku krāsu izšķirtspēju. Šādos gadījumos cilvēkam parauga krāsa un mainīgā krāsa šķitīs vienādas vai ļoti līdzīgas. Trihromāzijas gadījumā, ja abi lauki šķiet vienādi, tas norāda uz to, ka M un L pigmenti absorbē vienādu skaitu fotonu no sarkan-zaļā sajaukuma un monohromātiskā dzeltenā laukuma. [9] Normālas krāsu redzes gadījumā, izvēlētajās dzeltenās krāsas intensitāte ir aptuveni 15 vienības. [26]

Ja cilvēkam ir samazināta jutība uz redzamās gaismas vidējo daļu, tad iespējams tīklenē iztrūkst daļa absorbējošo fotopigmentu – tā savietošanas apgabals ir no 0 līdz 35, cilvēks izvēlas palielinātu zaļās gaismas intensitāti, bet, ja ir samazināta jutība uz sarkano krāsu, savietošanas apgabals ir no 45 līdz 73 (izvēlas pievienot vairāk sarkano). Jo plašāks savietošanas apgabals un vairāk nobīdīts uz kādu no sarkan-zaļās skalas malām, jo izteiktāka ir krāsu redzes deficīta pakāpe. Dihromātu krāsu sajaukšanas lauka vērtības var būt no 0 līdz 73. [24] Pie pilnīga krāsu akluma (ahromatopsijas) savietošanas vienības var būt 73/1, 60/25, 50/40. [26]



att. 1.8 Anomaloskopa krāsu saderības datu attēlojuma šablons. Uz x ass attēlotas sarkan-zaļās krāsas savietošanas apgabals ar 73 iedaļām, y ass – dzeltenās krāsas spožums, kas mainās pa 45 vienību skalu [26]

Pat cilvēkiem ar labu krāsu redzi Releja vienādojumā savietošanas apgabals var būt nedaudz nobīdīts uz zaļās vai sarkanās krāsas pusi. Lai salīdzinātu nobīdes, ir svarīgi izteikt nobīdi kvantitatīvi, tādēļ 1929.gadā *Trendelenburg* ieviesa anomālijas koeficientu, kas, izmantojot doto formulu, uzrādīja novirzes lielumu.

$$Q = \frac{N'}{73-N'} \div \frac{N}{73-N}; \quad (1)$$

kur N ir vidējais savietošanas apgabals novērotājam ar normālu KR, N' – savietošanas apgabala tālākais gals cilvēkam ar KR, un numurs 73 apzīmē sarkan-zaļās skalas beigu galu. [20] Anomālijas koeficients, kas atbilst no 0 līdz <0.7 ir raksturīgs protanomālijas defektam, 0.7 līdz 1,4 normālai redzei un >1.4 līdz bezgalībai deiteroanomālijai. [26]

Lai gan anomaloskops ir precīza iekārta, uzrādīto rezultātu un spēja ikdienas dzīvē noteikt krāsas korelācija ir ļoti zema. [20] Testa jutība ir virs 95%. [2]

### 1.4.3 Cambridge Colour Test

CCT nodrošina ātru pacienta izmeklēšanu. Tests ļauj izmeklēt gan iedzimtu, gan iegūtu krāsu redzes deficītu. Kopš tika pierādīts, ka nav atšķirības starp binokulāriem un monokulāriem testa rezultātiem, tests tiek veikts binokulāri. [27]

Tas ir datorizēts tests, kas apvieno sevī vecās un mūsdienu tehnoloģijas. Tās ļoti līdzinās tradicionālajām pseidoizihromatiskajām platēm, kā Išihara. Simbols, ko jāskata cilvēkam, sastāv no dažādiem spektrāli atšķirīgiem krāsainiem aplīšiem, kuru kopums veido Landolta C burtu. Krāsas ir izvēlētas no protāna, deitāna un tritāna konfūzijas līnijām, kas tiecas uz attiecīgajiem konverģences punktiem  $u'=0.6579$   $v'=0.5013$  (protāna),  $u'=-1.2174$   $v'=0.7826$

(deitāna),  $u'=0.2573$   $v'=0.0$  (tritāna), kur attiecīgi tiek attēloti rezultāti. Punkta nobīde uz asīm var būt robežās no  $1100 \cdot 10^{-4}$  līdz  $20 \cdot 10^{-4}$   $u'v'$  vienībās. [27, 28]  $U'v'$  diagramma ir lineāri pārveidota no CIE  $x,y$  krāsu diagrammas, kas daudz tiešāk attēlo līdzīgi uztvertos stimulus. Cilvēkam ar normālu krāsu redzi  $\Delta E$  vērtība parasti būs zem 2 vienībām. [29]

Testa priekšrocība ir iespēja mainīt simbola un fona krāsas atbilstoši pacienta sniegumam, kā arī lietot redzes skrīningam un bērnu izmeklēšanā. Testa negatīvā puse ir tāda, ka to nav iespējams veikt uz jebkura monitora, ekrānam ir jābūt speciāli kalibrētam. [30]

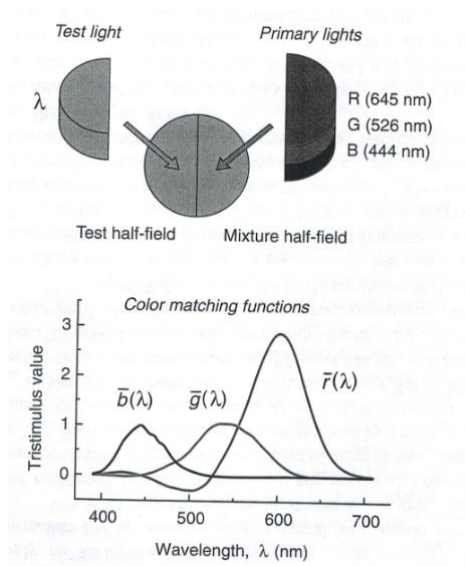
## 1.5. Krāsu telpas

Krāsu uztvere ir ļoti subjektīva un personāla, tādēļ dažādās industrijās krāsu telpas palīdz labāk skaitliski aprakstīt krāsu parametrus un kvalitatīvi tos novērtēt. Lai gan mēs varam precīzi aprakstīt krāsu pēc spektrālā sastāva viļņa garumos, tas rezultējas ar lielu redundanci (dažāda rakstura papildelementu kopumu, ko iestrādā sistēmā tās darbības uzticamības paaugstināšanai). Krāsu jutīgās vālītes kopā ar nūjiņām (jutīgas uz intensitāti), kopā veido dažādas sajūtas, kas tiek aprakstītas CIE krāsu sistēmā – spožums, tonis, piesātinājums un krāsa ar noteiktām koordinātēm. Ir krāsu telpas, kas apraksta krāsu vadoties tikai pēc toņa (CIExy) un uzlabotas, kas iekļauj sevī informāciju arī par spožumu un piesātinājumu (CIELab). Balstoties uz trihromātisko teoriju, tiek veidotas krāsu telpas – izvēloties trīs parametrus, ar kuriem aprakstīt krāsu.

### 1.5.1 CIE sistēma

CIE (*Commission Internationale de L'éclairage*) nodefinēja krāsu klasificēšanas sistēmu, kas balstās uz cilvēka vizuālās sistēmas uztveri. Izmantojot šo sistēmu, ir iespējams aprakstīt jebkuru krāsu ar CIE krāsu koordinātēm un pārnest to citā CIE krāsu telpā.

CIE XYZ krāsu telpā jebkura krāsa var tikt aprakstīta, kā trīs pamata krāsu sajaukums (zilās, zaļās un sarkanās), kas tika realizēts eksperimentā, kur cilvēkam, rādot izgaismotu pus testa lauku ar noteiktu viļņa garumu, bija jāpielāgo otra puse sastāvoša no trim viļņa garumiem, lai abas testa daļas būtu vienādas, t.i., abas testa daļas izgaismo vienādu viļņa garumu.



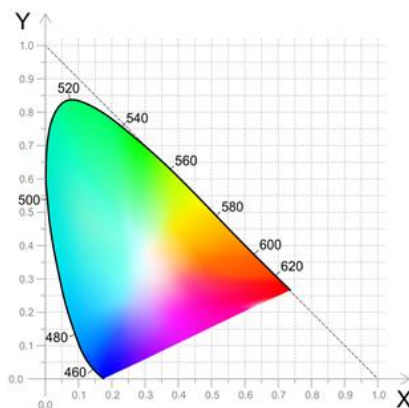
att. 1.9 Augšējā bilde parāda, ka testa lauks var tik iegūts sajaucot kopā trīs pamata krāsas – zaļo, zilo, sarkano. Katram viļņa garumam pamata krāsu attiecība ir savādāka, ko parāda funkciju  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$ ,  $b(\lambda)$  līknes. Negatīvā vērtība parāda, ka krāsa ir jāpievieno testa laukam. [1]

Visas trīs funkcijas ir sarkanās, zaļās, violetās krāsas relatīvās intensitātes, lai iegūtu testa krāsu ar noteiktu viļņa garumu, kas attiecīgi ir  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$ ,  $b(\lambda)$ , kas var tikt lineāri transformētas uz  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  koordinātēm CIE sistēmā. Šajā sistēmā krāsa mainās atkarībā no pamata krāsu proporcijām. [1] Līdz ar to, attiecīgās  $x$ ,  $y$ ,  $z$  koordinātes CIE<sub>xy</sub> krāsu telpā var aprēķināt pēc formulām:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (2)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (3)$$

Trešais lielums ir viegli izsakāms no formulas zinot, ka  $x + y + z = 1$ .



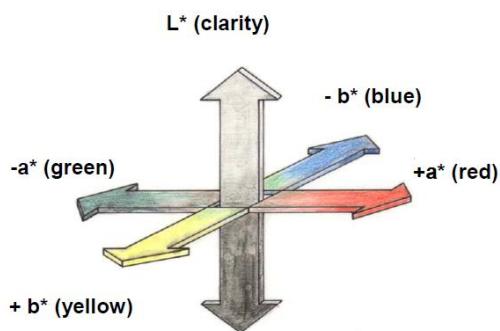
att. 1.10 CIE xy krāsu diagramma

CIE krāsu diagramma apraksta krāsu, bet neapraksta spožumu, tā nav lineāra, kā dēļ nav redzama tieša atšķirība starp krāsām, tādēļ, lai aprakstītu spožumu, tika ieviesta CIELab krāsu sistēma, kas ir balstīta uz CIE XYZ. Lai pārietu uz CIELab krāsu sistēmu, ir jāizmanto sekojoši vienādojumi, kas apraksta jaunās koordinātes, kur  $L$  ir spožuma ass, kas parāda vai stimul ir vairāk balts vai melns,  $a$  zaļi-sarkanā ass,  $b$  zili-dzeltenā. Jaunā krāsu telpa dod iespēju kvantitatīvi aprēķināt starpību starp divām izvēlētām krāsām ( $\Delta E$ ), kas norāda attālumu starp diviem hromatiskajiem punktiem CIELab krāsu telpā.

$$L = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (4)$$

$$a = \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (5)$$

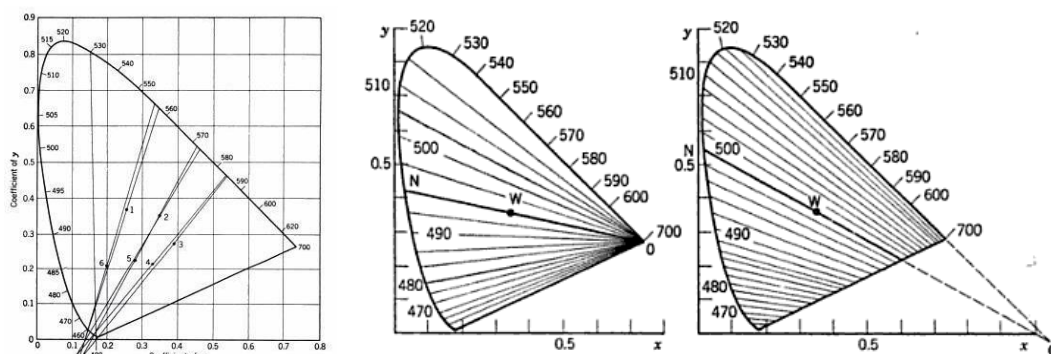
$$b = \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (6)$$



att. 1.11 CIELab krāsu telpa [31]

### 1.5.2 Konfūzijas līnijas

Lai parādītu konfūzijas līnijas, vispiemērotākā ir CIE krāsu telpa. Uz konfūzijas līnijām atrodas krāsas, ar noteiktu attālumu viena no otras, cilvēkam ar krāsu redzes deficītu ir neizšķiramas, ja to spožums ir vienāds, t.i., ir izoluminanti.. Šis princips tiek izmantots vairākos krāsu redzes testos. Visas konfūzijas līnijas tiecas konverģēt vienā punktā, ko sauc par konverģences punktu. Katra krāsu redzes defekta konverģences punktam ir savas koordinātes CIE<sub>xy</sub> sistēmā – (0.75; 0.25) protāna, (1.40; -0.40) deitāna un (0.17; 0) tritāna defektam.[8, 32] Dihromātu gadījumā, asi, kura iet cauri baltajam un konverģences punktam, sauc par neitrālo asi. Neitrālās ass virziens norāda uz konfūzijas līniju, kurā dihromāts nespēj atšķirt hromatisku krāsu no baltās, kā arī tai ir skaidras krāsas – protanopiem, deiteronopiem tā ir zaļi-sarkanā ass, tritanopiem zili-dzeltena, no kurām var secināt, ka protanopi jauc zilgan-zaļo krāsu ar sarkano, deiteronopi zilgan-zaļo ar violetu. [20]



att. 1.12 Tritāna, protāna un deitāna konfūzijas līnijas ar to konverģences punktu O; W – baltais punkts. [5, 33]

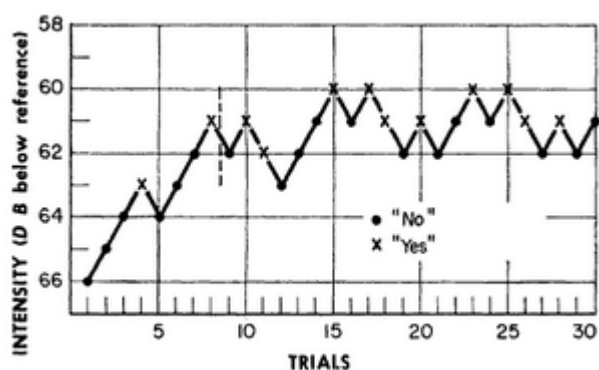
## 1.6. Psihofizika

Psihofizika ir psiholoģijas nozare, kura pēta saistību starp fizikālu stimulu un organisma sensorās sistēmas atbildi uz šo stimulu. Lielākā daļa mērījumu balstās uz absolūtā sliekšņa noteikšanu, kas ir mazākā stimula intensitāte, kas ir nepieciešama, lai novērotājs varētu saredzēt stimulu, kas mainās atkarība no novērotāja spējas saredzēt tikko pamanāmu atšķirību (*just noticeable difference*). No kā izriet Vēbera likums (Weber's law) – tikko pamanāma atšķirība (TPA) ir proporcionāla stimula intensitātei, t.i., ja stimula intensitāte ir liela, tad TPA arī ir lielāka, un otrādi. [34]

### 1.6.1 Trepju metode

Psihofizikālo trepju metode nereti dēvētā arī par “method up and downs”, Bekesy (*Georg von Bekesy*) audiometrijas metodi, tā ir ļoti efektīva un tiek plaši pielietota pēdējos gados. Signāla-stimula intensitāte tiek manīta vadoties pēc pacienta atbildēm – palielināta vai samazināta, pēc iepriekš definētiem nosacījumiem, līdz brīdim, kad tiek noskaidrota tāda stimula intensitāte, par kuru pacients atbild pareizi ar noteiktu varbūtību atbilstoši testa dizainam.

Trepju metodi vieglāk ir aprakstīt ar ilustrāciju, kurā parādīta metodes gaita. Piemēram, uzdevums ir noteikt krāsu sliekšni. Parasti tiek izvēlēta mazākā vai lielākā pieejamā stimula intensitāte. Tālāk stimula intensitāte tiek mainīta atkarība, vai cilvēks redzēja vai neredzēja stimulu. Ja redzēja, nākamais stimul tiek rādīts ar samazinātu intensitāti (stimula krāsu koordinātes tiek nobīdītas tuvāk baltai krāsai), ja neredzēja, tiek rādīts intensīvāks stimul. Un tā, līdz tiek iegūti rezultāti pēc iepriekš definēta kritērija vai tiek sasniegts maksimālais soļu daudzums.



att. 1.13 Grafikā tiek parādīta psihofizikālās metodes rezultāta iegūšana ar 30 soļiem [35]

Lai noteiktu sliekšni pēc testa izpildes, ir jāaprēķina vidējā intensitātes vērtība. Vidējās vērtības sliekšnis ir 50%, kas norāda, ka stimuli, kas ir virs 50% barjeras biežāk tika atpazīti, zem – netika.

Visprecīzākie metodes rezultāti tiek uzrādīti, ja pirmā stimula lielums ir tuvu sliekšņa vērtībai, lai izlaistu mērījumus, kas nosaka pašu sliekšni. Soļu lielums iet pēc logaritmiskās skalas. Soļu skaitam ir jābūt pielāgotam tā, lai nebūtu vairāk kā divas, trīs vai četras atbildes pirms stimula intensitātes maiņas uz pretējo pusi. Nereti stimula intensitāte tiek mainīta pēc katras pacienta sniegtās atbildes, kas vairākumā gadījumu noved pie liela mērījumu skaita. Ja solis būs pārāk liels, dalībnieka atbildes būs tikai “jā” un “nē”, bet, ja par mazu – būs gari cikli ar atbildēm “jā/nē”, eksperimenta sesija būs gara un neefektīva, t.i., būs liela sliekšņu vērtību izkliede. [35] Lai samazinātu izkliedes, tiek ierosināti vairāki uzlabojumi, kas varētu atrisināt iepriekš minētās problēmas. Lai pārliecinātos, vai pacients spēj izšķirt stimulu ar noteiktu intensitāti, tas tiek rādīts vairākas reizes. Gadījumos, ja pacients noteiktu reižu skaitu pēc kārtas ir atbildējis pareizi, atbilde tiek ieskaitīta kā pareiza, un stimula intensitāte tiek samazināta.

### **1.6.2 Konstanto stimula metode**

Tiek rādīti dažāda stipruma stimuli jauktā secībā, lai samazinātu iepriekšējā stimula ietekmi, t.i., samazinātu adoptāciju. Subjekta uzdevums ir pateikt, vai viņš stimulu uztver vai nē. Dati tiek attēloti logaritmiskā skalā.

Konstantajā stimulu metodē, kā sliekšņa lielums, parasti tiek izvēlēta tā vērtība, kura tiek uztverta 50% no visām rādītajām reizēm. Psihometriskā funkcija raksturo saistību starp pareizo atbilžu procentuālo daudzumu un stimula lielumu. [36] Atbilstoši metodes piespiedu atbilžu izvēles skaitam tiek aprēķināta metodes sliekšņa vērtība, kas var tikt aprēķināta no sakarības:  $sliekšņa\ vērtība = varbūtība\ uzminēt + \left(\frac{1 - varbūtība}{2}\right)$  Četru piespiedu izvēles atbilžu gadījumā sliekšņa vērtība ir:  $0.25 + (1 - 0.25) / 2 = 0.625$  jeb 62.5%

## **2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA**

### **2.1. Pētījuma dalībnieki**

Pētījumā piedalījās 12 dalībnieki vecumā no 17 līdz 22 (ar vidējo vecumu  $21 \pm 1.35$  gadi), no kuriem 10 (NR1 - NR10 dalībnieks) bija normāla krāsu redze, bet 2 (RN11, NR12 dalībniekam) bija ar krāsu redzes deficītu. No visiem dalībniekiem 8 bija sievietes, 4 vīrieši.

Visi pētījuma dalībnieki bija bez redzamām acs un vispārējām organisma saslimšanām. Eksperimenta laikā, nepieciešamības gadījumā tika izmantota dalībniekam atbilstošā redzes korekcija.

Pētījuma dalībnieku krāsu redze tikai novērtēta ar 3 krāsu redzes diagnosticējošiem testiem – HRR pseidoizohromatiskajām platēm, *Oculus HMC* anomaloskopu un datorizēto krāsu redzes testu. Neviens no dalībniekiem, izņemot dalībniekus ar KRĀS, iepriekš nebija pildījuši HRR un anomaloskopa testu.

## **2.2. HRR tests**

### **2.2.1 Eksperimenta gaita**

Pētījumā tika izmantots *Richmond Product* HRR testa 2002. gada izdevums. Visi mērījumi tikai veikti binokulāri dienas gaismā. Testa dalībnieks tika instruēts nosaukt kādas figūras atrodas katrā testa kartē (X, O un Δ) un parādīt to atrašanās vietu. Katrā testa kartē ir attēlota viena vai divas dažādu krāsu figūras. Dalībniekam tika rādītas visas 24 plates – pirmās četras demonstrācijas, ko saskata visi cilvēki, nākamās 6 skrīninga, lai novērtētu, vai pētījuma dalībniekam ir zili-dzeltenais vai sarkan-zaļais krāsu redzes deficīts. 11 – 24 plate tika izmantota detalizētākais krāsu redzes deficīta analīzei, nosakot tā veidu un izteiktības pakāpi, attiecīgi zema, vidēja un augsta. Testa mērījumu gaita un atbilžu fiksēšana HRR atbilžu lapā notika atbilstoši instrukcijām. Atbilstoši pieļauto kļūdu skaitam un veidam tika konstatēts KRD veids un pakāpe. [37]

### **2.2.2 Testa rezultāti un to analīze**

Skatoties uz pseidoizohromatiskajām krāsu platēm, neviens no 10 dalībniekiem bez krāsu redzes deficīta nepieļāva kļūdu, visi simboli tika atpazīti.

Dalībnieks NR11 skrīninga platēs nosauca un pareizi parādīja 5. un 6. plates simbolus, kas ir zili-dzeltenā KRD novērtēšanai, bet kļūdījās pie 7.- 10. platei, nenosaucot nevienu pareizu simbolu. No skrīninga rezultātiem var secināt, ka dalībniekam ir sarkan-zaļais krāsu redzes deficīts. Tālāk, nosakot deficīta veidu un izteiktību, tika pieļauts vienāds kļūdu skaits protāna un deitāna simbolu atpazīšanā līdz pat augstam izteiktības līmenim, kas nozīmē, ka balstoties tikai uz HRR testa rezultātiem var diagnosticēt, ka dalībniekam ir izteikts sarkan-zaļais krāsu redzes deficīts, bet nevar noteikt tā veidu. 14. un 20. platē dalībnieks vilcinājās un šaubīgi atbildēja par redzētajiem simboliem, šādā gadījumā atbilde tika ieskaitīta kā nepareiza.

Dalībnieks NR12 par zili-dzeltenā KRD skrīninga plates simboliem atbildēja pareizi, toties pieļāva kļūdas visās pārējās skrīninga platēs izņemot 8., kur spēja nosaukt vienu simbolu. Diagnostikas platēs dalībnieks kļūdījās 6 reizes, nespēdams nosaukt 4 protāna diagnostikas simbolus no 13., 14., 15., 17. plates un 2 deitāna simbolus no 11. un 16. plates, kas liecina par samazinātu izšķiršanu garo viļņu diapazonā.

## 2.3. Anomaloskops

### 2.3.1 Eksperimenta gaita

Lai pārbaudītu testa dalībnieku krāsu redzi, tika izmantots *Oculus HMC* anomaloskops. Visi mērījumi tika veikti monokulāri aptumšotā telpā, atkārtojot to vismaz trīs reizes katrai acij.

Anomaloskopa testa stimula izmērs 2 grādi redzes lauka, kas sastāv no diviem pusapļiem – monohromatiska dzeltenā un sarkan-zaļo krāsu sajaukuma. Testa dalībnieka uzdevums bija salīdzināt anomaloskopa stimula abu lauku krāsas un sniegt apstiprinošu atbildi, ja tie bija vienādi vai likās ļoti līdzīgi, noliedzošu, ja starp abiem testa laukiem bija manāma atšķirība.

Katram testa dalībniekam tika noskaidrots savietošanas apgabals un tam atbilstošais viduspunkts, kā arī tam atbilstošie anomālijas koeficienti. Atbilstoši savietošanas apgabalam un tā viduspunktam, katram dalībniekam tika pārbaudīta krāsu redze..

### 2.3.2 Rezultāti

Ar anomaloskopa testu katram dalībniekam, tika iegūts savietošanas apgabals un tam attiecīgais viduspunkts. Desmit no divpadsmit anomaloskopa testa dalībniekiem tika diagnosticēta normāla krāsu redze. Normāla krāsu redze tika diagnosticēta ar nosacījumu, ja testa dalībnieka savietošanas robežas atbilda normai, t.i., no 38 līdz 42 vienībām uz sarkan-zaļās ass. Cilvēku bez KRD savietošanas apgabals normas uz sarkan-zaļās ass ir 3 līdz 5 iedaļas. Aprēķinātās savietošanas apgabalu vidējās vērtības normālas krāsu redzes gadījumā atbilst  $3.64 \pm 0.21$  labai acij un  $3.64 \pm 0.27$  kreisajai acij, ka arī iegūtās visu dalībnieku vidējais savietošanas apgabalu viduspunkta vērtības ir  $40.80 \pm 0.14$  labajai acij un  $40.70 \pm 0.12$  kreisai, kas iekļaujas testa noteiktajā normā.

Lai gan visiem dalībniekiem anomaloskopa dati uzrādīja normai atbilstošus rezultātus, pāris dalībniekiem (NR3, NR4 un NR8) bija tendence izvēlēties stimulus ar palielinātu sarkanās gaismas proporciju, t.i., savietošanas apgabala viduspunkts ir nobīdīts uz protanopijas pusi, kas, iespējams, liecina par pacienta individuālām krāsu redzes īpatnībām.

Tabula 2.2.

**Visu pētījuma dalībnieku bez krāsu redzes deficīta savietošanas apgabala viduspunkts uz sarkan-zaļās ass**

Pētījuma dalībnieks	Savietošanas apgabala viduspunkts (vienības)	
	od	os
NR1	40,60±0,00	40,52 ± 0,16
NR2	40,70±0,035	40,90±0,32
NR3	41,28±0,29	41,28±0,29
NR4	41,25±0,28	41,45±0,058
NR5	40,65±0,28	40,05±0,23
NR6	40,35±0,20	40,46±0,17
NR7	40,35±0,23	40,05±0,33
NR8	42,08±0,70	41,62±0,48
NR9	40,20±0,50	40,20±0,50
NR10	40,43±0,28	40,27 ± 0,067

Dalībniekiem NR11 un NR12 tika diagnosticēts sarkan-zaļais krāsu redzes deficīts – deiteroanomālija. Dalībniekam NR11 tika veikti vairāk nekā 5 mērījumi katrai acij, bet ņemti vērā tikai 3 jeb tie rezultāti, kur anomaloskops ir uzdarījis noteiktu KRD.

Tabula 2.2.

**Dalībnieku ar KRD savietošanas apgabals un tā viduspunkts kreisai un labai acij**

Pētījuma dalībnieks	Savietošanas apgabala viduspunkts (vienības)		Savietošanas apgabals (vienības)	
	od	os	od	os
NR11	25,95 ± 0,70	31,82 ± 4,14	36,57 ± 4,79	39,37 ± 6,94
NR12	16,25	15,20	13,69	12

Dalībniekam NR11, salīdzinot dalībnieku NR12, ir vairāk izteikta deiteroanomālija. Dalībnieku ar KRD savietošanas apgabals ir ievērojami platāks, un tā viduspunkts uz sarkan-zaļās ass ir nobīdīts uz KRD virzienā.

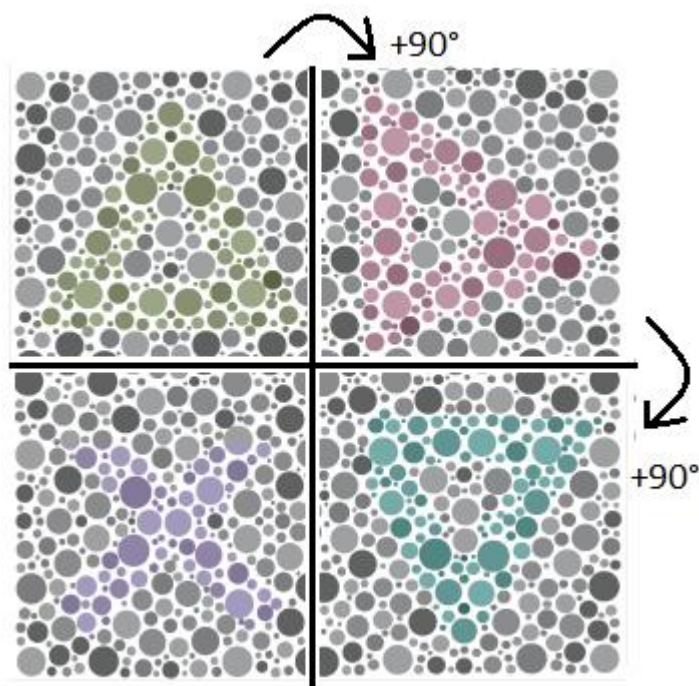
## 2.4. Datorizēta krāsu redzes testa uzbūve

Lai noskaidrotu pacientu hromatisko jutību, tika datorizētas HRR pseidoizohromatiskās krāsu plates. Krāsu redzes testa stimuls tika attēlots uz *Dell u2312hm* datora monitora. Testa stimuli tika izvēlēti tā, lai tie atrastos iespējami tuvu (0,001 vienība) atbilstošā KRD konfūzijas līnijai un izvēlētajiem spožumiem.

Testa stimulu iespējams sadalīt četros kvadrantos, kurā vienā no tiem var atrasties hromatiskais stimuls. Kvadranti savā starpā, sākot no otrā kvadranta pulksteņrādītāja virzienā, ir pagriezti pa  $+90^\circ$  salīdzinot ar iepriekšējo. Testam ir no maza diametra apliem veidots ahromātisks fons, uz kura parādās hromatisks simbols, kas var būt apla, trijstūra vai krusta formā. Tie ir ar atšķirīgu spožumu, bet ar vienādu attālumu no atbilstošā pelēkā punkta CIELab sistēmā, t.i., aplīši, kas veido testa stimula fonu un simbolu ir vienādas spožuma vērtības (attiecīgi 40, 67, 88, 105, 121  $\text{cd/m}^2$  ar pieļaujamo kļūdu  $\pm 2\text{cd/m}^2$ ), kas nodrošina stimula atpazīšanu balstoties tikai uz tā krāsu. Katrs stimuls tika rādīts 1s.

Testa kopējais izmērs ir 10 x 10 grādi redzes lauka (13mm x 13mm uz datora monitora), kas tika aprēķināts ņemot vērā monitora lielumu un izšķirtspēju, proti, 23 collu lielam monitoram ir 1366 x 768 pikseļu izšķirtspēja.

Datorizētais krāsu redzes tests ļauj noteikt hromatisko jutību 6 hromatiskajos virzienos sākot no koordinātu baltā punkta – deitāna sarkanās un zaļās, protāna zaļās un sarkanās, tritāna zilās un dzeltenās krāsas virzienā.



att. 2.1 Datorizēta krasu redzes testa hromatisko stimulu piemēri.

### 2.4.1 Eksperimenta gaita ar trepju metodi

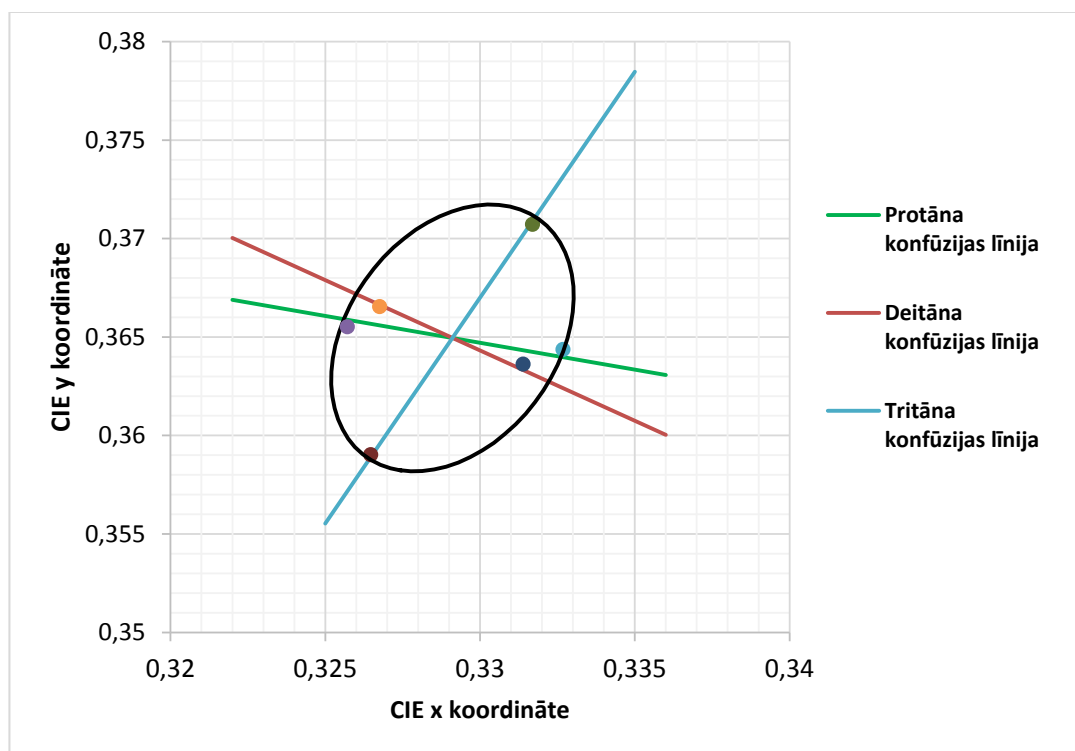
Darba ietvaros, lai pārlicinātos, vai pacients spēj izšķirt testa stimulu ar noteiktu intensitāti, atbilde tiek ieskaitīta par pareizu, ja pacients atbild sekojošā secībā ++ vai +-+, kur "+" ir pareizi sniegta pacienta atbilde par stimulu, "-" nepareiza atbilde. Atbilde netiek ieskaitīta, ja pacienta atbilžu secība uz stimulu ir -, vai +-. Pareizas atbildes gadījumā, stimula intensitāte tiek samazināta uz pusi, salīdzinot ar iepriekšējā stimula intensitāti. Nepareizas atbildes gadījumā, tiek fiksēta pašreizējā stimula intensitāte, un piedāvāta stimula intensitāte ar vērtību starp pēdējo pareizo un pēdējo kļūdaino atbildes intensitāti. Tālāk, ja tiek atbildēts pareizi, jaunā maksimālā stimula intensitātes vērtība ir tikko pareizi atbildētā, pēc tā tiek rādīts vēl viens stimuluss ar intensitātes vērtību starp tikko pareizi atbildēto un pēdējo kļūdu, ja arī uz šo ir atbildēts pareizi, piedāvā vēlreiz atbildēt uz stimulu, kurā pieļāva kļūdu, ja tiek sniegta pareiza atbilde, tad to pieņem, kā pēdējo pareizo un turpina sesiju kā ierasts, t.i., pēc katras pareizas atbilžu sērijas samazina stimula intensitāti uz pusi. Gadījumā, ja pēc vienas nepareizas atbildes seko vēl nepareiza atbilde kādā no trīs stimulu sērijām, tad kā jauno minimālo stimula intensitāti pieņem pēdējo kļūdu. Šāda metode ļauj iegūt mazāku izkliedi un izslēdz dažādas gadījuma kļūdas un nejaušības.

Pirmā stimula intensitāte tika izvēlēta starp maksimālo un minimālo pieejamo. Hromatiskā jutība tika mērīta 3 reizes katrā hromatiskajā virzienā. Nepieciešamības gadījumā mērījumu skaits tika palielināts. Iegūtie dati par vidējām  $\Delta E$  vērtībām tika attēloti CIE<sub>xy</sub> krāsu telpā, caur kuriem izvilka minimālā izšķiršanas elipse. Izmantojot elipses vienādojumus, tika uzvilka minimālā izšķiršanas elipse ar centru konfūzijas līniju krustpunktā.

### 2.4.2 Rezultāti

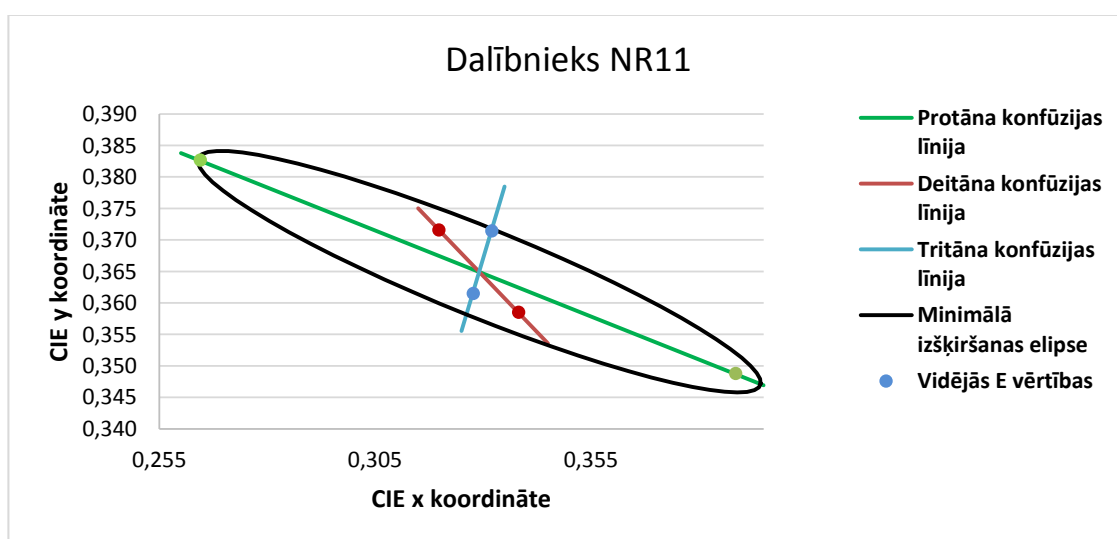
Datorizētajā krāsu redzes testā katram dalībniekam tika noteiktas hromatiskās jutības sliekšņu vidējās  $\Delta E$  vērtības sešos hromatiskajos virzienos. Katrā no 6 virzieniem krāsu izšķirtspēja tika noteikta atsevišķi. Visu cilvēku vidējo vidējās  $\Delta E$  vērtības ir  $1.75 \pm 0.10$  protāna

zaļās ass virzienā,  $1.68 \pm 0.14$  protāna sarkanās,  $1.44 \pm 0.10$  deitāna zaļās,  $1.58 \pm 0.127$  deitāna sarkanās,  $2.08 \pm 0.07$  tritāna zilās,  $2.20 \pm 0.08$  tritāna dzeltenās ass virzienā.

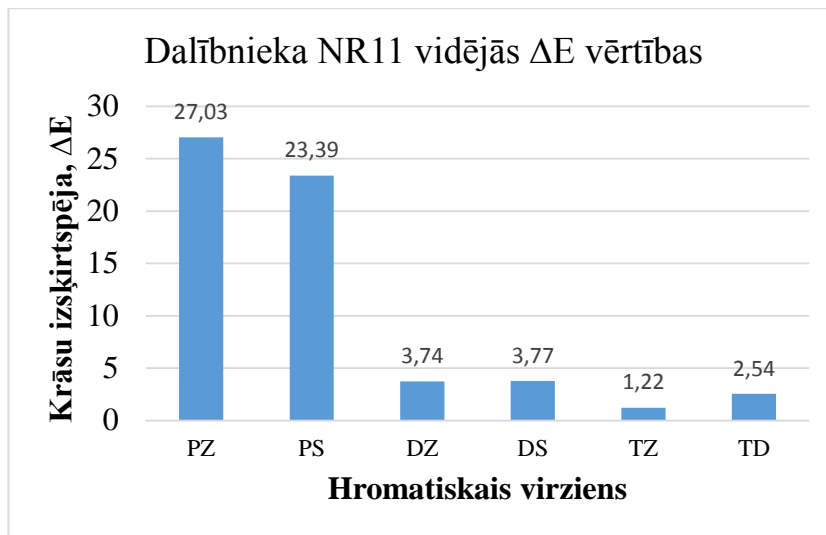


att. 2.2 Cilvēku ar normālu krāsu redzi minimālā izšķiršanas elipse. Elipses konstantes:  $r_1=0,0069$ ,  $r_2=0.0036$ ,  $\Theta=103,76$  grādi

Dalībniekam NR11 datorizētais krāsu redzes tests uzrādīja samazinātu krāsu izšķiršanas spēju protāna zaļās un sarkanās krāsas virzienā. Protāna sarkanās ass virzienā dalībnieka vidējā  $\Delta E$  vērtība ir  $27.03 \pm 0.13$  un protāna zaļās  $23.39 \pm 1.45$ .

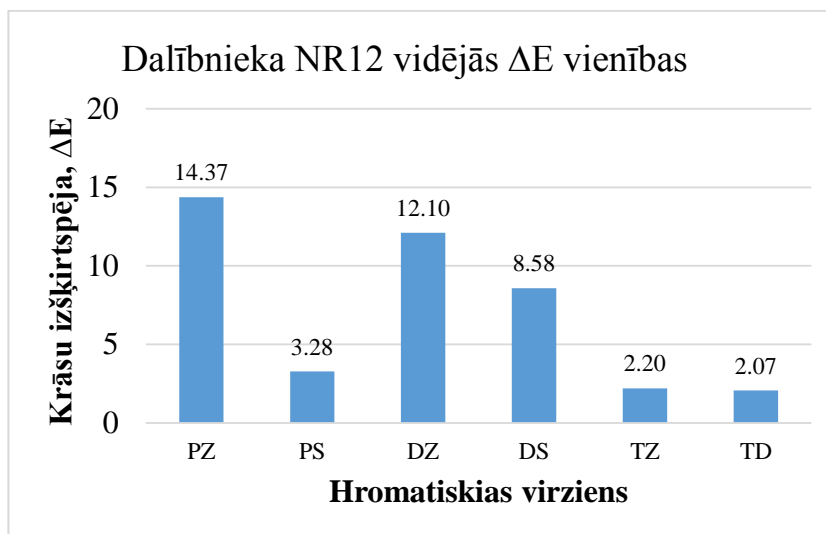


att. 2.3 Dalībnieka NR11 minimālā izšķiršanas elipse. Elipses konstantes:  $r_1=0.068$ ,  $r_2=0.0073$ ,  $\Theta=175.48$



att. 2.4 Dalībnieka NR11 vidējās hromatiskās  $\Delta E$  vērtības sešos hromatiskajos virzienos

Datorizētā krāsu redzes testa rezultāti uzrāda, ka dalībniekam NR12 visvairāk ir grūtības izšķirt vidējos viļņa garumus – zaļo krāsu, kā arī ir samazināta jutība uz garo viļņu vāļītēm. To norāda dalībnieka vidējās  $\Delta E$  vērtības šajos virzienos –  $14.37 \pm 0.07$  protāna zaļās,  $12.10 \pm 2.20$  deitāna zaļās un  $8.58 \pm 0.36$  vienības deitāna sarkanās ass virzienā.



att. 2.5. Dalībnieka NR12 vidējās hromatiskās  $\Delta E$  vērtības sešos hromatiskajos virzienos

### 2.4.3 Eksperimenta gaita ar konstanto stimulu metodi

Lai noskaidrotu hromatisko jutību ar konstanto stimulu metodi, tika izvēlēti trīs parametri – stimulu skaits ar konstantu intensitāti; intervāls ar kādu soli izvēlēto stimulu intensitātes tiks rādītas (attālums starp stimuliem  $\Delta E$  vienībās), kas ir arī pirmā soļa intensitāte; un stimulu skaita daudzums vienai konstantai intensitātei. Testam ir 4 piespiedu izvēles atbildes, uz vienu no viņām dalībniekam bija jāsniedz obligāta atbilde.

Lai samazinātu mērījuma skaitu, kas nepieciešams, lai iegūtu psihometrisko funkciju, no trepju metodes rezultātiem tika izmantoti dati par vidējām hromatiskās jutības sliekšņu vērtībām attiecīgajā hromatiskajā virzienā. Iegūtie rezultāti tika izmantoti, lai mērķtiecīgi izvēlētos soļa intervālu, t.i., soļa intervāls tika izvēlēts tā, lai minimālā stimula intensitāte tiktu pamanīta vismaz 25% un maksimālā tuvu 90% gadījumā.

Testa dalībniekam jauktā secībā tika prezentēti 5 hromatiskie stimuli ar atšķirīgām vērtībām no ahromātiskā stimula. Vienā mērījumā katrs no pieciem hromatiskajiem stimuliem tika rādīts 75 vai 150 reizes. Vienā sesijā dalībnieks veica divus vienādus mērījumus pēc kārtas, t.i., tika veikts mērījums, kas, parādīts vienu reizi, tika fiksēti rezultāti un uzreiz sākts otrs mērījums, kopā parādot 375 stimulus. Otrajā sesijā dalībnieks deva atbildes par 750 stimuliem, tika fiksēti rezultāti, un veikts otrs mērījums ar 750 stimuliem. Šādi mērījumi tika veikti divos hromatiskajos virzienos, katrā divas reizes. (skat. tabulu) Starp 750 stimulu sesijām intervāls bija vismaz 3h. Testa stimuli tika rādīti jauktā secībā. To secība bija neatkarīga no dalībnieka iepriekš sniegtajām atbildēm.

Iegūtie rezultāti, izmantojot *Origin* programmu, tika aproksimēti ar Stefana Bolcmaņa

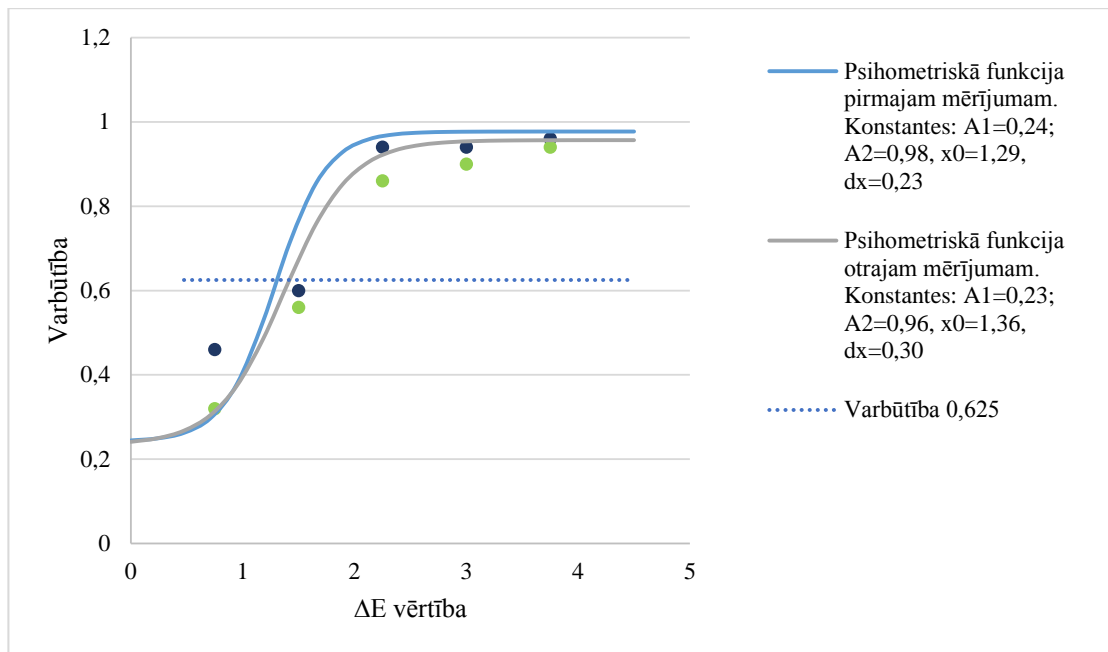
$$F(x) = \frac{A_2 - A_1}{1 + e^{\frac{x-x_0}{dx}}} + A_1, \quad (1)$$

Konstanšu  $A_1$  un  $A_2$  vērtības šajā gadījumā ir 0.25 un 1, kas uzrāda augšējās un apakšējās asimptotas vērtības, uz ko tiecas funkcijas vērtība. Šajā gadījumā, testa dalībnieks sniegs korektu atbildi ne mazāk kā ar 25% varbūtību un pie lielām stimula intensitātēm dalībnieks sniedz pareizas atbildes gandrīz visos gadījumos. Konstante  $x_0$  norāda sigmoidālās funkcijas viduspunktu. Parametrs  $dx$  norāda psihometriskās funkcijas pieauguma tempu jeb funkcijas slīpumu. Pieaugot parametra  $dx$  vērtībai, psihometriskā funkcija kļūst lēzenāka, tas norāda uz neviennozīmīgām dalībnieka atbildēm, kas noved pie lielas datu izkliedes. Funkcijas vērtība  $F(x)$  ir varbūtība pie kādas tiek noteikta hromatiskās jutības sliekšnis. Šajā gadījumā, kad testam ir 4 piespiedu izvēles atbildes, varbūtība ir 62,5%. Zinot atbilstošās konstanšu vērtības, dalībniekiem tika aprēķināti un savstarpēji salīdzināti hromatiskās jutības sliekšņi.

$$x = dx * \ln\left(\frac{A_1 - A_2}{y - A_2} - 1\right) + x_0 \quad (2)$$

#### 2.4.4 Rezultāti

Tika iegūtas trīs dalībnieku sliekšņu vērtības divos hromatiskajos virzienos – deitāna zaļajā un deitāna sarkanajā virzienā..(tabula 2.1.)

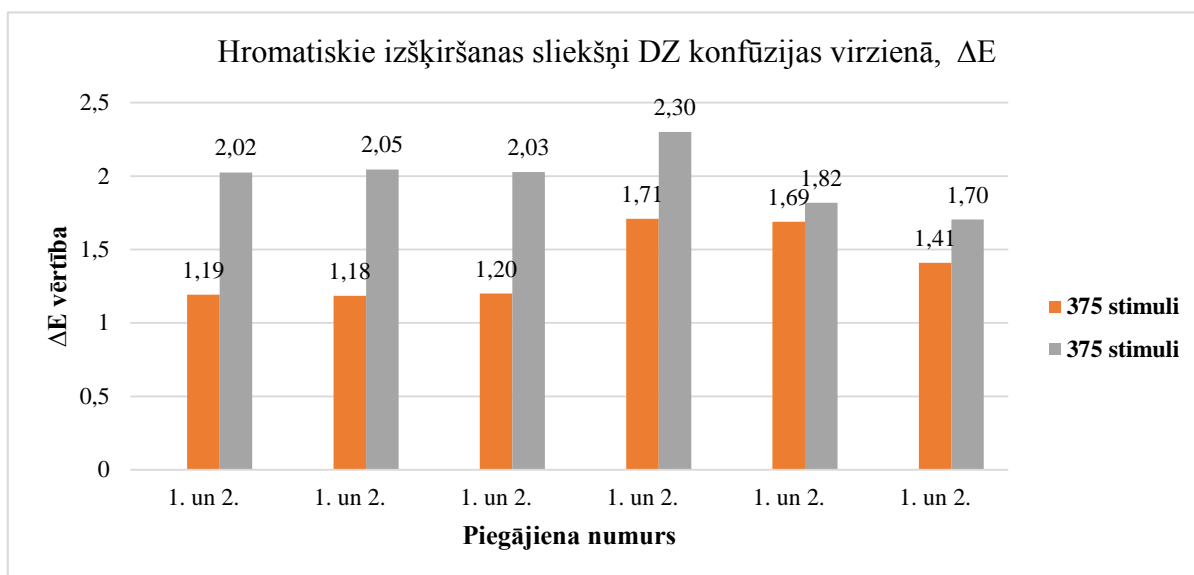


att. 2.6 Dalībnieka NR10 psihometriskās līknes pirmajam un otrajam mērījumam ar 375 stimuliem.

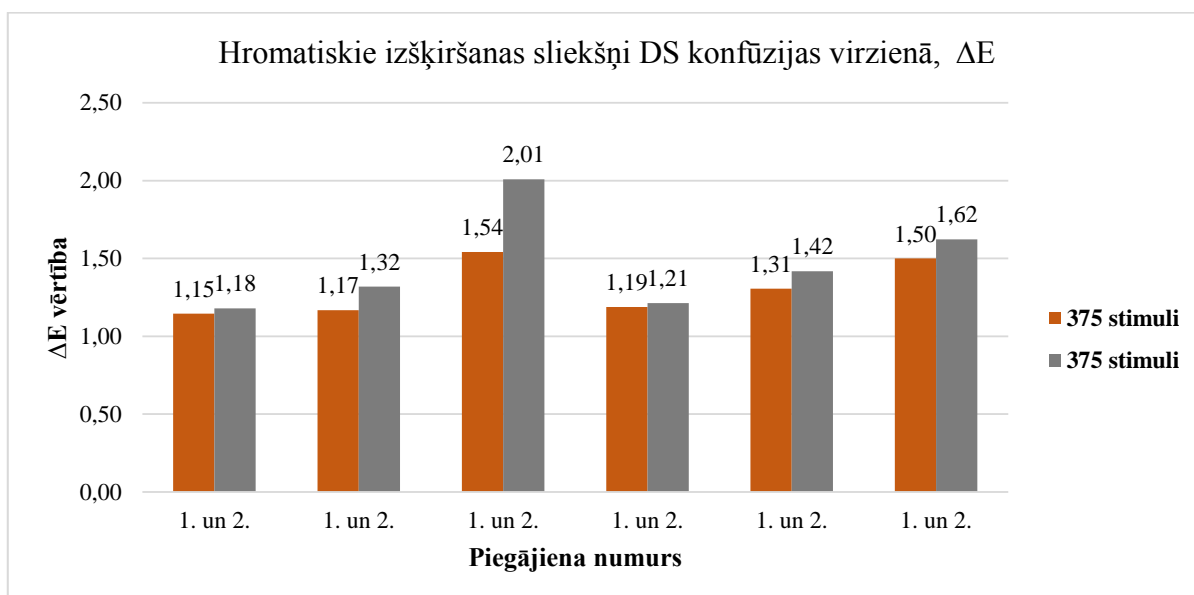
Dalībnieks	Krāsa	Atk. sk.	Stimulu skaits 75		Stimulu skaits	
			375 stimuli	375	750 stimuli	750
NR7	DZ	1.	1,19	2,02	1,13	1,32
		2.	1,18	2,05	1,37	1,55
	DS	1.	1,15	1,18	1,16	1,22
		2.	1,17	1,32	1,08	1,14
NR8	DZ	1.	1,20	2,03	1,18	1,29
		2.	1,71	2,30	1,48	2,25
	DS	1.	1,54	2,01	1,59	1,76
		2.	1,19	1,21	1,57	1,71
NR10	DZ	1.	1,69	1,82	1,43	1,64
		2.	1,41	1,70	1,67	1,85
	DS	1.	1,31	1,42	1,46	1,52
		2.	1,50	1,62	1,49	1,53

Dalībnieku krāsu izšķiršanas sliekšņi 375 stimulu sesijā pirmajā un otrajā piegājenā ir atšķirīgi. Ir arī atšķirība arī starp sarkanās uz zaļās krāsas krāsu izšķiršanas sliekšņa vērtību. Sesijā ar diviem 375 stimulu zaļās krāsas piegājieniem, krāsu sliekšņi samazinās par

0.59±0.13ΔE, bet ar sarkanās krāsas stimuliem par 0.15±0.07ΔE vienībām. (att. 2.6., att. 2.7.)

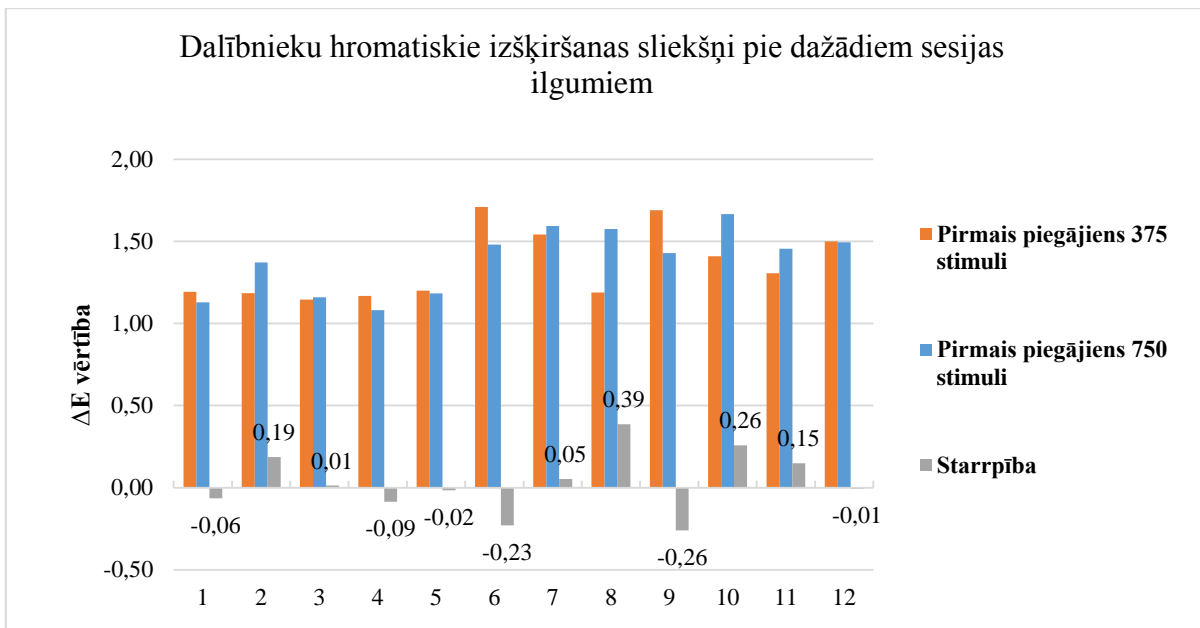


att. 2.7. Pētījuma dalībnieku hromatiskie izšķiršanas sliekšņi deitāna zaļās krāsas konfūzijas virzienā

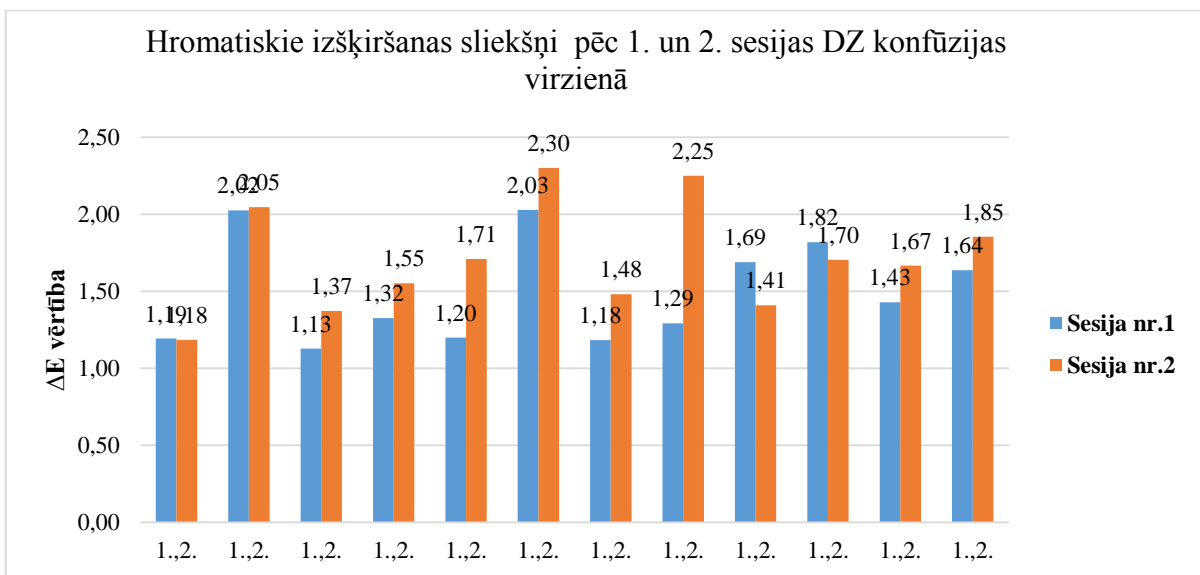


att. 2.8. Pētījuma dalībnieku hromatiskie izšķiršanas sliekšņi deitāna sarkanās krāsas konfūzijas virzienā

Dalībnieku hromatisko izšķiršanas sliekšņu vērtību salīdzinājums pirmajā piegājenā ar 375 stimuliem un pirmajā piegājenā ar 750 stimuliem. Vidēji hromatiskais sliekšnis palielinājās par 0.032±0.055. Pozitīva starpība norāda uz hromatiskās izšķiršanas sliekšņa palielināšanos, negatīvās – samazināšanos. (att. 2.9.)



att. 2.9 Pētījuma dalībnieku hromatiskie izšķiršanas sliekšņi pie dažādiem piegājiena ilgumiem – salīdzinātas  $\Delta E$  vērtības piegājenam ar 350 stimuliem un 750 stimuliem.



att. 2.10. Pētījuma dalībnieku hromatiskie izšķiršanas sliekšņi pēc pirmā mērījuma pirmajā un otrajā pildīšanas reizē

Tā kā dalībnieks jau vienu reizi bija pildījis identisku testa sesiju, tad hromatiskajam izšķiršanas sliekšnim vajadzēja būt mazākam. Dalībnieks pēc pirmās pildīšanas reizes nav apguvis testu, kas noved pie šādiem rezultātiem. (att. 2.10.)

## SECINĀJUMI

1. Ar datorizētā krāsu redzes testa trepju un konstanto stimulu metodi var noteikt krāsu redzes deficīta veidu un pakāpi, uzrādot kvantitatīvus rezultātus.
2. Datorizēta krāsu redzes testa rezultāti ir salīdzināmi ar pseioizohromatisko HRR un *Oculus HMC* anomaloskopa testu. Visi trīs krāsu redzes testi uzrāda līdzīgus redzes rakstura rezultātus.
3. Pie ilgstošas krāsu redzes pārbaudes, hromatiskā jutība samazinās vidēji par  $0.032 \pm 0.055 \Delta E$  vienībām. Hromatiskā jutība samazinās vairāk, skatoties uz deitāna zaļās krāsas stimuliem. Dalībniekam nerodas testa adaptācija pie atkārtotas testa pildīšanas.

## PIELIKUMS

Pētījuma dalībnieku bez krāsu redzes defekta hromatiskā jutība katrā no izohromatiskajiem virzieniem.

Pētījuma dalībnieks	PZ ( $\Delta E$ )	PS ( $\Delta E$ )	DZ ( $\Delta E$ )	DS ( $\Delta E$ )	TZ ( $\Delta E$ )	TDZ ( $\Delta E$ )
NR1	1,28	1,45	1,83	1,01	2,38	2,09
NR2	2,13	2,19	1,63	1,35	1,89	2,29
NR3	1,98	1,71	1,52	1,59	2,43	2,61
NR4	1,50	1,20	1,41	1,27	1,83	1,32
NR5	1,13	1,23	1,96	1,48	1,67	3,22
NR6	1,77	1,53	1,36	1,95	2,29	1,95
NR7	1,34	1,42	0,97	0,84	1,83	1,95
NR8	1,49	1,80	1,33	1,58	2,02	2,25
NR9	1,90	2,04	1,40	1,85	2,14	2,07
NR10	1,95	0,93	1,98	1,90	2,01	2,22

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. **Gegenfurther, K.R., Sharpe, L.T.** *Color vision from genes to perception*, ASV: Cambridge University press, 2000. pp
2. **Schwartz S.H.** Visual perception. In: *Anomalies of color vision*, Appleton & Lange, 1999, p. 139 – 172
3. **Gunilla Derefeltd, Carl-Erik Hedin, Klas-Olav Skoog, Tiina Swartling.** *Colour Vision Deficiencies: Matching and Confusion of Computer Colours*,
4. **Schwartz S.H.** Visual perception 1998, 100, 106, 280pp
5. Procedures for Testing Color Vision: Report of Working Group 41; *National Academies, 1981.*
6. **Krūmiņa G.** Krāsu redze, Ievads optometrijā (lekciju materiāls)
7. **Krūmiņa G.** Acs brīnumainās spējas. Krāsu redze. *Acu mirklis*, Nr.5, ziema 2010/2011
8. **Steven K. Shevell.** The Science of Color: Second Edition, *Elsevier Science (30 Jun. 2003)*
9. **Werner G. Backhaus, Reinhold Kliegl, John S. Werner.** Color Vision: Perspectives from Different Disciplines. *Walter de Gruyter (January 1998)*
10. **Gegenfurther, K.R., Sharpe, L.T.** Color vision from genes to perception, ASV: *Cambridge University press*, 2000. pp 4-47
11. **Feitosa-Santana C, Paramei GV, Nishi M, Gualtieri M, Costa MF, Ventura DF** Color vision impairment in type 2 diabetes assessed by the D-15d test and the Cambridge Colour Test. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2010, Sep 30(5):717-23
12. **Birch, J.** Diagnosis of defective color vision. Second edition. *Butterworth-Heinemann*, Edinburg (2001)
13. **Marcelo Fernandes Costa, Jaelsa Cunha Pereira.** Correlations between color perception and motor function impairment in children with spastic cerebral palsy. *Behavioral and brain functions*, 2014 Jun 25;10:22
14. **Moura AL, Teixeira RA, Oiwa NN, Costa MF, Feitosa-Santana C, Callegaro D, Hamer RD, Ventura DF.** Chromatic discrimination losses in multiple sclerosis patients with and without optic neuritis using the Cambridge Colour Test, *Visual Neuroscience*, 2008 May-Jun;25(3):463-8

15. **Paramei GV**, Color discrimination across four life decades assessed by the Cambridge Colour Test, *Journal of the optical society of america*. 2012 Feb 1;29(2)
16. **Highley PR**. Color Vision Deficiency. A Concise Tutorial for Optometry and Ophthalmology.
17. **Cole BL**, Assessment of inherited colour vision defects in clinical practice, *Clinical & experimental optometry journal of the Australian Optometrical Association*. 2007 May;90(3):157-75
18. **Cowey A, Heywood CA**. Cerebral achromatopsia: colour blindness despite wavelength processing. *Trends in cognitive sciences*, 1997 Jul;1(4):133-9
19. **Neitz M., Neitz J**. Molecular Genetics of Color Vision and Color Vision Defects. *Mechanisms of ophthalmics disease*, 2000, Vol 118
20. **Lakowski R**. Theory and practice of colour vision testing: A review. Part1. Part2. *British Journal of Industrial Medicine*, 1969 Jul; 26(3)
21. **Cole B, Lian K, Lakkis C**. The new Richmond HRR pseudoisochromatic test for colour vision is better than the Ishihara test. *Clinical and Experimental Optometry*, 2006, vol.89(2), p. 73-80.
22. –
23. **Formankiewicz M**. Assessment of colour vision. In: Colour vision part 2. *Continuing education & training*, 2009
24. **Squire T., Rodriguez-Carmona M., Evans A., Barbur J**. Color Vision Tests for Aviation: Comparison of the Anomaloscope and Three Lantern Types. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2005, Vol. 76 - 5, p. 421 – 429
25. HMC Anomaloskop, Software Module, User's Manual, *Oculus*
26. **Khan MA., Joshi D., Pawan GK**. Colour Vision Testing for Selection of Civil and Military Pilots in India:A Comparative Study of Four Different Testing Methods. *International Journal of Agile Systems and Management* 56(2), 2012
27. **Goulart PR, Bandeira ML, Tsubota D, Oiwa NN, Costa MF, Ventura DF**. A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, 2008 May-Jun;25(3):445-50
28. **Moura AL, Teixeira RA, Oiwa NN, Costa MF, Feitosa-Santana C, Callegaro D, Hamer RD., Ventura DF**. Chromatic discrimination losses in multiple sclerosis patients with and without optic neuritis using the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, 2008 May-Jun;25(3):463-8.
29. **Mollon J.D., Regan B.C**. *Cambridge colour test. Handbook, Version 1.1*, 2000

30. **Goulart PR, Bandeira ML, Tsubota D, Oiwa NN, Costa MF, Ventura DF.** A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test *Visual Neuroscience*, 2008, 25, 445–450.
31. Compendium of international analysis of methods. [tiešsaite] - Pieejams: <http://www.oiv.int/oiv/files/6%20-%20Domaines%20scientifiques/6%20-%204%20Methodes%20d%20analyses/6-4-1/EN/OIV-MA-AS2-11.pdf>
32. **Lakowski R.** Theory and practice of colour vision testing: A review. Part1. Part2. *British Journal of Industrial Medicine*, 1969 Jul; 26(3)
33. **Byrne Alex, Hilbert David R.** Readings on Color: The science of color, Volume 2. *A Bradford Book* (May 9, 1997)
34. Pieejams: [http://www.pearsonhighered.com/assets/hip/us/hip\\_us\\_pearsonhighered/samplechapter/0205183468.pdf](http://www.pearsonhighered.com/assets/hip/us/hip_us_pearsonhighered/samplechapter/0205183468.pdf)
35. **Tom N. Cornsweet.** The Staircase-Method in Psychophysics, *The American Journal of Psychology*, Vol. 75, No. 3 (Sep., 1962), pp. 485-491
36. **Ikaunieks G.** Redzes fizioloģija. Psihofizikālās pētījumu metodes (lekciju materiāls)
37. **Lee David Y.** Color changes in the red-green plates of the 50-year-old AO HRR color vision test. *Visual Neuroscience*, 2006, May-Aug; 23(34)

Bakalaura darbs „Datorizēta hromatiskās jutības noteikšana ar modificētu trepju un konstanto stimulu metodi” 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 Freiberga

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Mg.sc. Renārs Trukša

Recenzents: Mg.sc. Kaiva Juraševska

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.fiz. Pēteris Cikmačs