

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

**KRĀSU ANSAMBLŪ PIELIETOJUMI SARKANI-ZAĻĀ
OPONENTĀ MEHĀNISMA IZPĒTĒ**

BAKALaura DARBS

Autore: **Anete Bērziņa**

Studenta apliecības Nr. ab16100

Darba vadītājs: Lektors, Prof.mag. Renārs Trukša

RĪGA 2019

ANOTĀCIJA

Darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 31 lapaspusēm. Tas satur 16 attēlus, 2 tabulas un 24 atsauces uz literatūras avotiem.

Bakalaura darbā tika izveidota metode, ar kuru var noskaidrot sarkan-zaļā krāsu mehānisma jutību, izmantojot krāsu ansambļus. Pētījumā piedalījās 10 dalībnieki vecumā no 21 līdz 28 gadiem. Ar 4AFC metodi tika noteikts kontrasta sliekšnis, pie kura vēl ir iespējams saskatīt hromatisko stimulu atšķirības.

Atslēgvārdi: kontrasta sliekšnis, krāsu ansamblis, sarkani-zaļais kanāls, piesātinājums.

ABSTRACT

Bachelor's thesis is written in Latvian on 31 pages. It consists of 16 images, 2 tables and 24 references to literature sources.

In this bachelor's thesis was tried method with which can clarify the sensibility of red-green color channel mechanism using color ensembles. Ten participants, aged 21-28 years, took part in this study. With the use of 4AFC method was determined contrast threshold, where participants can see the differences between chromatic stimuli.

Key words: contrast threshold, color ensemble, red-green channel, saturation.

SATURS

IEVADS	1
1.LITERATŪRAS PĀRSKATS	2
1.1.KRĀSU REDZE.....	2
1.2.Oponentā krāsu teorija	2
1.2.1.Oponentie kanāli	3
1.3.Krāsu ansambļi	3
1.3.1.Krāsu ansambļu eksperimentu dizaini	3
1.4.Krāsu telpas.....	5
1.4.1.CIE XYZ krāsu telpa.....	5
1.4.2. CIE L*a*b krāsu telpa.....	6
1.4.3.DKL krāsu telpa	7
1.5.Ansambļu kopas.....	7
1.5.1.Primārā grupēšana	8
1.5.2.Sekundārā grupēšana.....	9
1.6.Krāsu ansambļu uztvere	9
1.6.1.Kontrasts.....	9
1.6.2.Kontrastjutība	10
1.7.Krāsu pēcefekts.....	11
1.8.Vidējā toņa uztveršana.....	12
1.9. Adaptācija	14
2. PĒTĪJUMA DAĻA.....	15
2.1.Dalībnieki.....	15
2.2.Metodes.....	15
2.2.4.Četru piespiedu izvēles metode.....	16
2.4 Rezultāti un to analīze.....	18
2.4.1.Aproksimācija ar lineāru funkciju.....	18
2.4.2.Aproksimācija ar Bolcmaņa sigmoīdu	20
2.4.3.Eksperimenta analīze.....	21
SECINĀJUMI	26
NOBEIGUMS	27
PATEICĪBAS	28
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	29
PIELIKUMI.....	31

1.PIELIKUMS.....	31
------------------	----

IEVADS

Apkārtējā vidē ir sastopams miljoniem dažādu toņu, tomēr cilvēka krāsu uztverei krāsas tiek iedalītas noteiktās kategorijās-zaļš, zils, sarkans, dzeltens u.c. Krāsa cilvēkam nodrošina vizuālo informāciju par apkārtējo vidi. Krāsu uztveri un krāsu sajūtu veidošanos nodrošina fotoreceptorās šūnas-nūjiņas un vālītes, kas atrodas acs tīklenes mugurējā daļā (*Choudhury, 2014*). Tieši vālītes cilvēkam nodrošina normālu krāsu redzi un uztver krāsas ar dažādu spektrālo sastāvu. Vālītes sīkāk tiek iedalītas trijos veidos-īso viļņu vālītes, kuru spektrālās jutības maksimums ir 420 nm, vidējo viļņu vālītes, kuru spektrālās jutības maksimums ir 534 nm un garo viļņu vālītes, kuru spektrālās jutības maksimums ir 564 nm (*Choudhury, 2014*).

Ir daudz dažādu pētījumu par to, ka krāsu ansambļu attēlošana palīdz izvērtēt vizuālās informācijas apstrādi un krāsu uztveres spēju, bet ir salīdzinoši maz pētījumu, kuros krāsu ansambļi izmantoti, lai izvērtētu sarkan-zaļā krāsu mehānisma jutību.

Šobrīd nav īsti skaidrs, kā kontrasts ietekmē krāsu izšķirtspēju, ja mainās piesātinājuma līmenis. Pētījuma ietvaros krāsu ansambļi tiks izmantoti, lai noskaidrotu sarkani-zaļā kanāla izolējošo stimulu ietekmi uz hromatisko izšķirtspēju un to kā fona stimuli un testa stimuli ar dažādu ierosinājuma līmeni ietekmē dalībnieka sniegto atbildi. Hromatiskā izšķirtspēja ir viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē spēju uztvert krāsu ansambļu atšķirības, tādējādi liela hromatisko stimulu dažādība būtiski ietekmē atbildes sniegšanas precizitāti un laiku.

Hipotēze: Palielinoties stimula demonstrācijas laikam, kontrasta sliekšnis samazināsies. Šī bakalaura darba **mērķis:** izvērtēt kontrasta sliekšni krāsu ansambļiem, kas satur sarkani-zaļā krāsu kanāla izolējošos stimulus. Lai sasniegtu bakalaura darbā uzstādīto mērķi, tika izvirzīti šādi **darba uzdevumi:**

1. Novērtēt dalībnieka “sarkan-zaļo” krāsu redzi ar HRR testu.
2. Analizēt stimula demonstrācijas laika ietekmi uz sliekšņa vērtībām.
3. Novērtēt sliekšņa vērtības pie trīs piesātinājuma līmeņiem ar diviem stimuliem fonā un trīs stimuliem fonā.

1.LITERATŪRAS PĀRSKATS

1.1.KRĀSU REDZE

Krāsu redze nodrošina spēju izšķirt un uztvert dažāda spektrālā sastāva hromatiskos stimulus. Mums visapkārt ir liela krāsu dažādība, tāpēc cilvēks spēj uztvert miljoniem krāsu toņu. Teorētiski krāsas tiek iedalītas ahromatiskajās un hromatiskajās krāsās. Krāsa un tās raksturojošie parametri-gaišums, tonis un piesātinājums nosaka vizuālo uztveri, tāpēc tā tiek uztverta dažādi, jo katrai krāsai ir atšķirīgs spektrāls sastāvs un elektromagnētiskā izstarošanas enerģija (*Conklin, 1969*). Krāsu sajūtas rašanās nav atkarīga tikai no gaismas, liela nozīme ir arī fizioloģiskiem procesiem tīklenē un smadzenēs. Tīklenes fotoreceptoros notiek primārā vizuālās informācijas apstrāde un pārveidošana par neirāliem stimuliem. Acs tīklenē esošie divu veidu fotoreceptori, kuri tiek ierosināti dažāda apgaismojuma apstākļos, saņem gaismas impulsus no apkārtējās vides un tālāk šie impulsi nonāk smadzenēs, kur rodas krāsas sajūta. Objektī var saturēt vairākas nokrāsas jeb krāsu pigmentus, kas ierosina dažādas krāsu sajūtas un nosaka to, cik krāsa ir piesātināta (*Chetverikov et al., 2017*). (*Maule & Franklin, 2015*) pētījumā netīklājās nekādas krāsu kategoriju saistības starp krāsu ansambļiem. Krāsu kategorijas neietekmē primāro informācijas apstrādi, bet gan tālākos informācijas apstrādes posmus (*He et al., 2014*). Krāsu noteiktā krāsu diapazonā var apkopot ar vienu krāsu terminu, piemēram, aplūkojot gleznu, kas sastāv no vairākiem līdzvērtīgiem toņiem, cilvēks spēj raksturot, kāds tonis gleznā dominē visvairāk.

1.2.Oponentā krāsu teorija

Oponentās krāsu redzes teorijas pamatlicējs ir zinātnieks Ēvalds Hēringa. Oponentā krāsu redzes teorija ietver trīs krāsu pārus, kas savā starpā ir saistīti, bet darbojas pretēji. Šie krāsu pāri ir: sarkani-zaļais, zili-dzeltenais un balti-melnais. Balti-melnais kanāls tiek saukts arī par spožuma kanālu. Pēc Hēringa teorijas receptori var uztvert to, vai krāsa ir vairāk zaļa vai sarkana, dzeltena vai zila, gaiša vai tumša (*Choudhury, 2014*). Viņš pierādīja arī to, ka krāsu pāri veido pēcefektu, piemēram, aplūkojot augsta piesātinājuma sarkanu krāsu ilgāku laiku, un pēc tam paskatoties uz gaišu fonu veidosies zaļas krāsas pēcefekts un otrādi, tāpat arī pārējiem krāsu pāriem.

1.2.1.Oponentie kanāli

Oponentais process noris tīklenes līmenī, kur visvairāk iesaistītas ir vāļītes, kuras nosūta informāciju tālāk uz oponentajiem kanāliem. Horizontālo šūnu slānī atrodas oponentās šūnas, kuras tiek iedalītas divās grupās(Choudhury, 2014). Sarkani-zaļās šūnas uztver vidējos un garos viļņus, turpretī zili-dzeltenās šūnas uztver īsos viļņus. Oponentajām šūnām ir mazi receptīvie lauki, līdz ar to tās spēj saņemt informāciju tikai no viena veida vāļītēm.

Krāsas ar lielu piesātinājumu dod stiprāku signālu oponentajiem kanāliem (Ware, 2012).

1.3.Krāsu ansambļi

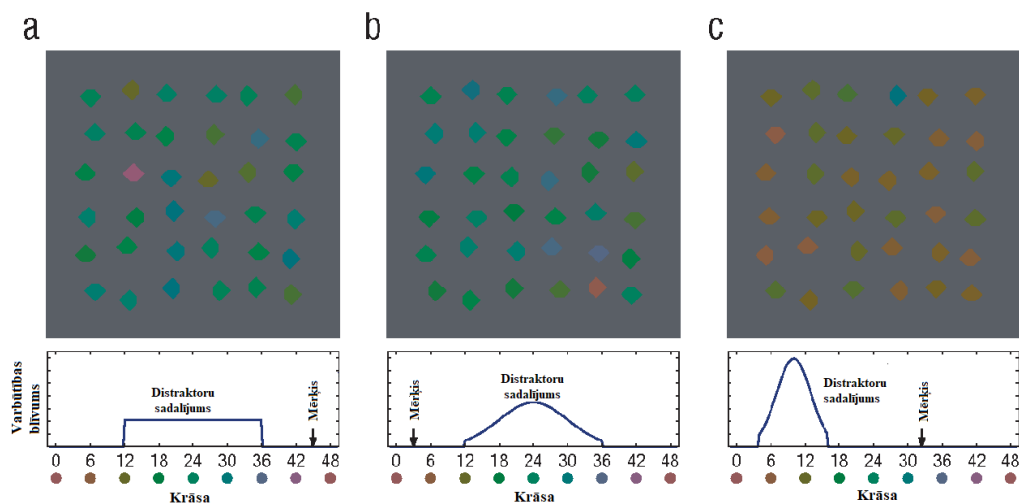
Krāsu ansambļi sastāv no vairākiem atšķirīgiem hromatiskiem stimuliem, to attēlošana spēj novērtēt redzes uztveres atšķirības un novērtēt krāsu redzes defektus, ja tādi ir. Šajā pētījumā testa stimulā ir kvadrāts, kas sastāv no vairākiem maziem krāsainiem kvadrātveida elementiem. Krāsu ansambļi var atšķirties ar elementu skaitu tajā, krāsu daudzveidību un sadalījumu, tādējādi tas ietekmē krāsu uztveri un izšķirtspēju. (Maule & Franklin, 2015) pētījumā tika pierādīts, ka krāsu ansambļi ar lielāku hromatisko stimulu daudzveidību apgrūtina uzdevuma izpildi, turpretī elementu skaits stimulā nekādā veidā neietekmē dalībnieka atbildi. Elements ar lielāku hromatisko atšķirību nosaka krāsu attēlojumu un spožumu (Kuriki, 2004).

1.3.1.Krāsu ansambļu eksperimentu dizaini

Salikti ansambļi ietver tādas ansambļu iezīmes kā stimula pozīciju un novietojumu, izmēru, krāsu un spožumu. Piemēram, dalībniekam novērojot ansambli, kas satur divas dažādas krāsas, dalībnieks spēj uztvert arī stimula izmēru, līdz ar to dalībnieks uztver vairākas ansambļu iezīmes vienlaicīgi (Whitney & Yamanashi Leib, 2017).

(Chetverikov et al., 2017) veica pētījumu, izmantojot, zinātnisku starpintervālu apguvi, kas atklāj plašu krāsu attēlojumu daudzkrāsainos ansambļos, tādā veidā noskaidrojot, kā dalībnieki attēlo krāsu ansambļus, kādi parametri tiek iekļauti. Šāda ansambļu attēlošana ar krāsaino stimulu dažādību palīdz izvērtēt redzes uztveres gūto pieredzi. Starpintervālu apguve raksturo to, ka izvēlētajā krāsu telpā zaļajai krāsai bija augstāks atšķirību slietnis nekā oranžai krāsai. Dalībnieki sēdēja tumšā telpā 60 cm attālumā no ekrāna, kura izšķirtspēja bija 1,920 x 1,080 pikseļi. Ekrāns pirms tam tika nokalibrēts, izmantojot *Cambridge Research Systems ColorCal MK2* fotometru (Chetverikov et al., 2017). Kā stimulā tika izmantots krāsu ansamblis, kas ietver 36 krāsainus elementus. Distraktoru un mērķa stimula krāsas tika izvēlētas no 48 krāsām, kas sadalītas DKL apļveida krāsu telpā. Distraktori ir krāsaini stimuli,

kas apgrūtina mērķa stimula atrašanu. Tā kā jutība dažādām krāsām ir atšķirīga, tad nokrāsas tika sadalītas ar vienu grupas tikko pamanāmo atšķirību DKL krāsu telpā. Dalībnieka uzdevums bija noteikt, kura no figūrām atšķiras ar savu toni un kura figūras daļa ir nogriezta (skat. 1.1.att.) (Chetverikov et al., 2017).



1.1.att. Trīs tipu ekrāni ar 36 figūrām (Chetverikov et al., 2017).

Visos mēģinājumos mērķa krāsa un virziens, kurā nogriezts figūras stūris, tika izvēlēti nejauši. Tiklīdz dalībnieks bija sniedzis atbildi, tā parādījās nākošais stimuls, līdz ar to atbildes sniegšanas laiks bija neierobežots. Ja dalībnieks atbildēja nepareizi, tad uz ekrāna parādījās, ka ir pieļauta kļūda. Rezultāti pierādīja to, ka redzes sistēma spēj izšķirt ne tikai vidējās krāsas atšķirības, bet arī krāsu sadalījuma izmēru. (Chetverikov et al., 2017) pētījums parāda to, ka dalībnieki uzdevumu spēj izpildīt tikai pēc 3 vai 4 atkārtojumu veikšanas. Kad distraktoru sadalījums mēģinājumu laikā bija vienveidīgs, tad arī atbildes sniegšanas laiks bija ilgāks, tas samazinājās tad, kad mērķa krāsa atradās ārpus sadalījuma. (Maule & Franklin, 2015) pētījumā novēroja, ka redzes sistēma nespēj rast vidējo krāsu ļoti atšķirīgiem krāsu toņiem apļveida krāsu telpā, tādēļ krāsu aplim vajadzētu būt sadalītam plašākos diapazonos. Krāsu dažādība, kas tiek attēlota krāsu ansambļos, stimulē vairāku krāsu selektīvos mehānismus, ietverot arī oponento krāsu sistēmu (Kuriki, 2004). Krāsu ansambļi ar lielu dažādību palēnina reakcijas laiku un ietekmē to cik precīzi dalībnieks ir atbildējis.

1.4. Krāsu telpas

Krāsu telpa ir veidota, lai raksturotu krāsu un norādītu krāsas atrašanās vietu pēc koordinātām atbilstošajā krāsu telpā. Krāsu telpa var tikt vizualizēta kā divdimensionāls vai arī kā trīsdimensionāls objekts, kas satur dažādas krāsu kombinācijas. Krāsu telpas raksturo spožums, piesātinājums un nokrāsa. Visbiežāk tiek izmantotas CIE krāsu telpas, kuru pamatā ir tas, ka jebkuru krāsu ir iespējams iegūt, savienojot trīs pamatkrāsas. Ir arī vairāki citi krāsu telpas modeļi, piemēram, DKL, RGB u.c. RGB krāsu telpu izmanto datoros un televizora ekrānos, tā attēlo sarkanu, zaļu un zilu punktu sajaukumu, kas atšķiras ar savu spilgtumu.

1.4.1. CIE XYZ krāsu telpa

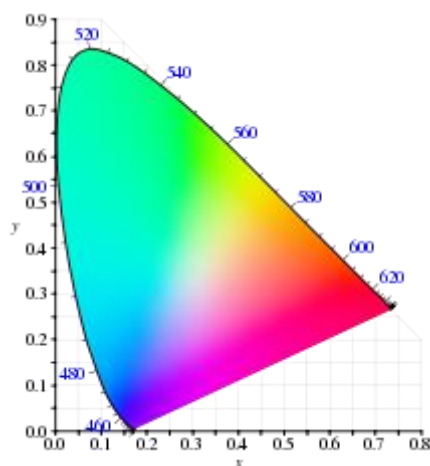
CIE XYZ krāsu telpa izveidota 1931. gadā, katrai krāsai ir savs novietojums un šī krāsu telpa atgādina pakavu. Šī krāsu telpa ietver visu krāsu spektru, kas redzams cilvēkam ar normālu krāsu redzi (*Ibraheem et al.*, 2012). Izstarotās vai atstarotās gaismas spektru CIE XYZ krāsu telpā raksturo koordinātas XYZ, tās norāda uz krāsu atrašanos telpā. Koordinātas X un Z raksturo krāsu, bet Y koordināta spožumu. Šīs koordinātas var aprēķināt pēc formulām:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Punkts, kas atrodas krāsu telpas vidū ir baltais punkts, kura koordinātas ir (0.333, 0.333), bet telpas galējos punktos izvietotas trīs pamatkrāsas- sarkans, zaļš, zils (skat. 1.2. att.) (*Bhattacharya et al.*, 2011). Krāsu telpā var atspoguļot arī oponentās krāsas, kuras sajaucot, var iegūt balto krāsu.



1.2.att.CIE XYZ krāsu telpa (Bhattacharya et al., 2011).

Ahromatiskā fona stimulu koordinātas mūsu pētījumā ir X_w , Y_w , Z_w un vāļišu ierosinājuma līmenis tiek novērtēts:

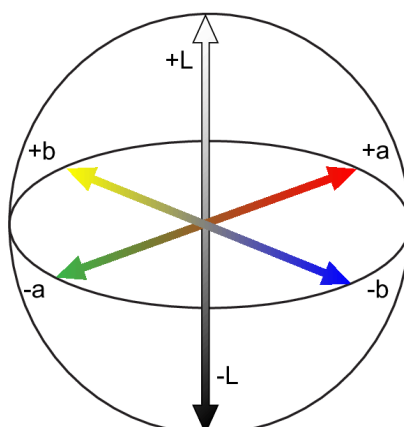
$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 X & k_2 Y & k_3 Z \\ k_4 X & k_5 Y & k_6 Z \\ 0 & 0 & k_7 Z \end{bmatrix}$$

Sarkani-zaļā kanāla stimuli tiek raksturoti ar funkciju:

$$y = -x \left(\frac{Y_w}{Y_w + Z_w} \right) + \frac{Y_w}{Y_w + Z_w}$$

1.4.2. CIE L*a*b krāsu telpa

CIE L*a*b krāsu telpa ir transformēta no CIE XYZ krāsu telpas un tās mērķis ir padarīt telpu vienveidīgu uz krāsu atšķirībām. Tā balstīta uz oponento krāsu teoriju. Šī krāsu telpa palīdz novērtēt krāsu uztveres atšķirības (Woods, 2011). Krāsu telpa definēta 1976.gadā, tā zināma arī kā CIE L*a*b. Krāsa tiek definēta kā trīs skaitliskas vērtības, kur L^* nosaka spožumu, a^* un b^* nosaka krāsu. Zaļi-sarkano oponentu lielums a , savukārt zili-dzelteno oponentu lielums b (Rhyne, 2016). Uz a^* ass sarkanā krāsa attēlo pozitīvās vērtības, bet zaļā negatīvās vērtības, tāpat arī uz b^* ass, kur dzeltenā krāsa attēlo pozitīvās vērtības, bet zilā negatīvās vērtības (skat.1.3.att.)



1.3.att. Trīsdimensionāla CIE L*a*b krāsu telpa.¹

¹ Imaging skin: Past, present and future perspectives. Pieejams: https://www.researchgate.net/figure/RGB-Color-Model-and-CIE-Lab-Color-space_fig3_41669565

CIE L*a*b krāsu telpas vērtības var aprēķināt no CIE 1931 XYZ koordinātām.

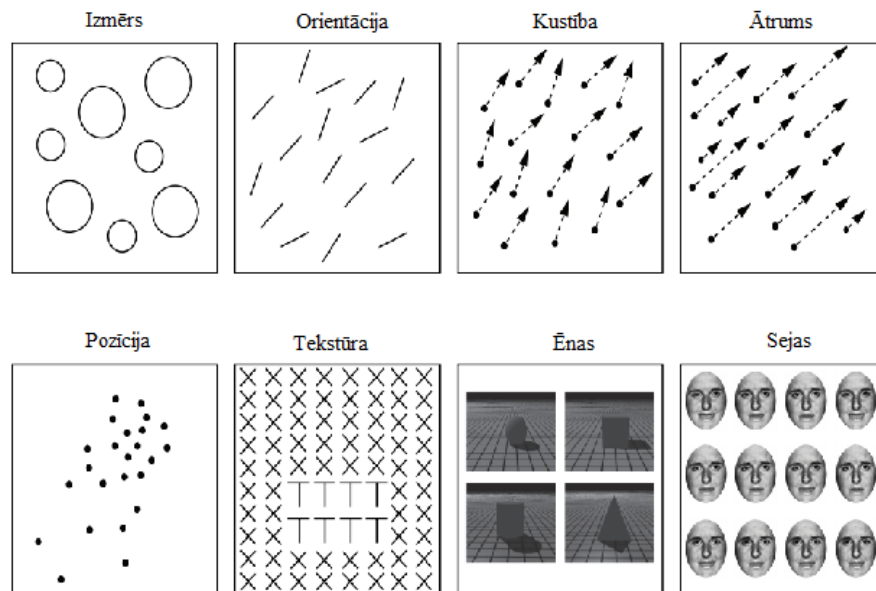
CIELAB krāsu telpa nosaka krāsas neatkarīgi no tā, kā tās tiek veidotas un attēlotas uz ekrāna un tā apraksta visas cilvēka acij uztveramās krāsas (*Sharma & Bala, 2002*).

1.4.3.DKL krāsu telpa

DKL krāsu telpā jeb Derrington, Krauskopf and Lennie krāsu telpā krāsas tiek attēlotas 3 dimensijās, izmantojot sfēriskās koordinātas. DKL krāsu telpa zināma arī kā oponentā krāsu telpa. Tā sastāv no 3 galvenajām ortogonālajām asīm. A ir ahromatiskā ass, kurai mainās tikai spožums, T ir sarkani-zaļā oponentā ass, bet D ass ir dzeltenī-zilā oponentā ass. Nokrāsas tiek attēlotas apļveida krāsu telpā (*Chetverikov et al., 2017*).

1.5.Ansamblu kopas

Ansamblu kopas tiek attēlotas augstā abstraktā līmenī. Augsts abstrakts līmenis ignorē telpisko uztveri, kā arī neattēlo atsevišķas iezīmes, līdz ar to tam ir liela nozīme ātrai, vizuālai kategorizāciju saistību noteikšanai vairākiem objektiem, kas atrodas vienā un tajā pašā telpā. Jebkuram vizuālam objektam tiek piedēvēta ātra statistika, sniedzot precīzu vizuālās ainas attēlojumu (*Utochkin, 2015*). Redzot kādu attēlu, dalībnieks novēro vairākas objekta īpašības, dalībnieks spēj novērtēt objekta aptuveno izmēru, kas ir viens no ansamblu kopas parametriem (*Ward et al., 2016*). Ansamblu kopas attēlojumam ir liela nozīme, jo dalībniekam ir jāsniedz atbilde par kādu no galvenajām iezīmēm, sākot ar objekta izmēru, pozīciju, sejas atpazīšanu, kustības virzienu, toni (skat.1.4.att.) (*Whitney & Yamanashi Leib,2017*).



1.4.att. Ansambļu kopu iezīmes (Whitney & Yamanashi Leib, 2017).

Viena no ansambļu kopas problēmām ir nespēja noteikt vidējo toni mērķa stimulam, kas sastāv no vairākiem toņiem, jo šiem toņiem ir lielas krāsu variācijas. Ansambļu kopas tiek uztvertas ne tikai telpiski, bet arī laika secībās atkarībā no stimula demonstrēšanas ilguma (Whitney & Yamanashi Leib, 2017). Redzes sistēma spēj attēlot atsevišķus līdzīgus punktus un izšķirt sīkas detaļas, izmantojot ansambļu kopas (Haberman & Whitney, 2012).

Ansambļu kopu attēlošana tiek pieminēta Geštalta grupēšanā, kas ietver teorijas par vizuālo uztveri un grupēšanu. Geštalta teorijas balstās uz to kā un kādās grupās cilvēks organizē vizuālos elementus (Haberman & Whitney, 2012). Grupas, kādās var iekļaut šos vizuālos elementus ir: līdzības, tuvuma, turpināšanās no viena objekta uz otru, figūru, simetrijas. Krāsu ansambļus no Geštalta teorijas skatpunkta iespējams grupēt pēc līdzības likuma, proti, stimuli ar līdzīgām pazīmēm-krāsu vai formu, tiek sagrupēti kopā (Wagemans, et al., 2012).

1.5.1. Primārā grupēšana

Šāda veida grupēšanai nepieciešams lēmums tikai par vienu uztveres dimensiju, kurai nav iepriekšējas informācijas par to, kādai kategorijai pieder objekts. Arī formas sadalīšana ir labs veids, kā novērtēt ansambļa kategorizāciju, jo redzes sistēma nodrošina attēlošanas principus dažādos neirālās apstrādes līmeņos. Redzes sistēma pārbauda vai kopējais paraugs apkopo informāciju vienas virsotnes sadalījumā, tādā veidā, izmantojot formu, lai noteiktu, kādai kategorijai pieder ansambļu elementi. Ja šāds nosacījums izpildās, tad visi ansambļu elementi tiek iedalīti vienā kategorijā. Attālums starp iezīmēm nosaka to, vai tas ir vienas

virsošnes sadalījums vai vairāku virsošņu sadalījums. Sadalījuma virsošņu skaits norāda kategoriju skaitu, ko var uztvert ansamblī (*Utochkin, 2015*).

1.5.2.Sekundārā grupēšana

Sekundārā kategorizācija balstās uz statistisko hipotēžu testēšanu, tāpat kā primārā kategorizācija, taču šeit hipotēzes ir plašākas, jo šeit tiek ņemtas vērā arī citas dimensijas un kategorizācija var veidoties divos veidos, tas atkarīgs no uzdevuma. Pirmais veids definēts kā dziļuma kategorizācija. Dziļuma kategorizācijā dalībnieks izvēlas vienu no primārajām kategorijām jaunai dimensijai, nosakot vai kategorijas var atpazīt sākotnējā. Otrais veids definēts kā platuma kategorizācija, kurā dalībnieks salīdzina, kā primārās kategorijas atšķiras citu dimensiju ziņā (*Utochkin, 2015*).

1.6.Krāsu ansamblu uztvere

Ansambļu uztvere ir process, kas pieprasa lielu uzmanību. Ansambļu uztvere ir secīga un notiek daudzos vizuālās apstrādes līmeņos. Vispirms gaismas impulsam jānonāk tīklenē esošajos fotoreceptoros, kur notiek vizuālās informācijas pārveide elektriskā signālā. Tālāk šis signāls tiek nosūtīts uz smadzenēm, kur tiek uztverta un apstrādāta saņemtā informācija. Primārā vizuālā garoza nodrošina visu nepieciešamo informāciju, kas nepieciešama redzes sistēmai, lai noteiktu un atpazītu vienkāršas attēla iezīmes. Smadzenēm ir noteikti informācijas apstrādes ierobežojumi, kas var ietekmēt spēju uztvert, kā piemēram, acu mirkšķināšana, vizuālā īstermiņa atmiņa un psiholoģiski faktori (*Marois & Ivanoff, 2005*). Šo ansambļu uztveri mēdz saukt arī par ansambļu kodēšanu. Stimula demonstrēšanas laiks ir viens no noteicošajiem faktoriem, kas ietekmē ansambļu uztveri. Krāsu ansambļu kodēšanas mehānismi spēj ātri uztvert galvenās ansambļu iezīmes, tādā veidā pielāgojot redzes sistēmu vides apstākļiem (*Maule & Franklin, 2015*). Krāsu ansambļu kodēšana palīdz iegūt vienotu attēlu, izmantojot algoritmu, kas stimulē uztveri.

1.6.1.Kontrasts

Cilvēka redzes sistēmā viens no svarīgākajiem parametriem ir kontrasts, kas būtiski ietekmē redzes kvalitāti. Tas tiek definēts kā spožuma atšķirība, kas ļauj pamanīt atšķirību starp diviem objektiem vai krāsām. Pie augstāka kontrasta ir vieglāk izšķirt sīkas detaļas, jo ir spilgtāks apgaismojums, līdz ar to objekti ir skaidri redzami un redzes asums augstāks. Attēlam ar augstu kontrastu ir lielāka dziļuma uztvere, salīdzinot ar zema kontrasta attēlu

(Choudhury, 2014). Pie zema kontrasta ir grūtības izšķirt sīkas detaļas, jo ir slikti apgaismojuma apstākļi, līdz ar to objekti ir neskaidri un izplūduši un redzes asums ir zemāks. Kontrastu var aprēķināt pēc Maikelsona formulas:

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

kur L_{max} (cd/m²) ir spožums gaišākajam objektam un L_{min} ir spožums tumšākajam objektam.

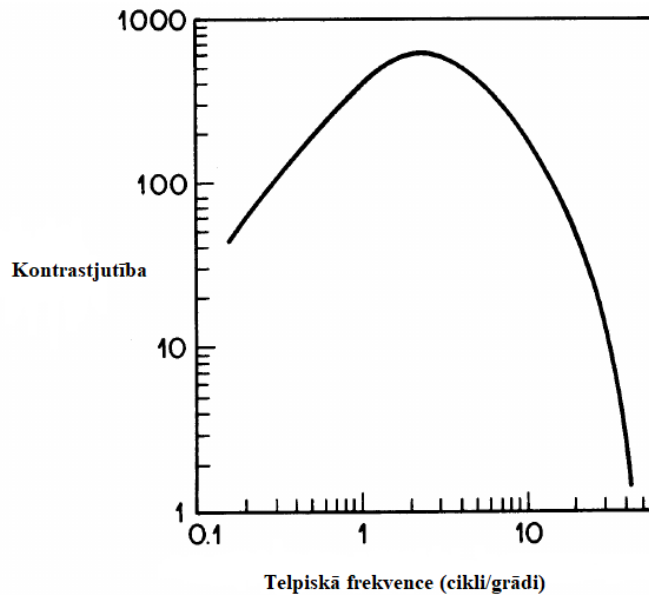
Kontrastu var aprēķināt arī pēc Vēbera formulas:

$$C = \frac{L_O - L_F}{L_F}$$

kur L_O (cd/m²) ir spožums objektam, bet L_F ir spožums fonam. Kontrasts tiek izteikts procentos, jo tam nav noteiktas mērvienības.

1.6.2. Kontrastjutība

Kontrastjutība definēta kā cilvēka spēja pamanīt atšķirību starp objektu un tā fonu. Kontrastjutība ir apgriezts lielums kontrastam, tāpēc zema kontrastjutība būs cilvēkam, kuram stimula atpazīšanai nepieciešams augsts kontrasts, bet augsta kontrastjutība būs cilvēkam, kuram stimula atpazīšanai nepieciešams zems kontrasts. Kontrastjutību ietekmējošie faktori ir stimula spožums, stimula izmērs, apkārtējais apgaismojums. Vēl viens kontrastjutību ietekmējošais faktors ir tīklenes apgaismojuma līmenis, kas ir atkarīgs no stimula spožuma. Stimuls, kas atrodas uz dažādiem foniem, izskatās gaišāks vai arī tumšāks, piemēram, stimuls uz melna fona izskatās gaišāks, bet stimuls uz balta fona izskatās tumšāks. Šīs atšķirības raksturo vienlaicīgais kontrasts. Kontrastjutības novērtēšanai praksē tiek izmantotas *Vistech* tabulas un *Pelli-Robson* tabulas. Kontrastjutības funkcija raksturo sliksni, kas nepieciešams, lai izšķirtu režģi atkarībā no telpiskās frekvences (skat.1.5.att.) (*Seshadrinathan, et al., 2009*).



1.5.att.Kontrastjutības funkcija (*Seshadrinathan, et al., 2009*).

Dažādos apgaismojuma apstākļos kontrastjutības funkcija atšķiras. Uz x ass attēlotas telpiskās frekvences, bet uz y ass kontrastjutība. Kontrastjutības līkne atgādina U burtu un pie zemākām frekvencēm ir redzama kontrastjutības samazināšanās.

1.7.Krāsu pēcefekts

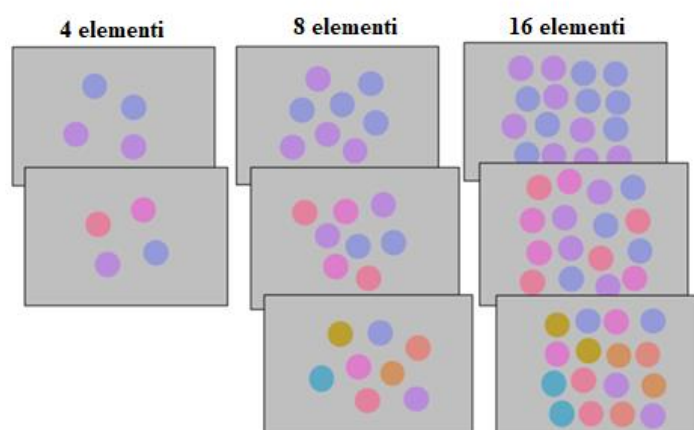
Pēcefekts ir redzes uztveres fenomens, kas palīdz izskaidrot krāsu redzes īpatnības. Pēcefekts veidojas tad, ja ilgstoši tiek aplūkots kāds krāsains stimuls ar lielu piesātinājumu. Vēlāk paskatoties uz parastu baltu fonu var novērot pretējas krāsas parādīšanos, tas novērojams aptuveni 30 sekundes. Piemēram, skatoties uz spožu gaismas avotu ilgāku laiku, un pēc tam paskatoties uz citu fonu, īslaicīgi parādās tumšs plankums. Pēcefekts parāda noteiktās krāsas pretējo krāsu jeb komplementāro krāsu. Oponentā krāsu teorija izkaidro pretējo krāsu parādīšanos šajā fenomenā (*Choudhury, 2014*). Pēcefekti tiek iedalīti divās grupās: pozitīvie un negatīvie. Pozitīvais pēcefekts neatšķiras no nesēn aplūkotā stimula, tam ir tāds pats spožums. Visbiežāk šādu pēcefektu var novērot tumsas adaptācijas apstākļos. Negatīvais pēcefekta attēls atšķirsies no sākuma stimula, tas būs ar citu spožumu un krāsu. To izraisa fotoreceptoru jutīguma samazināšanās noteiktai krāsai (*Phillips, 2012*).

1.8. Vidējā toņa uztveršana

Vidējā krāsa tiek raksturota kā krāsa, kas daudzkrāsainā stimulā dominē visvairāk, tāpēc tai ir liela nozīme krāsu kodēšanā un krāsu pastāvībā. Vidējās krāsas noteikšana ļauj redzes sistēmai samazināt spektrālās variācijas, nodrošinot krāsu stabilitāti. Lai uztvertu vidējo krāsas toni procesā piedalās receptori, kas palīdz uztvert redzēto ainu. Krāsu kodēšanas laikā redze sistēmā notiek pārmaiņas, tostarp tīklenē un laterāli genikulārajā ķermenī, saņemot signālus no garo, vidējo un īso viļņu vāļītēm. (Webster et al., 2014). Vidējās krāsas noteikšanā piedalās lielie redzes receptīvie lauki.

(Maule & Franklin, 2015) pētījuma mērķis bija noteikt pamatnosacījumus, ar kuriem dalībnieks var iegūt un noteikt vidējo toni no daudzkrāsaina ansambļa un kā elementu skaits un krāsu skaits ansablī ietekmē vidējo toņa noteikšanu. Eksperimentā piedalījās 18 dalībnieki, kuru vidējais vecums bija 22,4 gadi. Pirms eksperimenta uzsākšanas katram dalībniekam ar Išihara krāsu platēm tika novērtēta krāsu redze.

Stimulu diapazons sastāvēja no 24 toņiem, kuri izvietoti DKL apļveida krāsu telpā. Nokrāsas tika sadalītas ar 2 tikko pamanāmo atšķirību sliksni. Stimuli tika rādīti uz Mitsubishi DiamondPlus 2070SB Diamondtron CRT ekrāna, kura izšķirtspēja bija 1600 x 1200 pikseļi (Maule & Franklin, 2015). Dalībnieks sēdēja tumšā telpā un tika izmantots melns kartona tunelis, lai aizsegtu perifērijas objektus un krāsas, kuri var būt izgaismoti no ekrāna. Dalībnieks sēdēja aptuveni 57 cm attālumā no ekrāna, atbildes tika sniegtas, izmantojot klaviatūru. Ansambļi sastāvēja no 4, 8 vai 16 apaļiem krāsainiem elementiem (skat.1.6.att.) (Maule & Franklin, 2015).



1.6.att. Ansambļi, kas sastāv no vairākiem krāsainiem elementiem (Maule & Franklin, 2015).

Katrā mēģinājumā viens tonis tika nejauši izvēlēts no 24 toņiem apļveida krāsu telpā, izvēlētais tonis tika izmantots, lai noteiktu, cik toņi ir dotajā ansamblī. Lai noteiktu vidējo toni, tika izmantota divu alternatīvu piespiedu izvēle, dalībnieka uzdevums bija sniegt atbildi, kurš no toņiem attēlo vidējo toni, no iepriekš redzētā krāsu ansambļa. Vispirms uz ekrāna parādījās melns fiksācijas punkts, kurš uz ekrāna rādījās aptuveni 1000 ms, pēc tam parādījās krāsu ansamblis, tad parādījās balts ekrāns un pēc tā divu alternatīvu piespiedu izvēle, nosakot vidējo toni no redzētā krāsu ansambļa.

Pēc eksperimenta tika novērtēts atbildes laiks, mēģinājumos, kuros atbildes laiks bija mazāks par 200 ms, tika uzskatīti kā nederīgi un izņemti. Eksperimenta rezultāti apstiprina to, ka elementu skaits krāsu ansamblī neietekmē dalībnieka spēju izvēlēties vidējo toni, turklāt atbildes laiks bija ilgāks ansambļiem, kuri sastāvēja no vairākām krāsām (*Maule & Franklin, 2015*).

(*Kuriki, 2004*) pētījumā tika izmantota pielāgošanas metode, lai noteiktu, kāda ir vidējā krāsa. Kā stimuls tika attēlots 20x20 kvadrāts, kurā bija vēl sīkāki kvadrātveida hromatiskie stimuli. Pētījuma mērķis bija noskaidrot, vai daudzkrāsainu stimulu ansambli var definēt ar vienu krāsu terminu. Stimuli sastāvēja no izoluminantiem krāsu elementiem un tika rādīti uz CRT ekrāna. Pētījumā piedalījās trīs dalībnieki un pirms eksperimenta visiem dalībniekiem tika pārbaudīta krāsu redze, izmantojot Išihara krāsu plates. Dalībnieks sēdēja 60 cm attālumā no ekrāna un stimuli tika novēroti monokulāri, aizklājot vienu aci. Fons, uz kura atradās krāsainie stimuli bija pelēks ar spožumu 25cd/m^2 . Elementu krāsas tika izvēlētas nejauši no 9 krāsām. Dalībnieki varēja pielāgot spožumu un krāsas toni, lai būtu vieglāk noteikt vidējo krāsu. Rezultāti pierādīja to, ka pielāgotā krāsa novirzās no fizikālās vidējās krāsas, kamēr krāsu sadalījuma rādītājs palielinās. Dalībnieka lēmumi neuzrādīja sistemātisku tendenci, ja krāsas bija ļoti atšķirīgas. Cilvēka redzes sistēma nespēj skaidri uztvert vidējo krāsu no daudzkrāsaina parauga.

1.9. Adaptācija

Adaptācija tiek raksturota kā process, kas ir noderīgs pielāgojoties noteiktiem apstākļiem, piemēram, pielāgošanās fotopiskiem, mezopiskiem un skotopiskiem apstākļiem. Adaptācija apgaismojuma izmaiņām notiek tīklenes fotoreceptoros. Adaptācijai ir nozīmīga loma redzes uztverē un tā ietekmē absolūto redzes jutību. Acs jutību raksturo vismazākais gaismas daudzums, kas izraisa redzes sajūtu. Adaptācija tiek iedalīta gaismas, tumsas un hromatiskajā adaptācijā. Gaismas adaptācija nodrošina pielāgošanos spilgtam apgaismojumam, kad acs jutība uz gaismu ir samazinājusies, turpretī gaismas sliekšnis ir paaugstinājies. Tumsas adaptācija nodrošina pielāgošanos tumsas apstākļiem, šajā gadījumā jutība uz gaismu ir paaugstināta un gaismas sliekšnis ir samazinājies, tāpēc šis process ir daudz lēnāks, salīdzinot ar gaismas adaptāciju. Hromatiskā adaptācija ietekmē krāsu redzi, tā regulē fotoreceptoru jutību noteiktai gaismas intensitātei. Objekta krāsa var palikt nemainīga, neskatoties uz to, ka mainās gaismas avota spektrs, piemēram, vienkārša papīra lapa dienas gaismā izskatās balta, toties iekštelpās ar mākslīgo apgaismojumu tā šķiet dzeltena. Balts objekts saglabā savu krāsu, tiklīdz dalībnieks ir adaptējies noteiktiem apstākļiem. (*McDermott et al.*, 2010) pētījumā pierādījās tas, ka adaptācijas mehānisms uzlabo mērķa stimula atrašanu. Adaptāciju īpaši ietekmē arī tas, ka mērķa stimula krāsa atšķiras no krāsām, kas atrodas fonā. Tā kā krāsa ir viens no galvenajiem parametriem vizuālās meklēšanas laikā, tad ar to var izprast adaptācijas mehānismu darbību (*McDermott et al.*, 2010).

2. PĒTĪJUMA DAĻA

2.1. Dalībnieki

Pētījumā piedalījās 10 dalībnieki vecuma grupā no 20-28 gadiem. Pētījuma dalībniekiem nebija nekādas krāsu redzes problēmas. Pirms piedalīšanās eksperimentā, pētījuma dalībnieki tika iepazīstināti ar eksperimenta gaitu un pētījuma metodēm. Pētījuma dalībnieki parakstīja dalībnieka piekrišanas lapu, saskaņā ar LU EKMI Zinātniskās izpētes ētikas komisiju. Vienam pētījuma dalībniekam mērījumi ilga aptuveni 1 stundu.

2.2. Metodes

2.2.1. HRR pseidoizohromatiskās plates

Visiem pētījuma dalībniekiem pirms eksperimenta veikšanas tika novērtēta sarkan-zaļā krāsu redze un vai tā atbilst normai, jo mērījumi tiks veikti ar stimuliem, kas paredzēti priekš sarkan-zaļā krāsu kanāla. Tests tika veikts binokulāri, pie dienas apgaismojuma. Tests sastāv no 24 platēm, kurās ir dažāda veida stimuli.

2.2.2. Monitora krāsu kalibrācija un stimulu atlasīšana

Pirms eksperimenta veikšanas ir nepieciešama monitora krāsu kalibrācija, lai atrastu nepieciešamos stimulus, kas izolēs sarkan-zaļo krāsu kanālu. Lai izolētu sarkan-zaļo krāsu kanālu vispirms tika noskaidrots, cik lielā mērā testa stimula fons ierosina L, M, S vāļītes. Pēc tam tika atlasīti stimuli, kuri atbilst diviem kritērijiem:

- Testa stimula fona un hromatisko stimulu ierosinājuma līmenis S vāļītēs ir vienāds.
- Testa stimula fona un hromatisko stimulu ierosinājuma līmeņu summa L un M vāļītēs ir konstanta.

Pēc šiem kritērijiem var atlasīt stimulus, kas tiek atrasti ar sarkan-zaļo krāsu oponento kanālu, bet nav redzami dzeltenajam un zilajam krāsu oponentajam kanālam un ahromatiskajam kanālam.

2.2.3. Konstanto stimulu metode

Lai noteiktu atšķirības pamanīšanas sliekšni krāsu ansambļiem un izvēlētos krāsu stimulus, tiks izmantota konstanto stimulu metode. Šajā metodē tiek izvēlēts noteikts stimulu vērtību skaits, parasti no 5-9 vērtībām. Mūsu pētījumā tika izvēlētas 7 stimulu vērtības, atbilstoši šīm vērtībām tika atrasti stimulu numuri, kas tika iekļauti testa stimulā. Zemākā

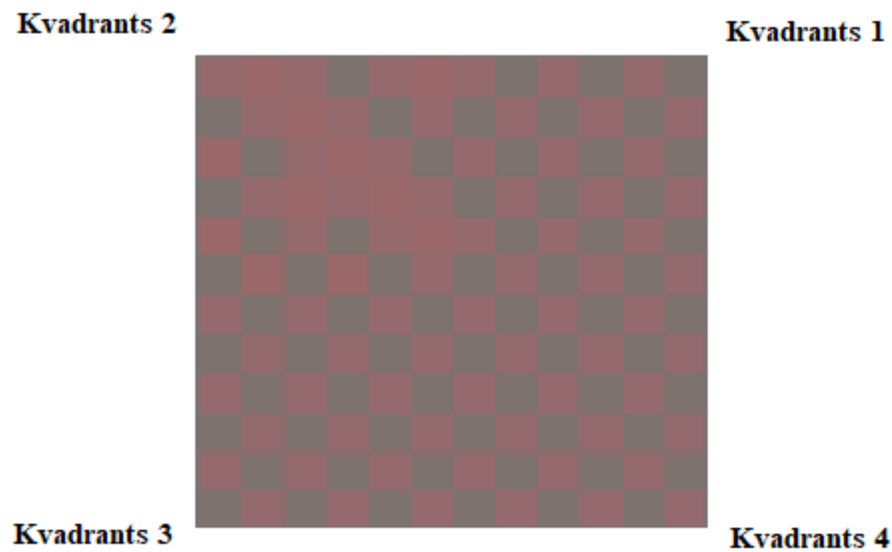
stimula vērtība atradās nedaudz zem sliekšņa vērtības, bet augstākā stimula vērtība virs sliekšņa jeb stimul, kas bija tikko pamanāms. Dalībniekam katrs no šiem 7 stimuliem tika rādīts 20 reizes jauktā secībā. Pēc stimula parādīšanās dalībniekam bija jāsniedz atbilde, kurā no kvadrantiem tika pamanīta atšķirība.

2.2.4.Četru piespiedu izvēles metode

Dalībniekam ir doti četri atbilžu varianti, no kuriem jāizvēlas viens, tādējādi šo metodi neietekmē dalībnieka iekšējie kritēriji, bet gan izvēles atbilžu skaits. Pat tad, ja dalībnieks neredz nekādu atšķirību, ir jāizvēlas kāda no atbildēmLai noteiktu sliekšņa vērtību, tika izmantota četru izvēļu metode (*four-alternative forced choice-4AFC*). Sliekšņa vērtība tika noteikta pie 62,5%. Izmantojot šo metodi, ir iespējams izveidot psihofizikālu līkni, kur tiek attēlots procentuālais pareizo atbilžu sadalījums pret stimula intensitāti

2.2.4.Krāsu ansambļu eksperiments

Lai demonstrētu krāsu ansambļus, tika izveidota datorizēta programma. Stimuls testā ir attēlots kā kvadrāts, kas sadalīts četros kvadrantos, ar atšķirīgiem hromatiskiem stimuliem katrā (skatīt 2.1 attēlu). Stimuls atrodas uz pelēka fona un tā leņķiskais izmērs ir 5 grādi. Stimuls sastāv no 12x12 elementiem, kad trijos kvadrantos ir 2 stimuli, bet no 24x24 elementiem tas sastāv tad, kad trijos kvadrantos ir trīs stimuli. Trijos kvadrantos atrodas divi spektrāli atšķirīgi hromatiskie stimuli, bet ceturtajā kvadrantā ir trīs atšķirīgi hromatiskie stimuli. Otrajā variantā trijos kvadrantos bija trīs spektrāli atšķirīgi stimuli, bet ceturtajā kvadrantā četri atšķirīgi hromatiskie stimuli. Stimuli tika rādīti trīs piesātinājuma līmeņos: 0.03, 0.06, 0.09. Tā kā tika izvēlēti 7 hromatiskie stimuli, tad katrs stimul tiek rādīts 20 reizes. Stimula ekspozīcijas laiks bija 34 ms, 50 ms un 70 ms. Ja ir pietiekams sliekšņa vērtību skaits, tad tiek sasniegts sesijas beigu kritērijs. Tests tika rādīts, izmantojot programmu WindowsApplication 65.



2.1.attēls. Krāsu ansamblis.

2.3. Eksperimenta gaita

Katram dalībniekam tika veikti 18 mērījumi ar diviem fona stimulu variantiem. Eksperimentā visi mērījumi tika veikti binokulāri aptuveni 70 cm attālumā no datora ekrāna un tumšā telpā. Veicot mērījumu, dalībniekam tika lūgts skatīties ekrāna centrā. Lai uzsāktu mērījumu, dalībniekam datora ekrāna labajā pusē jānospiež “sākt”. Dalībnieks turpina veikt eksperimentu tik ilgi, kamēr uz ekrāna parādās, ka konkrētais mērījums ir beidzies. Dalībnieka uzdevums ir noteikt, kurā no testa stimula kvadrantiem ir visvairāk dažādo hromatisko stimulu jeb kurā no kvadrantiem ir novērojamas kādas atšķirības. Tiklīdz stimuls pazuda, dalībniekam bija jāsniedz atbilde. Atbildes sniegšanas ātrums nav svarīgs. Bija doti četri atbilžu varianti – uz augšu pa kreisi, uz augšu pa labi, uz leju pa kreisi, uz leju pa labi. Pēc atbildes sniegšanas uzreiz parādās nākošais stimuls.

2.4 Rezultāti un to analīze

Pēc katra mērījuma pie noteikta stimulu skaita, krāsu ansambļu pamanīšanas frekvence tika izvadīta teksta failā. Iegūtie rezultāti bija krāsu ansambļu pamanīšanas frekvence. Pētījuma mērķis bija izvērtēt kontrasta sliekšni krāsu ansambļiem, kas satur sarkani-zaļā krāsu kanāla izolējošos stimulus. Krāsu ansambļu testā tika izmantota četru alternatīvu izvēles metode, kur kontrasta sliekšnis tika noteikts pie 62.5 % gadījumu.

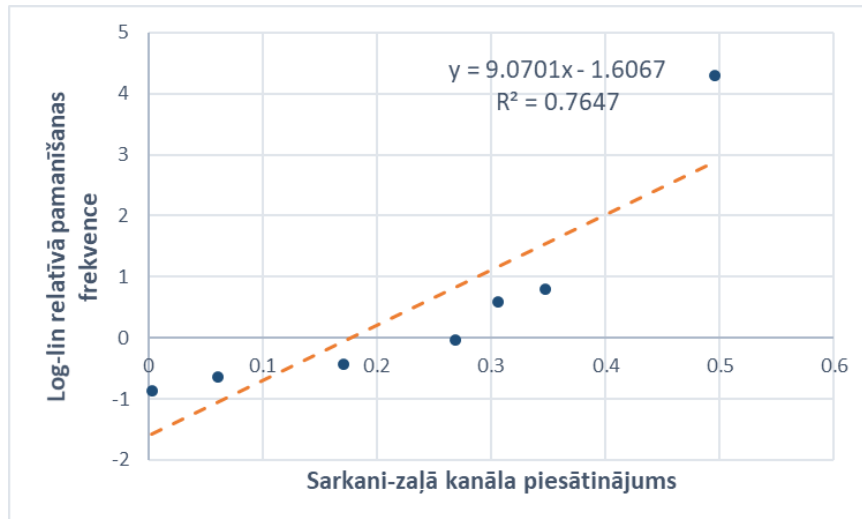
2.4.1. Aproximācija ar lineāru funkciju

Vispirms katram demonstrētajam stimula kārtas skaitlim, tika atrastas atbilstošā sarkani-zaļā kanāla piesātinājuma vērtības. Tās tika atrastas testa programmā, ievadot stimulu kārtas skaitļus. Pēc tam tika noteikta relatīvā pamanīšanas frekvence, kuru iegūst, dalot reālo pamanīšanas frekvenci ar demonstrēto stimulu skaitu. Vispirms tika noskaidrota stimulu relatīvā pamanīšanas frekvence, pieņemot 25% uzminēšanas varbūtību. Tad tika veikta relatīvās pamanīšanas frekvences lineārā transformācija un aproksimācija ar lineāru funkciju (skat.2.2.att). Tika aprēķināta transformētā log-lin relatīvā pamanīšanas frekvences vērtība, kas nepieciešama, lai linearizētu funkcijas vērtības. To iegūst pēc formulas:

$$\ln \frac{A1 - y}{y - A2}$$

kur A1 ir apakšējā robeža - 0.25, bet A2 ir augšējā robeža - 1, tā norāda uz pilnīgi precīzu iespēju atbildēt un y ir pamanīšanas frekvence, kas norāda, cik reizes dalībnieks ir redzējis demonstrēto stimulu.

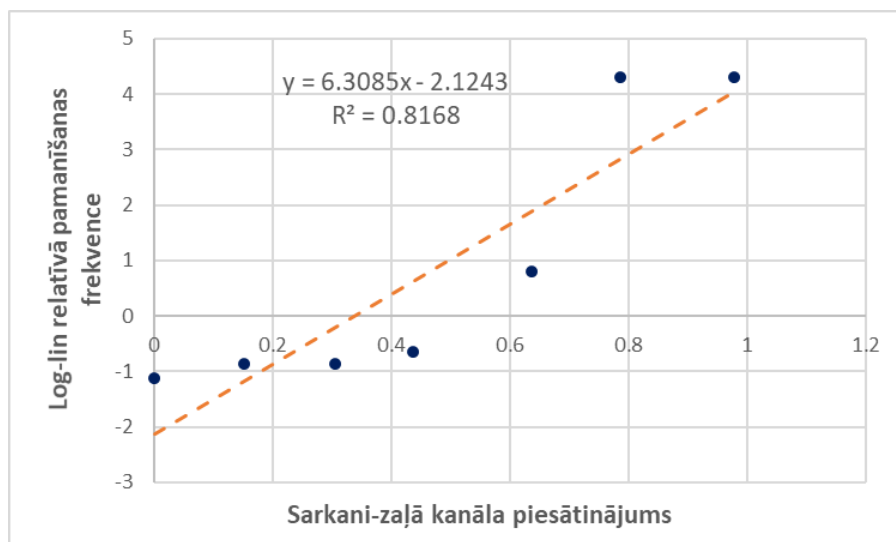
Tad tika noskaidrota sinusoidālās funkcijas vidējā vērtība un slīpuma koeficients no log-lin modeļa.



2.2.att. Dalībnieka Nr.1 lineārās regresijas analīze sarkani-zaļā kanāla piesātinājumam 7 stimuliem, kas atrodas vienā no atšķirīgajiem kvadrantiem un 2 fona stimuliem ar 34 ms demonstrācijas laiku atkarībā no transformētās y vērtības. Stimulu piesātinājuma līmenis ir 0.03.

Iegūtais determinācijas koeficients R^2 2.2.attēlā rāda, ka pastāv korelācija, jo $R^2 > 0.001$. Korelācija ir cieša ($R=0.87$).

Tāda pati lineārās regresijas analīze tiek veikta ar 3 fona stimuliem un 7 stimuliem, kas atrodas vienā no atšķirīgajiem kvadrantiem (skat.2.3.att).

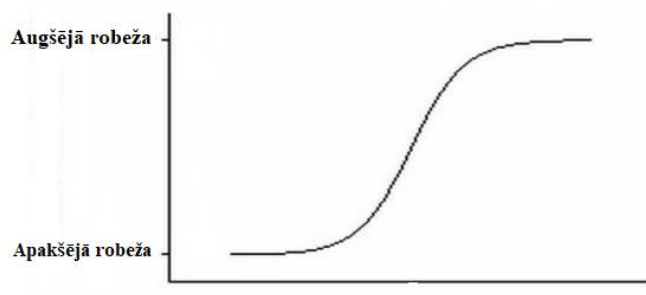


2.3.att. Dalībnieka Nr.1 lineārās regresijas analīze ar 3 atšķirīgiem fona stimuliem ar piesātinājuma līmeni 0.03 un 34 ms demonstrācijas laiku.

Determinācijas koeficients R^2 norāda, ka tiek novērota korelācija, jo $R^2 > 0.001$. Korelācija ir cieša ($R=0.90$).

2.4.2. Aproximācija ar Bolcmaņa sigmoīdu

Lai tiktu iegūta psihometriskā funkcija, visi dati tika aproksimēti ar Bolcmaņa sigmoīdu (skat. 2.4.att).



2.4.att. Bolcmaņa sigmoīda funkcija.²

Šo sigmoīda funkciju apraksta vienādojums:

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

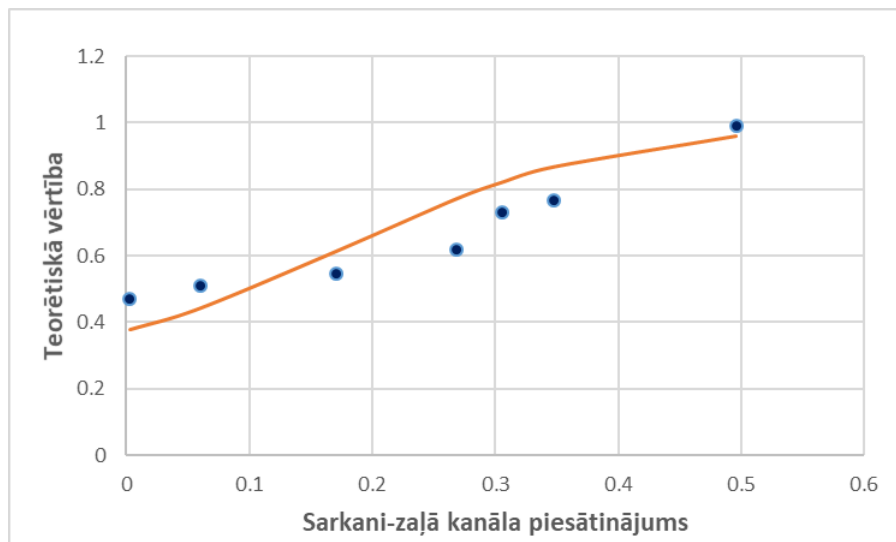
kur A_1 ir apakšējā robeža, A_2 ir augšējā robeža. Pētījumā A_1 ir 0.25 un A_2 ir 1. x_0 ir x vērtība, kurai atbilst Bolcmaņa sigmoīdas 62.5% no maksimālās vērtības, dx ir sigmoidālās funkcijas slīpuma koeficients punktā x_0 . No šī funkcijas vienādojuma tika izteikts lielums x :

$$x = x_0 + dx * \ln \frac{(A_1 - y(x))}{(y(x) - A_2)}$$

Kas mūsu pētījumā atbilst kontrasta sliekšņa vērtībai. 1.pielikumā var apskatīt, kā šī formula izteikta no Bolcmaņa sigmoīda funkcijas.

² Equation: Boltzmann sigmoid. Pieejams: https://www.graphpad.com/guides/prism/8/curve-fitting/reg_classic_boltzmann.htm

Pēc sigmoīda funkcijas vienādojuma tika aprēķinātas teorētiskās funkcijas vērtības, kas tika atliktas uz y ass, bet uz x ass tika atlikti attiecīgo stimulu sarkani-zaļā kanāla piesātinājumi. Šajā grafikā piesātinājumi atlikti septiņiem stimuliem testa stimulā ar diviem stimuliem fonā (skat.2.5.att).

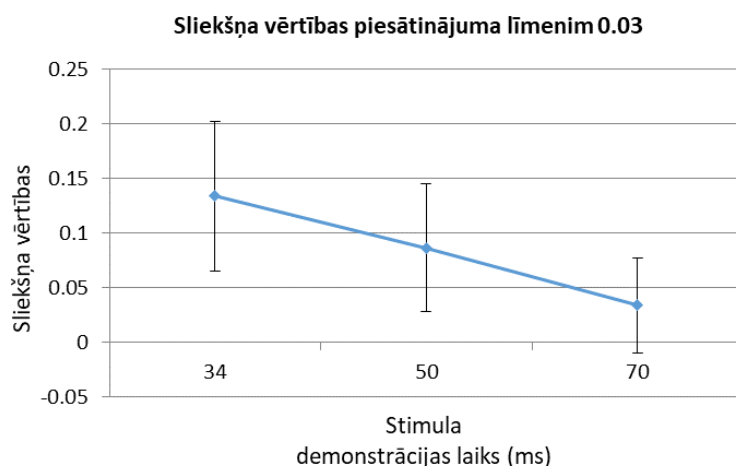


2.5.att. Dalībnieka Nr.1 psihometriskā līkne ar 2 stimuliem fonā un 7 atšķirīgiem stimuliem testa stimulā.

2.4.3.Eksperimenta analīze

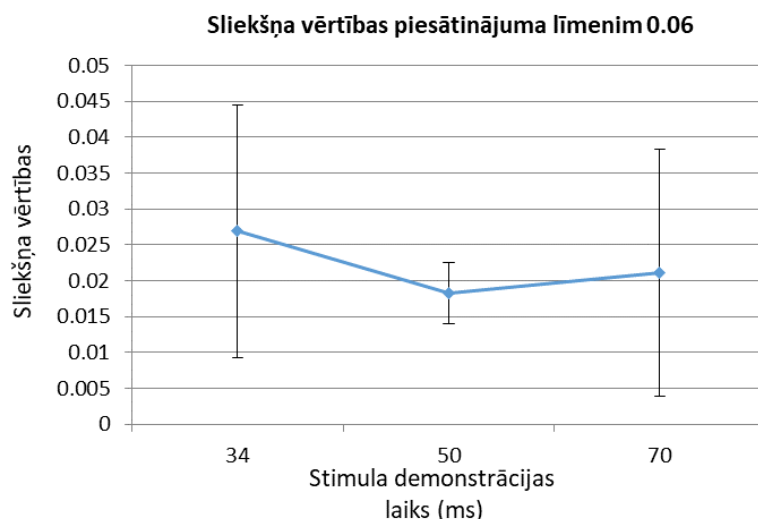
Eksperimentā tika salīdzinātas kontrasta sliekšņu vērtības, kur fonā bija 2 hromatiskie stimuli, bet 3 hromatiskie stimuli testa stimulā kā arī 3 hromatiskie stimuli fonā un 4 hromatiskie stimuli testa stimulā. Tika mainīts arī stimula demonstrēšanas laiks: 34 ms, 50 ms un 70 ms.

Sliekšņu vidējās vērtības, pie stimulu demonstrēšanas laika: 34 ms, 50 ms un 70 ms, gadījumā, kad stimula fonā bija 2 hromatiskie stimuli un testa stimulā 3 hromatiskie stimuli, attēlotas 2.6. attēlā



2.6.att.Sliekšņa vidējās vērtības un standartnovirzes pie krāsu piesātinājuma līmeņa 0.03.

Pēc grafikā attēlotajām sliekšņa vidējām vērtībām var redzēt, ka palielinoties stimula demonstrēšanas laikam, sliekšņa vērtības samazinās, tas nozīmē to, ka dalībnieks pie 50 un 70 ms stimulus spēj uztvert labāk nekā pie 34 ms, jo stimulš tiek demonstrēts ilgāk. Pie 34 ms sliekšņa vērtība ir lielāka, tas saistās ar to, ka stimulš ātri parādās un ātri pazūd, līdz ar to dalībnieks nespēj pateikt, kurš no kvadrantiem bija atšķirīgs, tāpēc izvēlas jebkuru no atbildēm.



2.7.att.Sliekšņa vidējās vērtības un standartnovirzes krāsu piesātinājuma līmenim 0.06.

Attēlā 2.7 zemāka sliekšņa vērtība ir pie 50 ms, bet pie 70 ms tā ir nedaudz augstāka. Sešiem eksperimenta dalībniekiem sliekšņa vērtības pie šiem demonstrācijas laikiem nevarēja noteikt, jo dalībnieki bija spējuši redzēt hromatiskos stimulu atšķirību kādā no krāsu ansambļu

kvadrantiem. Tikai vienam no desmit dalībniekiem bija nosakāms sliekšnis pie visiem trim stimulu demonstrācijas laikiem.

Pie piesātinājuma līmeņa 0.09 vidējās sliekšņa vērtības nebija nosakāmas, jo tikai četriem dalībniekiem bija nosakāms sliekšnis kādā no demonstrācijas laikiem. Līdz ar to pie augstāka piesātinājuma līmeņa, dalībnieks spēj uztvert hromatisko stimulu atšķirību kādā no kvadrantiem.

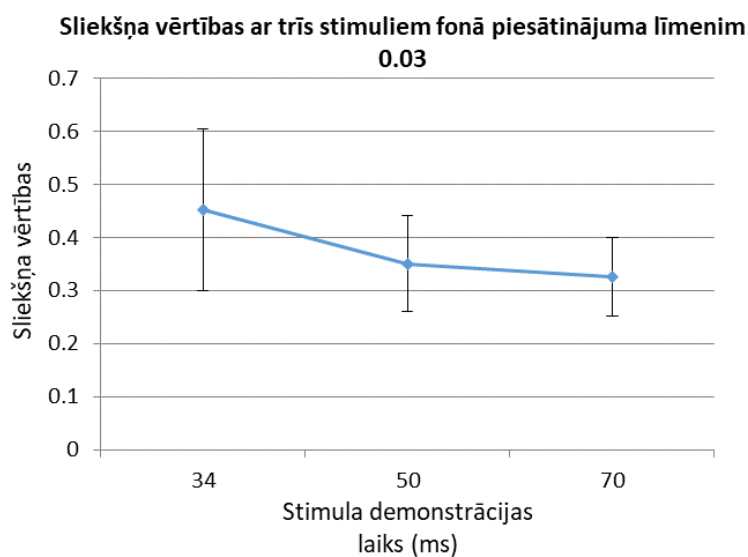
Vidējās sliekšņa vērtības, kas norādītas attēlos 2.6 un 2.7, ir apskatāmas tabulā 2.1.

2.1.tabula

Vidējās sliekšņa vērtības un standartnovirzes ar diviem stimuliem fonā un trīs stimuliem testa stimulā pie trīs atšķirīgiem piesātinājuma līmeņiem.

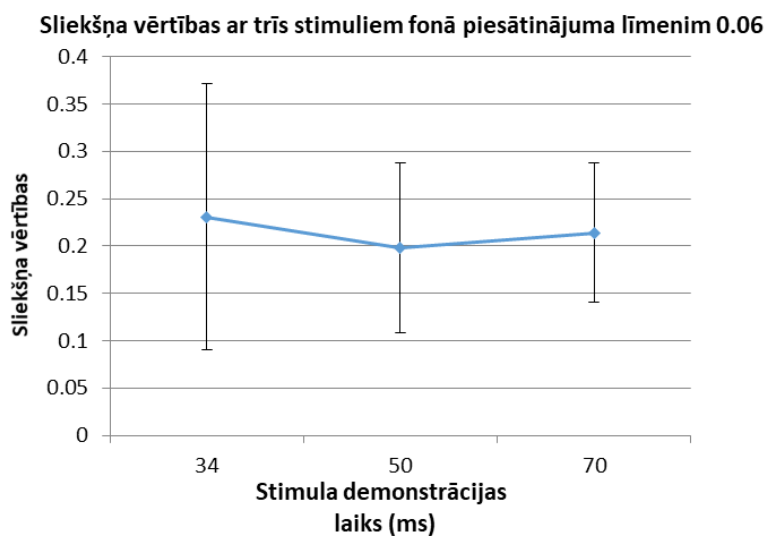
	Piesātinājuma līmenis 0.03		Piesātinājuma līmenis 0.06		Piesātinājuma līmenis 0.09	
	Vidējā vērtība	Standartnovirze	Vidējā vērtība	Standartnovirze	Vidējā vērtība	Standartnovirze
34 ms	0.134	0.068	0.027	0.018	0.010	0.008
50 ms	0.086	0.058	0.018	0.004	-	
70 ms	0.034	0.044	0.021	0.017	-	

Vidējās sliekšņa vērtības tika salīdzinātas arī tajā gadījumā, kad stimula fonā bija trīs stimuli, bet testa stimulā četri stimuli ar trīs stimulu demonstrācijas laikiem (skat.2.8.att).



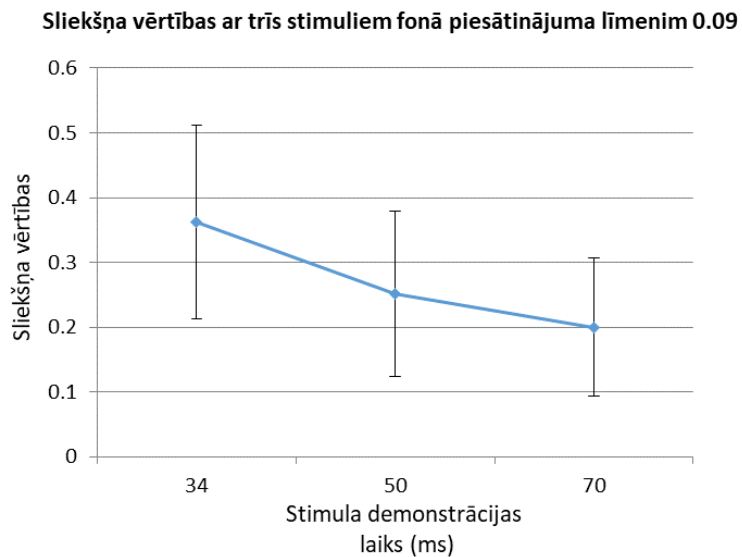
2.8.att. Sliekšņa vidējās vērtības un standartnovirzes, kad stimula fonā bija trīs stimuli, bet testa stimulā četri stimuli.

Arī šajā 2.8 attēlā var redzēt to, ka palielinoties stimula demonstrācijas laikam, sliekšņa vērtība samazinās, jo pie lielāka demonstrācijas laika dalībnieks spēj redzēt atšķirību vienā no kvadrantiem. Ņemot vērā to, ka krāsu ansamblis sastāvēja no 3 stimuliem fonā un 4 stimuliem testa stimulā, krāsu ansamblis sastāvēja no mazākiem kvadrātveida elementiem, tāpēc sliekšņa vērtība pie 34 ms ir lielāka. Pie piesātinājuma līmeņa 0.06 ir novērojamas citas izmaiņas (skat. 2.9.att).



2.9.att. Sliekšņu vidējās vērtības piesātinājuma līmenim 0.06.

No 34 ms līdz 50 ms sliekšņa vērtība samazinās, bet pie 70 ms sliekšņa vērtība nedaudz palielinās. Sliekšņa vērtības palielināšanos pie 70 ms var skaidrot ar dalībnieka koncentrēšanās spēju un vēlmi pildīt testu. Vidējās sliekšņa vērtības tika novērtētas arī pie piesātinājuma līmeņa 0.09 (skat. 2.10.att).



2.10.att.Sliekšņu vidējās vērtības piesātinājuma līmenim 0.09.

2.10.attēlā pie piesātinājuma līmeņa 0.09 var redzēt to, ka sliekšņa vērtības samazinās, pieaugot stimula demonstrācijas laikam.

Vidējās sliekšņa vērtības, kas norādītas attēlos 2.8, 2.9 un 2.10 ir apskatāmas tabulā 2.2.

2.2.tabula

Vidējās sliekšņa vērtības un standartnovirzes ar trīs stimuliem fonā un četriem stimuliem testa stimulā pie trīs atšķirīgiem piesātinājuma līmeņiem.

	Piesātinājuma līmenis 0.03		Piesātinājuma līmenis 0.06		Piesātinājuma līmenis 0.09	
	Vidējā vērtība	Standartnovirze	Vidējā vērtība	Standartnovirze	Vidējā vērtība	Standartnovirze
34 ms	0.451	0.152	0.231	0.141	0.362	0.150
50 ms	0.351	0.090	0.198	0.090	0.251	0.127
70 ms	0.325	0.074	0.214	0.073	0.200	0.107

SECINĀJUMI

1. Dalībniekam ar normālu sarkan-zaļo krāsu redzi nebija grūti noteikt kontrasta sliekšni.
2. Palielinoties stimula demonstrācijas laikam, sliekšņa vērtības samazinās.
3. Vidējās sliekšņa vērtības pie piesātinājuma līmeņa 0.09, kad fonā bija divi stimuli un testa stimulā trīs stimuli, bija nosakāmas tikai pie 34 ms demonstrācijas laika, bet pie 50 ms un 70 ms sliekšni nevarēja noteikt.
4. Krāsu ansamblis ar lielāku hromatisko stimulu skaitu fonā un testa stimulā ļauj noteikt sliekšņa vērtību pie visiem trijiem piesātinājuma līmeņiem un demonstrācijas laikiem.

NOBEIGUMS

Bakalaura darbs sniedz nelielu ieskatu, par to kā sarkani-zaļā kanāla izvēlētie stimuli ar dažādu ierosinājuma līmeni un demonstrācijas laiku ietekmē kontrasta sliekšni. Eksperimenta testa pildīšanai bija vajadzīgs ilgs laiks, jo katram dalībniekam tika veikti 18 mērījumi, no kuriem 9 mērījumi ar diviem stimuliem fonā un papildus vēl vienu stimulu atšķirīgajā kvadrantā, un 9 mērījumi ar trīs stimuliem fonā un papildus vēl vienu stimulu atšķirīgajā kvadrantā. Jāņem vērā arī tas, ka rezultātus varēja ietekmēt dalībnieka koncentrēšanās spējas, nogurums un izpratne par testa veikšanu. Dalībnieks vieglāk spēja izprast uzdevumu tad, kad tika parādīts, kā šis tests veicams. Rezultātus varēja ietekmēt arī noteiktā darba attāluma maiņa un skatiena novēršana no demonstrētā stimula un nepareizas atbildes sniegšana.

Šo pētījumu varētu uzlabot, stimulu atlasīšanai izvēloties citu metodi, jo atsevišķus stimulus dalībnieks pilnībā varēja izšķirt, līdz ar to sliekšņa vērtību nevarēja aprēķināt.

Turpmākos pētījumos varētu veikt eksperimentu cita oponentā kanāla virzienos un izpētīt redzes uztveres atšķirības.

PATEICĪBAS

Vēlos izteikt pateicību darba vadītājam lektoram Prof.mag. Renāram Trukšam par ieteikumiem bakalaura darba tapšanas procesā. Paldies par palīdzību rezultātu apstrādē. Liels paldies visiem mana pētījuma dalībniekiem par izturību un veltīto laiku testa izpildei. Paldies manai ģimenei un draugiem par atbalstu, sapratni un palīdzību.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Bhattacharya, P., Fornari, R., & Kamimura, H. (2011). Color-matching functions and chromaticity diagram. In *Comprehensive Semiconductor Science and Technology* (pp. 75-78). Elsevier Science.
- Chetverikov, A., Campana, G., & Kristjánsson, Á. (2017). Representing color ensembles. *Psychological Science*, 28(10), 1510-1517.
- Choudhury, R. (2014). *Principles of colour and appearance measurement*. Woodhead Publishing.
- Conklin, H. C. (1969). Color categorization. In B. Berlin, & P. Kay, *Basic color terms: Their universality and evolution* (pp. 931-939). California: University of California Press.
- Haberman, J., & Whitney, D. (2012). Ensemble perception: summarizing the scene and broadening the limits of visual processing. In J. Wolfe, & L. Robertson, *From perception to consciousness: searching with Anne Treisman* (1st ed., pp. 339-349). USA: Oxford University press.
- He, X., Witzel, C., Forder, L., Clifford, A., & Franklin, A. (2014). Color categories only affect post-perceptual processes when same-and different-category colors are equally discriminable. *Journal of the Optical Society of America*, 31(4), 322-330.
- Ibraheem, N. A., Hasan, M. M., Khan, R. Z., & Mishra, P. K. (2012). Understanding color models: a review. *ARPN Journal of Science and Technology*, 2(3), 265-275.
- Kuriki, I. (2004). Testing the possibility of average-color perception from multi-colored patterns. *Optical Review*, 11(4), 249-257.
- Marois, R., & Ivanoff, J. (2005). Capacity limits of information processing in the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(6), 296-305.
- Maule, J., & Franklin, A. (2015). Effects of ensemble complexity and perceptual similarity on rapid averaging of hue. *Journal of Vision*, 15(4), 1-18.
- Maule, J., & Franklin, A. (2016). Accurate rapid averaging of multi-hue ensembles is due to a limited capacity sub-sampling mechanism. *Journal of The Optical Society of America*, 33(3), 22-29.
- McDermott, K. C., Malkoc, G., Mulligan, J. B., & Webster, M. A. (2010). Adaptation and visual salience. *Journal of Vision*, 10(13), 1-32.
- Phillips, I. (2012). Afterimages and sensation. *Philosophy and Phenomenological Research*, 87(2), 417-423.
- Rhyne, T. M. (2016). *Applying Color Theory to Digital Media and Visualization* (1st izd.). CRC Press.

- Seshadrinathan, K., Pappas, T. N., Safranek, R. J., Chen, J., Wang, Z., Sheikh, H. R., & Bovik, A. C. (2009). Image quality assesment. In A. Bovik, *The Essential Guide to Image Processing* (pp. 552-562). Academic Press.
- Sharma, G., & Bala, R. (2002). *Digital color imaging handbook* (1st ed.). CRC Press.
- Utochkin, I. S. (2015, August). Ensemble summary statistics as a basis for rapid visual categorization. *Journal of Vision*, *15*(4), 1-14.
- Wagemans, J., Elder, J. H., Kubovy, M., Palmer, S. E., Peterson, M. A., & Singh, M. (2012). A century of gestalt psychology in visual perception. Perceptual grouping and figure-ground organization. *Psychological Bulletin*, *138*(6), 1172-1217.
- Ward, E. J., Bear, A., & Scholl, B. J. (2016). Can you perceive ensembles without perceiving individuals?: The role of statistical perception in determining whether awareness overflows access. *Cognition*, *152*, 78-86.
- Ware, C. (2012). *Information visualization* (3rd ed.).
- Webster, J., Kay, P., & Webster, M. A. (2014). Perceiving the average hue of color arrays. *Journal of The Optical Society of America*, *31*(4), 283-292.
- Webster, M. A. (1996). Human color perception and its adaptation. *Network Computation in Neural Systems*, *7*(4), 587-634.
- Whitney, D., & Yamanashi Leib, A. (2017). Ensemble perception. *Annual Review of Psychology*, *69*, 105-129.
- Woods, J. W. (2011). *Multidimensional signal, image, and video processing and coding* (2nd ed.). New York: Academic Press.

PIELIKUMI

1. PIELIKUMS

Atšķirību pamanīšanas sliekšņa formulas izteikšana no Bolcmaņa sigmoidās funkcijas vienādojuma.

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

$$2. \quad \frac{A_1 - A_2}{y(x) - A_2} = 1 + e^{\frac{(x-x_0)}{dx}}$$

$$3. \quad \frac{A_1 - A_2}{y(x) - A_2} - 1 = e^{\frac{(x-x_0)}{dx}}$$

$$4. \quad \frac{A_1 - A_2}{y(x) - A_2} - \frac{y(x) - A_2}{y(x) - A_2} = e^{\frac{(x-x_0)}{dx}}$$

$$5. \quad \frac{A_1 - y(x)}{y(x) - A_2} = e^{\frac{(x-x_0)}{dx}}$$

$$6. \quad \ln \frac{(A_1 - y(x))}{(y(x) - A_2)} = \frac{(x - x_0)}{dx}$$

$$7. \quad dx * \ln \frac{(A_1 - y(x))}{(y(x) - A_2)} = x - x_0$$

$$8. \quad x = x_0 + dx * \ln \frac{(A_1 - y(x))}{(y(x) - A_2)}$$

Bakalaura darbs “Krāsu ansambļu pielietojumi sarkani-zaļā oponentā mehānisma izpētē” izstrādāts LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē.

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

Autore:

Anete Bērziņa

Stud. apl. Nr. ab16100

Rekomendēju/nerekomondēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: lektors, Prof.mag. Renārs Trukša

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

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____. Protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: _____