

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE



Sergejs Fomins

KRĀSU UN FORMAS NOZĪME ATTĒLU ATPAZĪŠANĀ

Promocijas darba kopsavilkums

Doktora zinātniskā grāda iegūšanai fizikā
Apakšnozare: medicīniskā fizika

Rīga, 2011



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE
ANNO 1919

Darbs izstrādāts no 2006. līdz 2011. gadam
Latvijas Universitātes Fizikas un matemātikas fakultātes
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā

Zinātniskais vadītājs: *Dr. habil. phys.* prof. **Māris Ozoliņš**

Recenzenti:

Dr. habil. phys. prof. **Jānis Spīgulis**, LU Atomfizikas un spektroskopijas institūts

Dr. phys. **Jānis Teteris**, LU Cietvielu Fizikas Institūts

Prof. **Henrikas Vaitkevicius**, Viļņas Universitāte

Promocijas padomes priekšsēdētājs: *Dr. habil. phys.* prof. **Ivars Lācis**

Darbs tiks aizstāvēts 2011. gada 11. februārī plkst. 15.00
LU Cietvielu fizikas institūta konferenču zālē, Ķengaraga 8.

Ar promocijas darbu var iepazīties LU Bibliotēkā (Kalpaka bulv. 4),
Latvijas Akadēmiskajā bibliotēkā (Rūpniecības iela 10) un
LU Fizikas un matemātikas fakultātē F210. telpā.

© Sergejs Fomins, 2011
© Latvijas Universitāte, 2011

ISBN 978-9984-45-303-3

Satura rādītājs

Anotācija	4
Ievads	5
Darba mērķi un uzdevumi	8
1. TEORIJA UN METODES	9
1.1. Formas un krāsu uztvere ventrālajā plūsmā	9
1.2. Tekstūru atšķiršana	9
1.3. Stimulu maskēšanas metode	10
1.4. Krāsu redzes traucējumi	11
1.5. Krāsu pēcefekts	12
1.6. Aizpildījums	13
2. TEKSTŪRU ATPAZĪŠANAS EKSPERIMENTI	14
2.1. Uztveres treniņi ar tekstūru atpazīšanas uzdevumu	14
2.1.1. Stimuls un metode	14
2.1.2. Rezultāti	15
2.2. Konteksta ietekme uz tekstūru atšķiršanas uzdevumu	17
2.2.1. Stimuls un metode	17
2.2.2. Rezultāti	17
2.3. Metodes lietojums ambliopijas pētījumiem	19
2.3.1. Stimuli un metode	19
2.3.2. Eksperimenta dalībnieks	20
2.3.3. Rezultāti	21
2.4. Secinājumi	22
3. KRĀSU REDZES TESTU MULTISPEKTRĀLĀ ANALĪZE	23
3.1. Testi, metodes un analīze	23
3.2. Rezultāti	26
3.3. Secinājumi	28
4. PĒCEFEKTA PAPILDKRĀSU NOTEIKŠANA	29
4.1.1. Metodika un stimuls krāsu pēcefekta radišanai	29
4.1.2. Rezultāti	29
4.2. Papildkrāsu noteikšana krāsu redzes traucējumu gadījumā	30
4.2.1. Rezultāti	31
4.3. Pēcefekta noteikšana DKL telpā	32
4.4. Secinājumi	34
5. KRĀSU AIZPILDĪJUMS DAŽĀDAS FORMAS STIMULIEM	35
5.1. Metodika un stimuli	35
5.2. Eksperimenta uzbūve	35
5.3. Rezultāti	36
5.4. Secinājumi	38
Aizstāvāmās tēzes	39
Secinājumi un iespējamie lietojumi	40
Publikācijas	41
Konferenču tēzes	42
Literatūra	45
Pateicības	48

ANOTĀCIJA

Krāsu un formas redzes uztvere „dala” līdzīgus apstrādes ceļus ventrālajā plūsmā redzes sistēmā. Formas uztvere redzes sistēmā sākas ar vizuālo detaļu novietojuma, virziena un elementu garuma kodēšanu, vēlāk detaļas apvienojot sarežģītākās struktūrās. Paralēli formu uztverei notiek arī krāsu informācijas apstrāde, kad signāli no receptoriem transformējas par galīgo krāsu uztveri. Darbā ir atsevišķi pētītas formas uztveres sākumelementi – teksturētas virsmas, un krāsu redze – vairākos apstrādes posmos, kā arī kopīgi ir pētīta formas ietekme uz krāsu uztveres procesiem. Eksperimentālās metodes un atrades ir virzītas uz to praktiskiem lietojumiem gadījumos, kad ir traucēta krāsu vai formas (kā tas ir, piemēram, ambliopijas gadījumā) redze.

Darbā ir pētīti orientētu virsmas tekstūru atpazīšanas raksturlielumi atkarībā no stimulu konteksta (blakus esošas papildu stimulācijas), kā arī uztveres uzlabojuma dinamika, veicot treniņus ar tekstūrām. Tekstūru atpazīšanas dinamiku mērījumos tika lietotas psihofizikālās metodes – konstanto stimulu metode un maskēšana. Metodika, kas ietver laikā mainīgus stimulus, savienota kopā ar šķidro kristālu slēgbrillēm acu signālu atdalīšanai un zemsliedzīga stimulācijas nodrošināšanai labāk redzošajā acī ambliopijas gadījumā.

Lai objektīvi analizētu krāsu redzes testu lietojamību, darbā tiek piedāvāti risinājumi, kuros izmantotas attēlu multispektrālās analīzes iespējas kopā ar algoritmu, kas izmanto cilvēka hromatiskās jutības īpatnības. Metode ietver mašīnu redzes objektu atpazīšanas metodi, kā arī paredz apgaismojuma ietekmi uz rezultātu un ir izmantojama esošo testu izpētei un jaunu krāsu redzes testu izstrādei.

Krāsu uztvere tika pētīta ar piedāvāto pēcefekta noteikšanas metodiku cilvēkiem ar normālu un traucētu krāsu redzi. Formas un krāsas mijiedarbības pētījumiem izmantota aizpildījuma (*filling-in*) ilūzija.

Uztveres treniņos ar teksturētām virsmām parādīts atpazīšanas uzlabojums, vismaz divreiz samazinot sākuma atpazīšanas sliekšni, lielākais sliekšņa pazeminājums ir novērojams sarkanzaļajiem stimuliem ar mazāko spožuma kontrastu. Ortogonāli stimuli perifērijā atpazīšanas laika sliekšni un uztveres dinamiku būtiski nemaina; bet kolineāri orientēti stimuli perifērijā samazina atpazīšanas laika sliekšni. Lietojot šķidro kristālu slēgbrilles un stimulējot katru aci atsevišķi, konstatēts, ka zemsliedzīga stimulācija labāk redzošajā acī būtiski uzlabo atpazīšanas sliekšni ambliopijā acī.

Atrastās atšķirības pēcefekta krāsās starp normālo un anomālo krāsu redzi un starp krāsu redzes anomāliju tipiem varētu kalpot kā krāsu redzes defektu un anomāliju diagnostikas metode. Pēcefekta aizpildījuma (*filling-in*) pētījumos ir parādīts, ka augstākajos redzes garozas līmeņos formas uztvere ir saistīta ar krāsu kodēšanu. Krāsas, kas veido spēcīgākos pēcefektus aizpildījuma eksperimentos, izpaužas ne tikai klasiskiem stimulu pāriem (krāsa-papildkrāsa), bet arī citām krāsām.

IEVADS

Redzes sistēmu var iedalīt divās nosacīti atdalītās informācijas apstrādes plūsmās: dorsālajā, kurā notiek kustīgu objektu analīze, un ventrālajā, kas ir atbildīga par formu un krāsu uztveri. Šajā darbā ir pētīti tie stimulu parametri, kuru apstrāde notiek ventrālajā redzes sistēmas plūsmā un tiek piedāvāti iespējamie praktiskie lietojumi.

Krāsas un spožuma informācijas uztvere sākas tiklīdz, kur gaisma tiek uztverta ar trīs tipu fotoreceptoru (S, M un L vālišu) palīdzību ar secīgu signālu transformāciju. Gadījumos, kad iztrūkst kāds no vālišu pigmentiem, rodas krāsu redzes traucējumi, kuru tips un pakāpe ir atkarīgi no ģenētiskajiem faktoriem, bet katrs no tiem, ja pastāv zināma nespēja, izraisa nespēju atšķirt noteiktus krāsu toņus. Pastāvot konkrētiem nosacījumiem, krāsu informācija ietekmē objektu atpazīšanu, jo sakarā ar nespēju atšķirt kādas krāsas attiecīgi iekrāsots objekts kļūst neredzams. Krāsu redzes testos – pseidoizohromatiskās tabulās – krāsu maskēšana ir izmantota, lai diagnosticētu krāsu redzes traucējumu veidu un pakāpi. Ne vienmēr šie testi sniedz viennozīmīgu diagnozi, piemēram, ja testa lapas ir nodzeltējušas vai ir nepareiza apgaismojuma izvēle testēšanas laikā. Atšķiras dažādu testu vizuālais un kolorimetriskais dizains. Parasti testos izmantotās krāsas analizē kolorimetriski vai spektroskopiski un veic arī klīnisko izpēti, kura var izrādīties sarežģīts un ilgs process. Lai veiktu objektīvu pseidoizohromatisko testu lietojamības analīzi, darbā tiek piedāvāti risinājumi, kuros izmantotas attēlu multispektrālās analīzes iespējas. Ir piedāvāts spektrālo attēlu apstrādes algoritms, kas ietver cilvēka acs vālišu spektrālo jutību un pēcreceptoru signālu apstrādes īpatnības. Piedāvātie risinājumi ļautu objektīvi izanalizēt esošos testus, ņemot vērā apgaismojuma faktoru, un būtu spēcīgs palīgs jaunu testu radīšanā.

Objektu formas uztvere hierarhiskajā redzes sistēmas organizācijā sākas ar vienkāršo orientēto elementu atpazīšanu. Redzes ainas visapkārt satur neskaitāmu daudzumu šādu elementu, un procesi redzes primārajā garozā notiek bez uzmanības klātbūtnes. Tas padara orientētu virsmu (jeb tekstūru) izmantošanu redzes eksperimentos par lielisku rīku redzes garozas procesu izpētei. Savukārt, uztveres mācīšanās ir svarīgs process, jo mūsdienās viss ir vērsts uz pilnveidošanos un jaunu uzdevumu un iemaņu apgūšanu. Tā parāda, ka arī pieaugušam cilvēkam ir pietiekams smadzeņu plastiskums – spēja mācīties un pielāgoties jauniem redzes apstākļiem un stimuliem. Uztveres treniņi ļauj novērtēt atpazīšanas uzlabojuma apmēru tekstūru izdališanas eksperimentos. Svarīgi, kā tie ļauj novērtēt dalībnieka pieredzes ietekmi uz atpazīšanas eksperimentu rezultātu.

Tekstūru uztveres sliekšņi ir atkarīgi no vairākiem faktoriem: tekstūras, kontrasta, stimula telpiskās frekvences, maskas un arī krāsu informācijas. Kā rāda pētījumi [1, 2], to atpazīšana ir atkarīga arī no apkārtējo objektu klātbūtnes. Iepriekš veiktajos citu autoru darbos ir noskaidroti atbildes pastiprināšanas vai kavēšanas mehānismi stimuliem ar dažādiem kontrastiem, ja papildus pastāv sānu stimulācija. Stimulācija ārpus receptīvā lauka var gan inhibēt, gan uzlabot uztveres dinamiku centrālajā receptīvajā laukā gadījumos, kad tiem ir zemāks kontrasts nekā stimuliem perifērijā [3]. Kaut arī kontrasts ir svarīga stimula īpašība, redzes procesiem ir svarīgs arī stimula rādīšanas ilgums, kā arī informācija, kas seko pēc stimula. Mēs piedāvājam izpētīt konteksta izraisīto ietekmi uz tekstūru atpazīšanu, izmantojot laikā mainīgus stimulus un lietojot maskēšanas metodi stimuliem lielākā telpas leņķī.

Vairums redzes signālu nonāk V1 garozā, kas ir lielākais un svarīgākais redzes sistēmas apgabals. Dzīves laikā cilvēkiem mēdz parādīties problēmas, kad nepietiekama kairinājuma dēļ procesi V1 zonā netiek pietiekami attīstīti, kas izraisa pavājinātas redzes funkcijas kādai no acīm. Šādu stāvokli sauc par ambliopiju (jeb acs vājumu), kuras īpatsvars bērnu populācijā ir 1–3% apmērā [4]. Ambliopijas ārstēšanai izmanto aizklāšanas metodi, kas veicina vājāk redzošas acs pastiprinātu iesaistīšanu redzes procesā. 2005. gadā Izraēlas kompānija *Ophthocare* prezentēja oklūzijas terapijai paredzētās šķidro kristālu brilles, ar kuru palīdzību ir iespējams aizklāt labāk redzošu aci un vingrināt vājāko aci. Izveidojot līdzīgas ātras darbības brilles, kas sadala acīs nonākošo informāciju redzes treniņiem, tos var apvienot ar ātru dinamisku tekstūru atpazīšanas uzdevumu. Tādā veidā būtu iespējams piedāvāt jaunu risinājumu redzes sistēmas parametru uzlabošanai ambliopijas gadījumā.

Neskatoties un to, ka tīklenes receptoru jutības līknes ir zināmas, redzes zinātnē pastāv liela interese par hromatiskas informācijas apstrādi ceļos pēc tīklenes un redzes garozā. Pasaulē ir veikti vairāki pētījumi par redzes garozas neironu hromatisko jutību, bet joprojām ir maz zināms par krāsas apstrādi garozas līmenī (V1, V2, V4 zonās). Visuālās informācijas uztveres procesā bieži novēro dažādus fenomenus un ilūzijas, kam pamatā bieži ir neirāla darbība. Viena no senākajām un pazīstamākajām ilūzijām ir krāsu pēcefekts. To parasti skaidro ar tīklenes vālišu pigmentu izbalināšanos [5], kaut gan daži vecāki [6] un arī pēdējos gados veikti binokulārie pētījumi [7] liecina par neirālās komponentes klātbūtni pēcefekta veidošanā. Jau sen pētnieki ir mēģinājuši noteikt pēcefekta veidotās krāsas, ko sauc par papildkrāsām (no angļu val. *complementary*, vācu val. *gegenfarben*) [8]. Mūsdienās ir izveidotas jaunas krāsu attēlošanas un analīzes fizioloģiski pamatotas telpas, kas ļauj analizēt krāsu apstrādes mehānismus redzes ceļos pēc tīklenes. Pēdējo dažu desmitu gadu laikā ir izveidotas jaunas stimulu demonstrēšanas metodes, kā arī krāsu displeju raksturošanas metodes,

kas ļauj veikt detalizētākus pēcefekta pētījumus un analizēt tos fizioloģisko krāsu telpu kontekstā. Eksistē vairākas krāsu redzes deficītu simulācijas [9], kas attēlo krāsu uztveri cilvēkiem ar krāsu redzes deficītiem. Mēs piedāvājam izveidot metodiku pēcefekta radīto papildkrāsu noteikšanai un izmantot to cilvēkiem ar krāsu redzes traucējumiem. Noteiktas papildkrāsas cilvēkiem ar krāsu redzes traucējumiem ir noderīgas šo personu krāsu uztveres aprakstam un noteiktas pielāgošanas gadījumā būtu izmantojamas krāsu redzes traucējumu diagnostikā.

Krāsu pēcefekts ir cieši saistīts ar aizpildījuma (*filling-in*) parādību, ko varētu raksturot kā neapzināto iztrūkstošās informācijas aizpildīšanu [10]. Aizpildījums izpaužas vairākām stimulu īpašībām (krāsai, spožumam, kustībai u.c.), kad apkārtesošā informācija tiek uztverta redzes lauka apgabalā, kur šī informācija būtībā nav prezentēta. Salīdzinājumā ar pēcefektu, kas rodas ilgstoši (vairāk nekā 30 s) novērojot krāsainu virsmu un kas pamatā ir balstīts uz pigmentu izbalēšanu, aizpildījums ir neirāls process [8, 10]. Darbā mēs piedāvājam izmantot neirālo krāsu aizpildījumu objekta kontūru iekšpusē, lai pētītu formas ietekmi uz krāsu uztveri redzes garozas līmenī. Pateicoties šādam pētījumam, tiktu novērtēta arī aizpildījuma parādībā iegūto papildkrāsu atbilstība unikālajiem toņiem vai oponentās krāsu telpas pamatvirzieniem.

DARBA MĒRĶI UN UZDEVUMI

Darbs fokusēts uz diviem svarīgiem redzes sistēmas raksturlielumiem – krāsu un formu uztveri un ar to saistītiem traucējumiem. Abu šo parametru pētījumus ir iespējams veikt kopīgi vai dalīti.

Darba mērķi ir veikt krāsu un formas uztveres pētījumus dažādos redzes sistēmas posmos un rast pētījumu rezultātiem praktisko lietojuma virzienu.

Tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- 1) izveidot stimulus un metodi teksturēto virsmu uztveres dinamikas pētījumiem un novērtēt uztveres izmaiņas, pildot uztveres treniņus. Noteikt perifērās stimulācijas iespaidu uz centrālā teksturētā stimula atpazīšanu;
- 2) veikt krāsu redzes testu multispektrālo attēlu mērījumus. Izmantot dažādus algoritmus un piedāvāt metodiku testu izpildījuma objektīvai novērtēšanai dažādos apgaismojumos.
- 3) izveidot kalibrētus hromatiskos stimulus un rast metodi krāsu pēcefekta datorizētai noteikšanai. Izpētīt pēcefekta radītās papildkrāsas cilvēkiem ar normālu krāsu redzi un krāsu redzes traucējumiem.
- 4) atrast atbilstošu stimulu formas un krāsas mijiedarbības novērošanai un piedāvāt metodiku krāsu sajūtas raksturošanai. Veikt formas iespaida pētījumus uz krāsu uztveri.

1. TEORIJA UN METODEDES

1.1. Formas un krāsu uztvere ventrālajā plūsmā

Vairākus gadu desmitus jau ir zināma redzes sistēmas sarežģītā uzbūve, kas ietver vairāk nekā 50 dažādas zonas. *Felleman et al* 1991. gadā ir veikuši redzes sistēmas zonu analīzi pēc pieciem galveniem primātu smadzeņu organizācijas principiem: liels redzes zonu skaits, augsts saišu sadalījums starp redzes zonām, atgriezenisko saišu esamība, hierarhiskā uzbūve un izdalīti apstrādes ceļi [11]. Lai radītu zināmu skaidrību tik lielā zonu skaitā, redzes sistēmu daļa divos funkcionāli atšķirīgos apstrādes ceļos. Pēc *Ungerleider et al* (1982) abi apstrādes ceļi sākas aiz primārās redzes garozas (V1) un sastāv no vairākām zonām. Ventrālo plūsmu veidojošās zonas atrodas pārsvarā temporālajā smadzeņu daļā, un tai ir svarīga loma objektu atpazīšanā un krāsu informācijas apstrādē. Dorsālā plūsma anatomiski ir novietota parietālajā smadzeņu garozā, un tā atbild par kustības uztveri un objekta atrašanos telpā [2]. Pierādījumi divu apstrādes plūsmu eksistencei balstās uz garozu bojājumu pētījumiem. Augšējās temporālās zonas bojājumi noved pie dažādiem uztveres traucējumiem (krāsu, objektu un formu atpazīšanas traucējumi), bet neiespaido telpisko uzdevumu izpildi (objektu attāluma noteikšana) [12].

1.2. Tekstūru atšķiršana

Tekstūru atšķiršana ir piepūli neiesaistoša redzes stimulu sadalīšana atšķirīgos segmentos, balstoties uz telpisko gradientu. [13] Pirmos nozīmīgākos atklājumus par tekstūru uztveres dabu izdarījis *Jacob Beck*. Viņa eksperimentā subjektiem bija jāatšķir, kurš no visiem reģioniem, kurā attēloti abstrakti tekstūras elementi, atšķiras visvairāk. Piemēram, atšķirība starp noliekto T burtu kreisajā pusē un T burtu centrā tiek uztverta ātrāk un vieglāk nekā L burtu atšķirība no centrālā T burtu. *Beck* sāka ar hipotēzi, ka objekts, kas satur lielu skaitu elementu, tiks grupēts uz formas līdzību pamata. Taču drīz viņš atklāja, ka faktori, kas ir pamatā tekstūru atšķiršanai, katrā ziņā nav tādi paši kā tie, kas nosaka formu līdzību tiem pašiem elementiem, kad tie tiek uztverti kā atsevišķas figūras. No daudziem šādu eksperimentu rezultātiem *Beck* secināja, ka tekstūru atšķiršana rodas no iezīmju blīvuma atšķirību noteikšanas tādiem zināmiem vienkāršiem apzīmējumiem kā liniju orientācija, vispārējais gaišums, krāsa, izmērs un kustība. [13]

Citas nozīmīgas idejas par tekstūru atšķiršanu piedāvāja *Bela Julesz*. Pētniece uzsvēra, ka tekstūras var izšķirt vienā no diviem veidiem: ar „normālu”

tekstūru atšķiršanu, kas notiek bez piepūles un vienlaikus visā redzes laukā, vai ar „apzinātu rūpīgu apskati”. Rūpīga apskate ietver uzmanības koncentrēšanu uz noteiktām daļām, lai atrastu formas atšķirības starp atsevišķiem elementiem. Vēlākos pētījumos tiek secināts, ka uzmanība tiek uzskatīta par svarīgu, lai kontrolētu uztveres apstrādi, piemēram, ietekmējot sacensību starp stimuliem neirālai reprezentācijai. Savukārt *Julesz* paziņoja, ka normāla tekstūru atšķiršana ir uzmanību neiesaistošs process. To apstiprina arī pētījums ar redzes izraisītajiem potenciāliem (VEP). Tā rezultāti attēlo, ka tekstūru atšķiršanas agrinās stadijas uzmanību neiesaista, turpretī uzdevuma svarīgums ir izšķirošs tālākiem procesiem. Laika koordinācija ir savienojama ar atkārtoti apstrādātu paraugu, ar sākotnēju apgrieztu galveno stimulu, īpašību apstrādi un sekojošu augstāko līmeņu informāciju modulējošām lejupejošām saitēm. Tā kā uzmanības efekti prevalē pār modalitātēm, tie nevar tikt vienkārši izskaidroti ar sacensību redzes garozā. [14]

Julesz un *Beck* darbi tekstūru atšķiršanas jomā ir svarīgi, jo šie autori pirmie sāka neatlaidīgi virzīt uz priekšu teorētiskās saiknes starp trīs savstarpēji saistītiem tematiem: uztveres pētījumu rezultātiem tekstūru segregācijā, redzes garozas fizioloģiju un redzes skaitļošanas teorijām. [15]

1.3. Stimulu maskēšanas metode

Maskēšana ir paņēmieni, ar kura palīdzību stimula (mērķa) redzamību iespējams samazināt vai pilnīgi izslēgt, rādot pēc vai pirms tā citu stimulu, ko sauc par masku. Pasaule ar to tika iepazīstināta 19. gs. beigās un 20. gs. sākumā. Kopš tā laika maskēšana ir plaši pētīta un kā pats par sevi interesants fenomens ir noderīga redzes apstrādes procesa dinamikas izpētē. Dinamisku redzes aspektu pētīšanā maskēšanas tehnika balstīta šādos pieņēmumos:

- 1) no stimulu parādīšanās brīža līdz mērāmu efektu parādīšanās brīdim uzvedībā vai apzinātā saprašanā nepieciešams intervāls no dažiem desmitiem līdz diviem vai trīs simtiem milisekunžu;
- 2) informācija, ko rada stimuli, tiek aktīvi apstrādāta iepriekš minētā intervāla laikā;
- 3) apstrāde var notikt vairākos specializētos daudzpakāpju redzes ceļos;
- 4) atbildes uz masku un mērķi var savstarpēji mijiedarboties specifiskos apstrādes līmeņos.[16]

Maskēšanas lietojums

Redzes maskēšanas pētījumi ir informatīvi dažādos veidos:

- 1) novēlotās parauga maskēšanas fenomens – intuitīva atradne, ka maska var atsevišķi kavēt mērķa redzamību pat tad, ja mērķis tiek rādīts

- pirms maskas, ir interesanta pati par sevi. Pēdējo divu desmitgažu laikā paziņoti vairāki kvalitatīvi šī fenomena izskaidrojumi, un to pārbaudei, protams, nepieciešami paraugu maskēšanas pētījumi;
- 2) redzes apstrādes process ir dinamisks, īslaicīgi notiekošs fenomens, un paraugu maskēšana var būt noderīga, lai izpētītu temporālās sekvenču, smadzeņu garozas līmeņa un informācijas apstrādes nepieciešamību, lai atpazītu stimulu, sākot no vienkāršām ģeometriskām figūrām līdz sejām un sarežģītākām ainām;
 - 3) tādi augstāka līmeņa redzes izziņas procesi kā uztveres grupēšana, redzes tēlainība un selektīvā uzmanība, var izmainīt redzes maskēšanu. Bez tam maskēšanai ir svarīga loma temporālu parametru pētījumos, kas raksturo redzes uzmanību, īpaši pētījumos, kur izmatota īsu sērijveida redzes stimulu rādīšana;
 - 4) redzes maskēšana nesniedz tikusi izmantota arī, lai noskaidrotu tās saistību ar maskēšanu, kas notiek izmantojot transkraniālo magnētisko stimulāciju (TMS);
 - 5) abas – gan redzes, gan TMS maskēšana – ir svarīgi metodiski darbarīki, kas šobrīd tiek izmantoti, lai pētītu redzes apzināšanos. Fakts, ka informācija padarīta nepieejama apzinātam ziņojumam sakarā ar redzes paraugu maskēšanu tomēr var ietekmēt motorisko, izziņas un emocionālo procesu daudzveidību, ir vairākkārtīgi vispāratzīts pēdējo gadu laikā;
 - 6) redzes maskēšana tiek izmantota klīnisku anomāliju pētījumos, kas saistīti ar redzes un smadzeņu funkcijām, tādām kā ambliopija, Parkinsona slimība, disleksija, šizofrēnija, kā arī specifisku subjektu populācijām. Tādēļ redzes maskēšana var nodrošināt labāku uztveres anomāliju izpratni un rādītājus jebkurā no šīm subjektu populācijām.

[16]

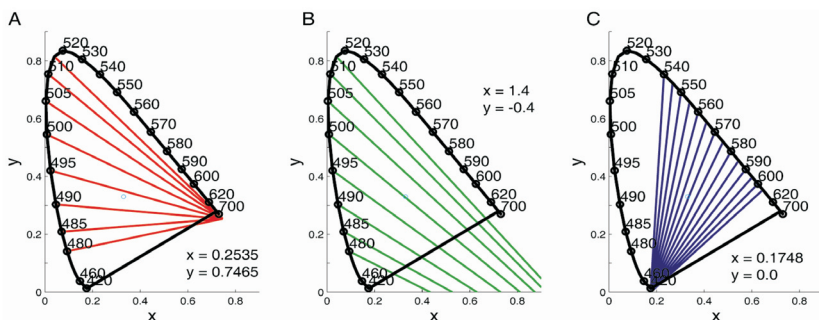
1.4. Krāsu redzes traucējumi

Normālas krāsu redzes gadījumā krāsu sajūta veidojas no trīs pigmentu tipiem attiecīgajās vāļītēs (trihromātiskā krāsu redze). Gadījumos, kad trūkst kāds no pigmentiem, sajūta veidojas no paliekošiem pigmentu tipiem, ko sauc par dihromāziju. Dihromātiskas krāsu redzes gadījumā trūkst viens no vāļišu fotopigmentiem: deiteranopam – M vāļišu pigments, protanopam – L vāļišu pigments, bet tritanopam – S vāļišu pigments. Dihromāzijas aizstāšanas modelis (attiecināms uz deiteranopiju un protanopiju) paredz iztrūkstošā fotopigmenta aizstāšanu ar citas klases fotopigmentu. Ja dihromāziju pieņemtu kā zaļo (M)

vai sarkano (L) gaismas viļņu jutīgo vālišu iztrūkumu, tad dihromāti uzrādītu klīniski izteiktu redzes asuma pazemināšanos.[17]

Anomāliem trihromātiem arī ir divi fotopigmenti, bet vienam no pigmenta tipiem ir ģenētiska modifikācija, kuras rezultātā rodas tikai neliela spektrālā atšķirība, kas izpaužas mazākā krāsu redzes traucējumā salīdzinājumā ar dihromāziju. [17]

Cilvēkam līdz ar kāda pigmenta iztrūkumu mainās arī viļņu garumu izšķiršana, ko var attēlot CIE x, y krāsu diagramma. Līnijas attēlā 1.1. ir zināmas kā konfūzijas līknes. Cilvēkam ar noteiktu krāsu redzes traucējumu ir grūtības atšķirt krāsas, kas atrodas uz attiecīgajam līknēm. Šīs krāsas tiek izmantotas krāsu redzes testos. Principi, ko izklāstījis *Stilling* 1877. gadā, ir izmantoti vairākumā pseidoizohromatisko testu dizainā (*Rabkin, Ishihara, HRR, Cambridge Colour Test*) [17, 18]. Testa fons un apslēptā figūra, kuru krāsas ir piemeklētas pēc konfūzijas līknēm, ir izveidoti no nelieliem plankumiem. Sakarā ar to, ka spožuma uztvere var būt atšķirīga dažādu krāsu redzes traucējumu gadījumos, dažādiem plankumiem ir dažādas spožuma pakāpes, kas ienes spožuma troksni attēlā, un tas nevar tikt izmantots kā īpašība apslēptas figūras pamanīšanai. [18]



Attēls 1.1. Dihromātu konfūzijas līnijas un to konverģences punkti CIE x,y diagrammā (A) protanopam, (B) deiteranopam, (C) tritanopam [18].

1.5. Krāsu pēcefekts

Krāsu pēcefekta veidošanās ir viens no būtiskiem fenomeniem, kas palīdz izprast krāsu redzi. Pēcefekts veidojas, ilgāku laiku (vismaz 30 sekundes) aplūkojot krāsainu stimulu ar augstu piesātinājuma pakāpi. Krāsu pēcefekts ir cieši saistīts ar krāsu adaptāciju. Adaptācija ir attiecināma uz krāsu selektīvo neironu jutības pazemināšanos, ilgāku laiku aplūkojot doto stimulu. Pēcefekta rezultātā ir novērojama papildkrāsas (komplementārās krāsas) parādīšanās uz

neitrāla (balta, pelēka) testa laukumā. Piemēram, stimulējot tikleni ar piesātinātu sarkanās krāsas stimulu, pēc ilgākas iedarbības, L+M- oponentās šūnas tiklenē kļūst mazāk jutīgas, bet attiecīgās M+L- šūnas šajā stimulācijas periodā tiks nomāktas. Parasti, fiksējot skatu uz baltu stimulu, L+M- un M+L- šūnu atbilde ir līdzsvarā. Šajā gadījumā, kad sarkanais stimulants tiks aizstāts ar baltu laukumu, L+M- šūnas būs mazāk jutīgas uz baltu stimulu kā parasti, bet M+L- šūnas pēc ilgāka nomākuma dod stiprāku atbildes reakciju, un uz baltā fona ir redzams zaļās krāsas pēcefekts, kas ir pigmenta izbalēšanas un *post* receptoru tīkla izraisītais sekas.[14]

1.6. Aizpildījums

Vizuālās informācijas uztveres procesā bieži novēro dažādus fenomenus un ilūzijas. Iepriekš minētais pēcefekts ir cieši saistīts ar aizpildīšanas (*filling-in*) procesu, kas ir saistīts ar neapzināto iztrūkstošās informācija aizpildīšanu [8]. Salīdzinājumā ar pēcefektu, kas rodas ilgstoši (vairāk kā 30 s) novērojot krāsaino virsmu un pamatā ir balstīts uz pigmentu izbalēšanu, aizpildījums ir neirāls process [6, 10]. Pētījumā tiek izmantots stimulants, kas uz īsu laiku ar krāsainu objektu stimulē tiklenes apgabalu, pēc kā seko objekta kontūras, kas tiek aizpildītas ar pretējo krāsu. Šāds eksperiments sniedz informāciju par pēcefekta krāsām, kurām ir neirāla daba, par ko liecina arī pēcefekta krāsas maiņa, mainot objekta kontūras. Diemžēl pēcefekta krāsu nevar noteikt tiešajā piemeklēšanas veidā, jo stimula laiks ir īss, līdz ar to tā salīdzināšana vai aprakstīšana ir apgrūtināta. Lai spriestu par aizpildīšanas procesā iegūtām krāsām, tika piedāvāta metodika, kurā izmantoti divu krāsainu stimulu pāri un noteikts šo hromatisko pāru veidoto pēcefektu stiprums. Mūsu hipotēze ir sekojoša – katrai no papildkrāsām eksistē arī krāsa, kura to veido (pēcefekta gadījumā), līdz ar to šo krāsu pāris veido spēcīgu (izteiktu) pēcefektu mūsu eksperimentā. Ja krāsas nav papildkrāsas, tas veido vājāku pēcefektu.

2. TEKSTŪRU ATPAZĪŠANAS EKSPERIMENTI

2.1. Uztveres treniņi ar tekstūru atpazīšanas uzdevumu

Eksperimentā piedalījās 15 dalībnieki, kuru vecums ir robežās no 20 līdz 24 gadiem (vidējais vecums $21,3 \pm 1,4$ gadi). 10 no tiem pildīja eksperimentu ar krāsainiem stimuliem, 5 ar melnbaltiem stimuliem. No 10 dalībniekiem, kas pildīja eksperimentu ar krāsainiem stimuliem, 5 dalībniekiem bija sarkani-zaļš stimuluss un 5 dalībniekiem bija zili-dzeltenš stimuluss.

2.1.1. Stimuls un metode

Pētījumā kā stimuluss tiek izmantots Gabora režģis. Stimula svarīgākās īpašības ir krāsa, kontrasts, izmērs, virziens un ātrums, kādā tas tiek rādīts eksperimenta laikā. Šajā eksperimentā mainīgs lielums ir ātrums un kontrasts. Ātrums mainās vienādi visiem dalībniekiem, taču kontrasts mainās katrā grupā.

Izvēlēto stimulu kontrasti tika aprēķināti izmantojot Maikelsona formulu: $C_M = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$. Melni-baltā stimula kontrasts ir $94,6\% \pm 3,38\%$, zili-dzeltenā ir $67,4\% \pm 0,47\%$, sarkani-zaļā ir $47,1\% \pm 0,26\%$. Samazinoties kontrastam, samazinās arī acs izšķirtspēja. Fona spožums ir $68,47 \pm 0,16$ cd/m². Atšķirīgi kontrasti izvēlēti, lai pārlicinātos, vai stimulu kontrasts ietekmē šo eksperimentu un tā rezultātus.

Stimuliem ir 2 dažādi rādīšanas virzieni: taisnais un slīpais (sk. 2.1. attēlu). Slīpais virziens var būt noliekts pa labi vai pa kreisi. Iespējamās stimulu kombinācijas ir četras: labajā pusē taisnais stimuluss, kreisajā slīpais, kas noliekts pa labi; labajā pusē taisnais stimuluss, kreisajā slīpais, kas noliekts pa kreisi; kreisajā pusē taisnais stimuluss, labajā slīpais, kas noliekts pa labi; kreisajā pusē taisnais stimuluss, labajā slīpais, kas noliekts pa kreisi (sk. 2.1. attēlu). Šajā eksperimentā dalībniekam jānosauc, kurā pusē atrodas slīpais stimuluss.

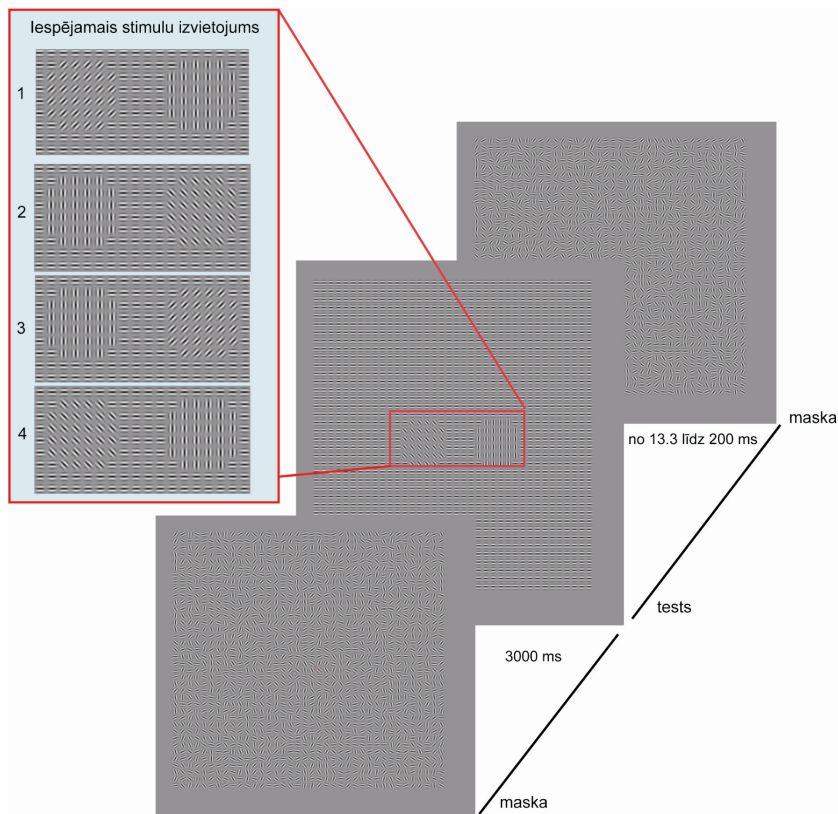
Katra stimulu veidojošā detaļa ir 4,93 x 4,89 mm liela. Viss stimuluss kopā sastāv no 6 šādām detaļām katrā virzienā, un tā izmērs ir 29,56 x 29,31 mm. 60 cm attālumā, kādā sēž dalībnieks, stimula leņķiskais izmērs ir 1,8 grādi. Stimuluss veidots no Gabora režģiem.

Stimuliem ir 15 dažādi rādīšanas laiki, un katram laikam ir 10 rādīšanas reizes. Tātad viena eksperimenta veikšanas reize sastāv no 150 randomizētām stimulu kombinācijām. Rādīšanas laiki ir sākot no 13,33 ms līdz 199,95 ms ar soli 13,33 ms. Laiks starp esošo stimulu un nākamā stimula parādīšanos ir 1500 ms.

Laikā starp nākamā stimula parādīšanos eksperimenta dalībnieks uz ekrāna novēro masku un fiksācijas punktu (sk. 2.1. attēlu). Tika izmantota stimulu un maskas asinhronā parādīšanās (SOA), kā arī priekšlaicīgā maskēšana (*forward*

masking). Stimulam parādoties, šī maska pazūd un fonu veido horizontāli novietotas stimula detaļas (sk. 2.1. attēlu).

Eksperiments realizēts uz *Cambridge Research Systems* stimulu ģenerators *VISAGE*. Divu alternatīvu piespiedu psihofizikālā metode (*2AFC*) tika lietota datu vākšanai. Izmantotā *CRT Samsung* monitora frekvence ir 75 Hz. Šis tehniskais parametrs ir tas, kas nodrošina mūsu gadījumā mazāko pieejamo stimula rādīšanas laiku – 13,33 ms.



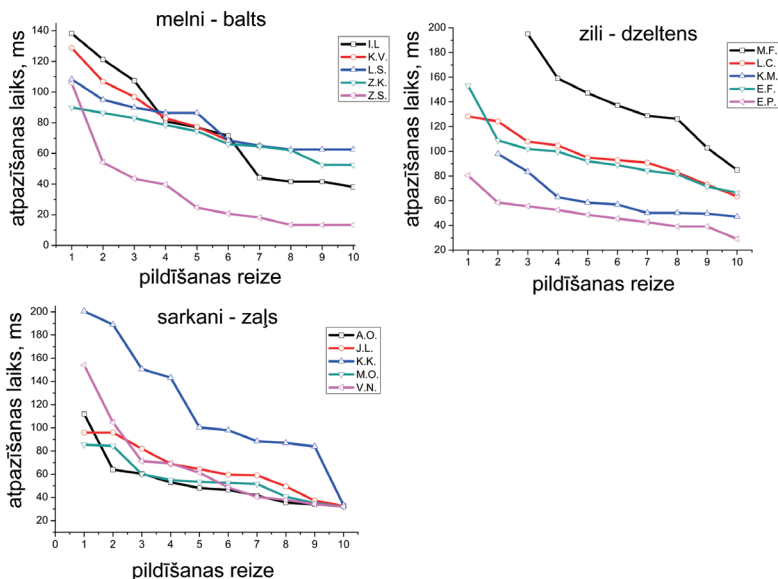
Attēls 2.1. Maskas un stimulu secība. Iespējamās stimulu kombinācijas ir attēlotas sarkanā rāmī.

2.1.2. Rezultāti

Psihometrisko likņu dati tika aprakstīti ar Bolcmaņa sigmoidas funkciju (vienādojums 2.1.), kur kā fiksētās vērtības izvēlētas sākuma vērtība 0,5 un beigu vērtība 1, jo iespēja uzminēt pareizo atbildi ir 50% un maksimālais iespējamais

pareizo atbilžu skaits ir 100%. Ir pieņemts psihometriskās funkcijas 75% uzskatīt par atpazīšanas sliekšni.

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + A_2 \quad (2.1.)$$



Attēls 2.2. Sliekšņa izmaiņas atkarībā no eksperimenta pildīšanas reizes melni-baltajam stimulam, skatoties pēc ekspozīcijas laika izmaiņām, pie kura tiek sasniegts 75% sliekšnis.

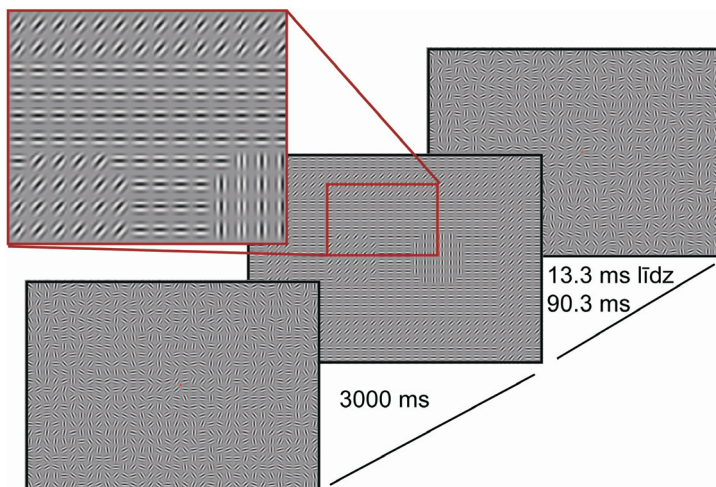
Salīdzinot reakcijas laika izmaiņas visās trīs dalībnieku grupās, var secināt, ka vislielākā vidējā reakcijas laika izmaiņa ir dalībnieku grupā, kas pildīja eksperimentu ar sarkani-zaļo stimulu, kuram ir vismazākais kontrasts. Vismazāk reakcijas laiks mainījies dalībniekiem, kas pildīja eksperimentu ar melni-balto stimulu. Tas varētu būt skaidrojams ar uzdevuma grūtības pakāpi, jo iespējams sākumā, lai pamanītu un reaģētu uz mazāka kontrasta stimuliem, vajadzīgs ilgāks laiks. Šie dati un secinājumi lieliski sasauca ar uzlabojumu pareizo atbilžu skaitā pie mazākiem ekspozīcijas laikiem, jo arī tur vērojams lielākas izmaiņas tieši pie sarkani-zaļa stimula, kuram kontrasts ir vismazākais.

2.2. Konteksta ietekme uz tekstūru atšķiršanas uzdevumu

Trīs personas ar iepriekšējo tekstūru atpazīšanas pieredzi piedalījās eksperimentā. Nevienai no personām nebija vajadzības lietot optisko korekciju. Dalībnieku vidējais vecums 26 gadi \pm 1 gads.

2.2.1. Stimuls un metode

Katrs apaļais testa objekts tika prezentēts 2,76 redzes leņķa grādos. Eksperiments veidots līdzīgi kā iepriekšējā sadaļā 2.1. ar fiksētu kontrastu, pastāvot dažādiem īsiem rādīšanas laikiem. Pateicoties tam, ka visi pētījuma dalībnieki ir pieredzējuši līdzīgu testu pildīšanā, tika izvēlēts šaurāks stimulu rādīšanas diapazons no 13,3 līdz 90,3 ms. Katra stimulu rādīšanas sērija sekoja pēc 3000 ms ilgas pauzes ar randomizētu no Gabora režģiem haotiski veidotu struktūru, kas kalpoja kā maska. Testa rādīšanas laikā perifērijā pa ekrāna perimetru tika izvietoti kolineāri vai ortogonāli orientēti Gabora stimuli (2.3. attēls). Psihometriskā funkcija tika noteikta gadījumos bez kontekstuālas informācija un arī divos konteksta variantos: kolineāra un ortogonāla konteksta.



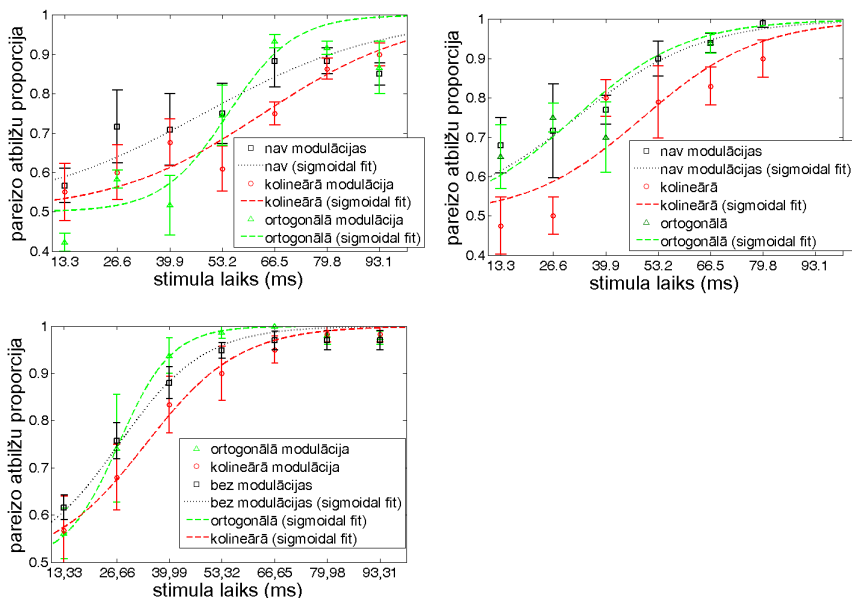
Attēls 2.3. Eksperimentālā secība. Pēc 3000 ms ilgas maskas seko testa stimuls ar diagonāliem un vertikāliem stimuliem, no kuriem jāizvēlas diagonālā objekta atrašanās vieta, nospiežot attiecīgo pogu uz pults. Diagonāls objekts var būt pagriezts par 45 vai 135 grādiem.

2.2.2. Rezultāti

Attēlā 2.4. ir visu trīs dalībnieku psihometriskās funkcijas piedāvātajiem stimulu variantiem (bez modulācijas, kolineāras un ortogonālas perifērās modulācijas). Kolineāra perifērā stimula gadījumā var novērot pareizo

atbilžu samazinājumu pie 53,3 un 66,5 ms visiem eksperimenta dalībniekiem. Ortogonālā stimula gadījumā atbildes ir vai nu tādas pašas kā bez konteksta, vai psihometriskai funkcijai (dalībnieka RP gadījumā) ir ātrāks kāpums.

Divu alternatīvu piespiedu izvēles metodes gadījumā pareizo atbilžu sliekšnis ir 75%, pie kura var noteikt laiku aproksimētām Bolcmaņa sigmoidālām funkcijām. Ortogonālā modulācija augsta kontrasta stimuliem maz atšķiras no gadījuma bez modulācijas. Savukārt kolineāri orientētai modulācijai ir supresējoša darbība. Atpazīšanas sliekšņa vidējās izmaiņas 3 dalībnieku vidū starp kolineāro modulāciju un bez modulācijas ir $26\% \pm 4\%$.



Attēls. 2.4. Psihometriskās funkcijas eksperimenta dalībniekiem (pēc secības RP, SF, LZ).

Eksperimenta mērķis bija noteikt, vai perifēro stimulu rezultātā izmainās centrālā stimula uztvere, ja rādīšanas laiks ir dažāds. Tika atrasts, ka kolineāri orientēti stimuli perifērijā samazina pareizo atbilžu skaitu stimuliem centrā. Bieži vien tas ir spēkā stimuliem ar ekspozīciju diapazonā no 50 līdz 65 ms. Zināmā mērā līdzīgā supresija tika novērota arī *Polat et al* (1998) [1] pētījumos, kur atšķirībā no mūsu pētījuma mainīgais parametrs bija stimulu kontrasts. No šiem darbiem tika secināts, ka stimulācija ārpus receptīvā lauka var gan inhibēt, gan uzlabot uztveres dinamiku centrālajā receptīvajā laukā gadījumā, kad centrālajiem stimuliem ir zemāks kontrasts nekā stimuliem perifērijā [3].

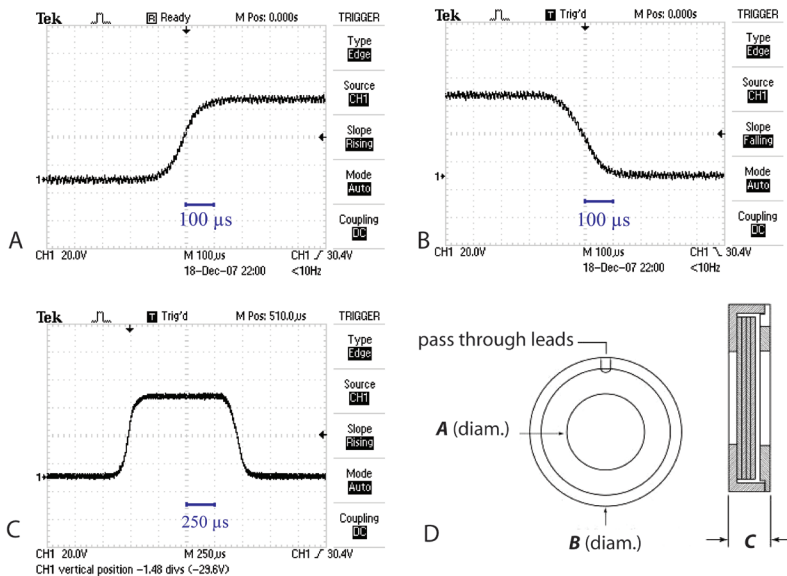
Laikā mainīga stimula gadījumā ir novērota supresija vidējā rādīšanas laikā (53, 65 ms), kad perifērijā parādās kolineāri orientēta virsma. Konteksta izraisīta supresija ir saistīta ar kolineāro perifēro stimulāciju. Ortogonālas perifērās stimulācijas gadījumā supresējoša vai pastiprinoša modulācija netika novērota.

Primārās redzes garoza V1 ir anatomiska struktūra, kas ir cieši saistīta ar vienkāršu stimulu analīzi [3]. Viens no iespējamiem skaidrojumiem par konteksta modulāciju segmentācijas eksperimentos varētu būt īpašo anatomisko savienojumu eksistence starp V1 neironiem, tā saucamās horizontālās saites [19]. Kaut gan tas ir dots stimuliem centrālajā redzē, mūsu pētījumi parāda, ka kavēšana iespējama arī lielākiem stimuliem ārpus centrālās redzes stimulācijas.

2.3. Metodes lietojums ambliopijas pētījumiem

2.3.1. Stimuli un metode

Vecākais un populārākais ambliopijas terapijas veids ir tieša, puscaurspīdīga vai pilnīga labāk redzošās acs aizklāšana (oklūzija). Aizklājot labāk redzošo aci, sasniedz vājās acs pastiprinātu trenēšanu, kas ar laiku uzlabo šīs acs parametrus [20].

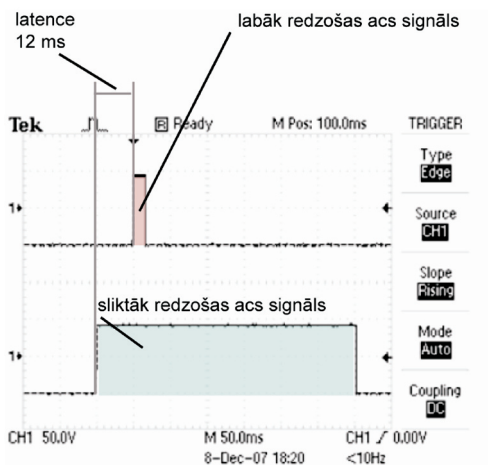


Attēls 2.5. Segnetoelektrisko šķidro kristālu filtru optiskās pārslēgšanās raksturlielumi: kāpuma laiks 200 μs (A); krituma laiks 220 μs (B); viena impulsa garums – 1,25 ms (C). Dati ir iegūti ar Tektronix TDS2024B osciloskopu. D: filtra shematiskais attēlojums un izmēri: A – 25,40 mm (apertūra); B – 37,85 mm (diametrs); C – 6,90 (biezums) [22].

Mūsdienās eksistē metodes, kas izmanto elektroniski vadāmas brilles, ar kurām var uzstādīt oklūzijas laiku un ilgumu. Izraēlas kompānija *Ophthocare* (www.ophthocare.com) piedāvā šķidro kristālu brilles oklūzijas terapijai. Šķidro kristālu filtri ir iebūvēti optiskajās lēcās un ir kontrolējami ar brillēs iebūvēto programmējamo mikročipu. *Ophthocare* brilles ļauj mainīt oklūzijas laiku, sākot no 5 sekundēm [21].

Izveidotajās brillēs mēs izmantojām *Displaytech* (www.displaytech.com) šķidro kristālu filtrus (ŠKF). Tiem ir laba spektrālā caurlaidība redzamā spektra diapazonā un arī lietderīgs dizains.

Atšķirībā no tekstūras uzdevumiem tika izvēlēts vieglāk pamanāms stimuluss – *Snellena* “C” burts uz pelēka fona, kas arī ietver orientācijas maiņas iespējas. Viena stimula leņķiskais izmērs sasniedz 1,5 grādus, aplūkojot to 50 cm attālumā no monitora. Eksperimenta dalībniekam tika prezentēti divi stimuli, no kuriem bija jāatšķir pa diagonāli pagrieztais stimulss. Veikti manuālās reakcijas laika pieraksti, un uzņemta psihometriskā funkcija pie 10 dažādiem stimula rādīšanas laikiem no 15 līdz 150 ms, mērot katru no laikiem 10 reizes. Sliktāk redzošā acs bija atvērta visu eksperimenta laiku, bet labāk redzošā acs tika atvērta katrā mērījuma sākumā uz 10, 7,5, 5, 2,5 un 1,25 ms.



Attēls 2.6. Iekārtas darbības princips. Impulsi izmērīti ar *Tektronix TDS2024B* osciloskopu.

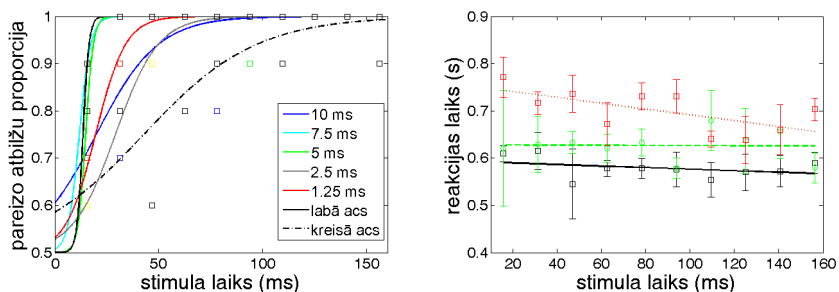
2.3.2. Eksperimenta dalībnieks

Lai pārbaudītu metodiku un tās efektu, tika pieaicināts redzes aprūpes speciālists ar anizotropijas ambliopiju kreisajā acī (vecums 33 gadi).

Noskaidrotais redzes asums labajā acī ir 1,0, un kreisajā acī redzes asums sasniedz tikai 0,35 vienības. Eksperimenta dalībnieks ātri saprata uzdevumu un bija motivēts piedalīties eksperimentā.

2.3.3. Rezultāti

Tika veikti manuālā reakcijas laika pieraksti pie katra stimula rādīšanas laika un arī aprēķinātas pareizo atbilžu proporcijas (psihometriskā funkcija) no vairākiem mērījumiem. Psihometriskās funkcijas katram signālam ir parādītas attēlā 2.7. (pa kreisi). Melnā raustītā līnija apraksta atbildi, ko dalībnieks sniedz, pildot eksperimentu tikai ar kreiso (slīptāk redzošo) aci un melnā nepārtrauktā līkne parāda atbildes, kuras sniegtas pildot uzdevumu ar labāk redzošo aci. Vislabākais izpildījums ir novērojams pie palīgimpulsiem 7,5 ms un 5 ms. Īsie impulsi (1,25, 2,5 ms) un garākais impulss (10 ms) uzlabo atpazīšanu, bet uzlabojums nenodrošina viennozīmīgu uzlabojumu. Atpazīšanas sliekšnis stimula laikā kreisajai acij ir aptuveni 50 ms, tajā pašā laikā labās acs atpazīšanas sliekšnis sasniedz savu maksimālo vērtību 16 ms, arī izmantojot 5 un 7 ms garus impulsus.



Attēls 2.7. Psihometriskā funkcija pie dažādiem impulsiem labāk redzošai acij (pa kreisi). Reakcijas laiks, pildot eksperimentu tikai ar labo aci (melnā līnijas un punkti), tikai ar kreiso aci (sarkanā līnija un punkti), abas acis pie impulsa 5 ms labajai acij (zaļā līnija un punkti).

Novērots uzlabojums arī reakcijas laikos. Attēlā 2.7. (pa labi) ir parādītas vidējās RL vērtības trīs gadījumiem: labajai acij, kreisajai acij un pildot uzdevumu pie impulsa 5 ms. Pildot uzdevumu ar labo aci, dalībnieka vidējais reakcijas laiks ir 580 ms. Izmantojot eksperimenta veikšanai tikai kreiso aci, RL mainās no 750 ms pie ātrām stimula ekspozīcijām līdz 670 ms pie ilgākām ekspozīcijām. Zaļā līnija attēlā 2.7. (pa labi) parāda reakcijas laiku pie impulsa 5 ms. Kaut gan RL nesasniedz rezultātus, ko esam ieguvuši, skatoties ar labo aci, ir novērojams liels RL uzlabojums, kas pie īsiem stimula rādīšanas laikiem ir aptuveni 100

ms un pie gariem stimula laikiem ir ap 30 ms (spriežot pēc lineārām regresijas funkcijām).

Binokulārās mijiedarbības pētījumi parasti norāda uz nelielu redzes asuma uzlabojumu ambliopajā acī pēc redzes treniņiem [23]. Pieraksti no pērtiķu V1 garozas kompleksām šūnām uzrādījuši spēcīgu ierosinājuma samazinājumu temporālam stimulam anizotropas ambliopijas gadījumā [24]. Kā rāda pēdējie redzes izraisīto potenciālu (*visual evoked potential*) pētījumi, anizotropas ambliopijas gadījumā izraisīto potenciālu intensitāte samazinās vairāk nekā divreiz. Savukārt signāla kavējums (jeb latence) sasniedz 25 ms, salīdzinot ambliopās acs potenciālus ar veselas acs datiem [25].

Ātras darbības brilles, kas palīdz kontrolēt acīs nonākošos gaismas signālus, var izmantot kompensējošo signālu rādīšanai ambliopā redzes sistēmā, tādā veidā panākot uztveres uzlabojumu.

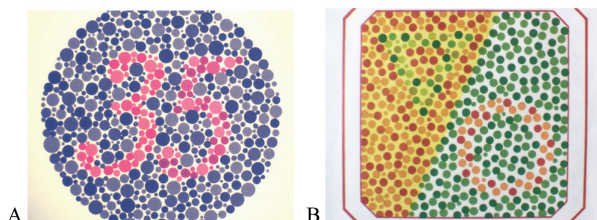
2.4. Secinājumi

1. Eksperimentāli noteikts atpazīšanas laika sliekšnis teksturētiem stimuliem (leņķiskais izmērs 1,8 grādi, kontrasta vērtības: 95% (melni-baltajiem), 47% (sarkani-zaļajiem) un 67% (zili-dzeltenajiem)), tos demonstrējot uz neitrāla fona laika robežās no 13 ms līdz 200 ms. Konstatēts ievērojams (aptuveni divas reizes) atpazīšanas sliekšņa uzlabojums treniņu rezultātā, kas visvairāk izpaužas mazāka kontrasta sarkani-zaļajiem stimuliem.
2. Ja tekstūru atpazīšanas uzdevumu izpilda pieredzējuši dalībnieki perifērā stimula klātbūtnē, tad novērots: 1) ortogonāli stimuli perifērijā atpazīšanas laika sliekšni un uztveres dinamiku būtiski nemaina; 2) kolineāri orientēti stimuli perifērijā samazina atpazīšanas laika sliekšni par 26%.
3. Ambliopijas gadījumā noteiktais atpazīšanas sliekšnis sliktāk redzošajā acī ir par 30 ms lielāks nekā labāk redzošajā acī. Demonstrējot dažādi orientētus stimulus ambliopam dalībniekam, lietojot šķidro kristālu segnetoelektriskas slēgbrilles un stimulējot katru aci atsevišķi, tika konstatēts, ka zemsliekšņa stimulācija labāk redzošajā acī (no 1,25 līdz 10 ms) būtiski samazina atpazīšanas sliekšni ambliopajā acī (pie 5 un 7,5 ms ilgas stimulācijas līdzīgs labāk redzošās acs rezultātiem).

3. KRĀSU REDZES TESTU MULTISPEKTRĀLĀ ANALĪZE

3.1. Testi, metodes un analīze

Darbā tika lietotas divu krāsu redzes testu tabulas, kurās izmantoti līdzīgi principi un kuras ļauj atšķirt deiteranopiju no protanopijas. Mēs izvēlējāmies tabulu Nr. 17 no Rabkina testa [26] un Nr. 13 no pieejamā 1965. gada Išihasas testa [27] (attēls 3.1.). Rabkina tests ļauj diagnosticēt anomāliju trijās pakāpēs un Išihasas tests – divās pakāpēs. Šajos testos ir divas aplēptas figūras, viena no tām ir neredzama protanopam un augstas protanomālijas pakāpēs personām (Išihasas testā ‘pieci’ un Rabkina testā ‘riņķis’), otra figūra ir neredzama deiteranopiem un augstas pakāpēs deiteranomāļajām personām (Išihasas tests – ‘trīs’ un Rabkina tests – ‘trīsstūris’).

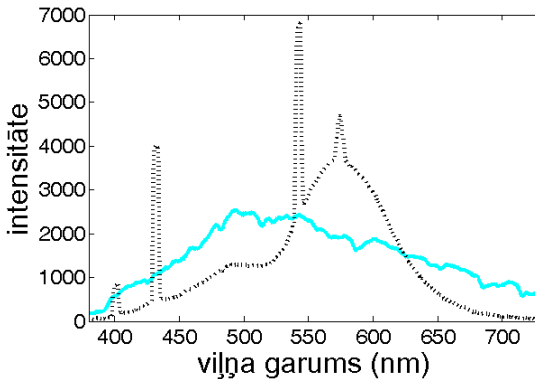


Attēls 3.1. (A) Išihasas testa tabula Nr. 13 un (B) Rabkina testa tabula Nr. 17.
Attēlu RGB variants no CRI Nuance programmatūras.

Multispektrālo attēlu iegūšanai tika izmantota *CRI Nuance Vis 07* kamera ar *Nikon AF Micro-Nikkor 60 mm f2.8D* objektīvu, kas uzmontēts mikroskopa vietā. Kamera ļauj nolasīt telpisko attēlu 1290 reiz 920 pikseļu lielumā spektrālajā diapazonā no 420 līdz 720 nm ar soli 10 nm. Lai izvairītos no spožuma izmaiņām, ko ienes objektīvs, lietots korekcijas koeficients. Baltā etalona atstarošanas spektri nolasīti ar *Ocean Optics USB 400 VIS/IR* spektrometru un ar Nuance kameru, lai ieviestu spektrālās korekcijas koeficientu.

Apgaismojuma izvēlē vadījāmies pēc Išihasas testā minētajiem ieteikumiem, ka testu jāizpilda dienas gaismas apstākļos. Nav ieteicams testu pildīt tiešos saules staros un izmantojot elektriskos gaismas avotus [27]. Savā pētījumā izvēlējāmies izmantot divus gaismas avotus, lai salīdzinātu to ietekmi uz piedāvāto analīzes rezultātu. Pirmajā gadījumā mērījumi veikti dienas gaismā, kas brīvi ienāk pa logiem, bet tiešie stari nekrīt uz testa virsmu, un otrajā gadījumā izmantotas

luminescentās gaismas lampas, kas bija pieejamas mūsu eksperimentālajā telpā Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā. Abu gaismas avotu atstarošanās spektri izmērīti ar *Ocean Optics USB 400 VIS/IR* spektrometru no *CERAM* keramiskā baltā etalona. Tie parādīti attēlā 3.2. Vienas sekundes ekspozīcijas laiks izvēlēts arī multispektrālo attēlu iegūšanai ar *CRI Nuance* kameru.



Attēls 3.2. Atstarošanas spektrs diviem gaismas avotiem. Ar nepārtrauktu līniju apzīmēts dienas gaismas atstarošanas spektrs un ar raustītu līniju attēlots luminescento lampu atstarošanas spektrs.

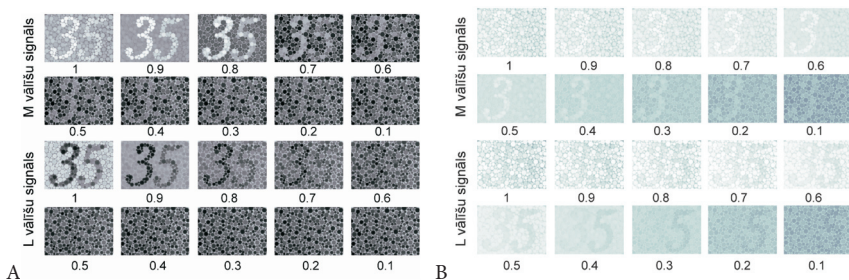
Saskaņā ar to, ka protanopijas gadījumā iztrūkst L vāļītes un deiteranopijas gadījumā iztrūkst M vāļītes [28], ierosinām krāsu redzes anomālijas (A) aprakstam izmantot šādu izteiksmi:

$$A = aL - bM, \quad (3.1)$$

kur a , b ir robežās no 0 līdz 1. Deficītu gadījumā a vai b ir vienādi ar 0. Konkrētā pieeja ir atspoguļota attēlā 3.3. A. Tomēr nebijām pārliecināti par to, kādā veidā S vāļīšu signāls sniedz ieguldījumu kopējā signālā apstrādē, tāpēc mēģinājām pārbaudīt, kā S signāls ietekmēs piedāvātā risinājuma rezultātu (vienādojums 3.2). Šajā gadījumā vienādojums 3.1. pārtop par

$$A = aL - bM - S, \quad (3.2)$$

kad S vienmēr ir pilns signāls (jeb normalizēts pret vieninieku). Piemēram, ja L signāls ir 0, vienādojums 3.2 pieņem formu M-S. Kā rāda grafiskais atspoguļojums attēlā 3.3. B, tāda veida pieeja ir pamatota, kam skaidrojumu ir iespējams atrast arī literatūrā [29].

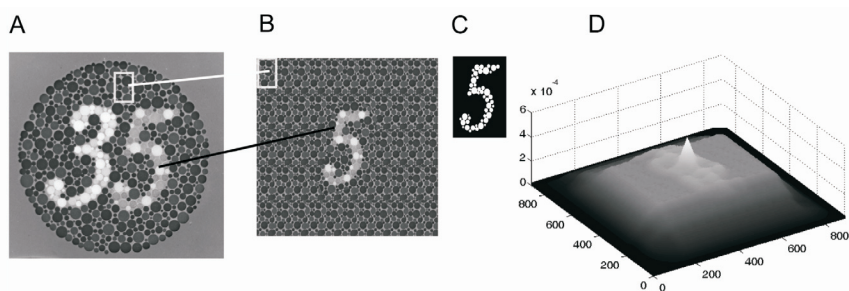


Attēls 3.3. (A) L un M signālu attiecība Išihas testam Nr.13. Pirmā un otrā rinda parāda M signāla samazinājumu (atbilst deiteranopijas traucējumiem) un rindas 3 un 4 parāda L signāla samazinājumu (atbilst protanopijas traucējumiem). (B) L un M signālu attiecības izmaiņas, iekļaujot S vālišu signālu.

Lai kvantitatīvi novērtētu testa izpildījumu pie dažādām vālišu simulācijām, piedāvājam lietot divdimensionālo kroskorelācijas analīzi. Sākumā apslēptās testa figūras kontūras tiek izgrieztas no testa attēla, tad novietotas uz balta fona un pēc tam kontūras aizpildītas ar melno krāsu (attēlā 3.4. C). Augsta kontrasta figūru apzīmēsim ar burtu F (figūra). Pēc tam katrā no simulēto vālišu kombināciju bildēm visos a un b variantos tiek izgriezta apslēptā figūra un apkārt tai pagarināts fons (attēls 3.4. B). Konkrēto attēlu, ko lietošim korelācijai ar F , nosauksim par T (tests). Kross korelācija starp T un F ir šāda:

$$K(i, j) = \sum_{m=0}^{Ma-1} \sum_{n=0}^{Na-1} T(m, n) \otimes (F(m+i, n+j)), \quad (3.3)$$

kur $0 < i < M_a + M_b - 1$ un $0 < j < N_a + N_b - 1$. Skaitļi M_a un N_a vienādojumā 3.3 ir T dimensijas, M_b un N_b attēla F izmēri.



Attēls 3.4. (A) Išihas testa tabula Nr. 13 ar L - 0,7 M signālu attiecību. (B) Apslēptā figūra T ar pagarināto fonu. (C) Augsta kontrasta apslēptā figūra (F), ko izmanto korelācijai ar T . (D) F un T kross korelācijas rezultāts K .

Korelācijas maksimālo vērtību kopā ar pastatnes līmeni, ko rada korelācija ar fonu, var izmantot, lai aprēķinātu kontrastu, kuru var interpretēt kā apslēptās figūras atpazīstamības kritēriju. Vēbera (jeb spožuma) kontrastu izmanto gadījumos, kad neliela izmēra objekti izvietoti uz lielāka izmēra foniem, kas atbilst mūsu uzdevumam. To aprēķina pēc formulas:

$$C_w = \frac{I - I_b}{I_b}, \quad (3.4)$$

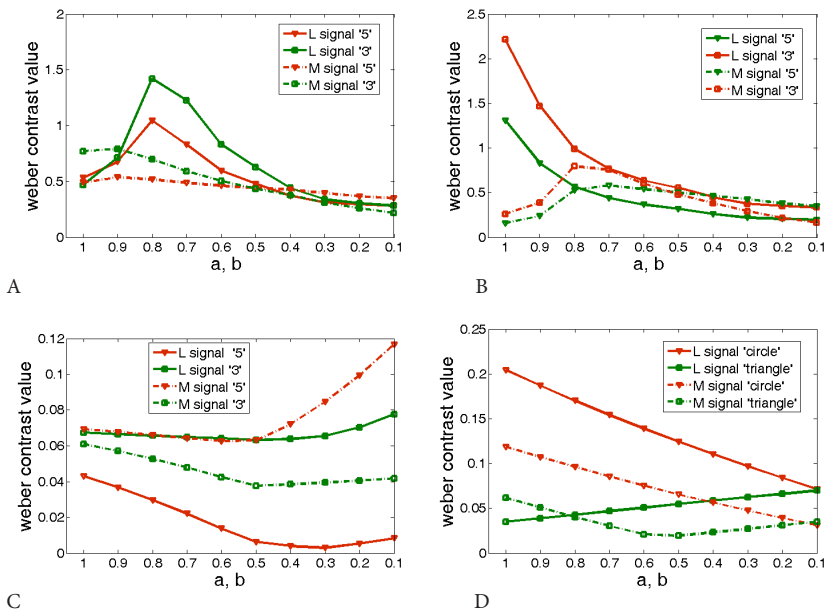
kur I ir objekta spožums, kas mūsu gadījumā ir maksimālā korelācijas vērtība; un I_b ir vidējā vērtība korelācijai vietā, kur F nepieskaras apslēptajai figūrai un veido zemās korelācijas vērtības ar fonu. I_b attēlā 3.4. D ir redzams, kā pelēks viendabīgs fons starp attēla malām un centrālo maksimālo kroskorelācijas punktu.

3.2. Rezultāti

Kroskorelācijas kontrasts

Spožuma kontrasta vērtības tika aprēķinātas korelācijas rezultātiem dažādām a un b (vai L un M) proporcijām (attēls 3.5.). Apstākļos, kad S vālišu signāls netiek iekļauts aprēķinā, Vēbera kontrasta vērtība parasti samazinās kopā ar vālišu signālu. Divas augšējās diagrammas 3.5.attēlā parāda rezultātus Išihas tabulai Nr. 13 dienas gaismā (attēlā 3.5. pa kreisi) un izmantojot luminiscento lampu (attēlā 3.5. pa labi). Abos apgaismojumos latents objekts deiteranopijas traucējumiem ir ar zemāku kontrasta vērtību, pastāvot lielām a un b vērtībām. Korelācijas rezultāts aptuveni sakrīt, kad a un b sasniedz vērtību 0,5 pie dienas gaismā un luminiscentās lampas gadījumā jau sākot no vērtības 0,7.

Iekļaujot kontrasta aprēķinos S vālišu signālu, kopējā aina mainās, ko var redzēt apakšējos grafikos attēlā 3.5. Skaidri redzams, ka izrēķinātās kontrasta vērtības atbilst testa uzdevumam un figūra "3" ir skaidri saskatāma protanopijas traucējumu gadījumā. Savukārt, kad tiek simulēts M vālišu trūkums (jeb deiteranopija), lielāks ir figūras "5" kontrasts. Līdzīgā veidā tika izrēķinātas kontrasta vērtības arī Rabkina 17. tabulas figūrām: trīsstūrim un riņķim (attēls 3.5. B un D). Kaut gan kontrasta vērtības ir lielākas, to sakrītība ar testa uzdevumu nav tik viennozīmīga kā Išihas testam Nr. 13. Kad tiek samazināts L vālišu ieguldījums, riņķa figūra ir skaidri redzama un trīsstūra figūras kontrasts ir krietni mazāks. Iztrūkstot L signālam, abas vērtības kļūst vienādas. Kad tiek samazināts M vālišu signāls, novērojama līdzīga situācija un riņķa figūra ir skaidrāka par trīsstūra figūru. Šī situācija neatbilst testa uzdevumiem deiteranopijas traucējumu diagnostikā, kad trīsstūra figūrai būtu jābūt redzamai.



Attēls 3.5. Spožuma kontrasts kroskorelācijas rezultātiem. (A) un (B) Kontrasta vērtības Işıharas tabulai Nr. 13 bez S vālišu signāla, dienas gaismā (A) un luminiscentās lampas apgaismojumā (B). C: Işıharas tabulai Nr. 13 ar S vālišu signālu dienas gaismā. (D) Rabkina tabula Nr. 17 ar atņemto S vālišu signālu dienas gaismā.

Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka abiem testiem ir tendence uzrādīt lielāku kontrastu protanopijas simulāciju gadījumā. Işıharas testam noteiktās kontrasta vērtības uzrāda daudz vieglāk interpretējamus rezultātus, kas pie L un M proporcijām atbilst testa uzdevumiem. Rabkina testa gadījumā rezultāts ir grūtāk interpretējams un pie M vālišu signāla izmaiņām neatbilst testa uzdevumiem.

Apgaismojuma maiņa veicina izmaiņas noteiktajās kontrasta vērtībās (attēls 3.5. A, B), kas hipotētiski ietekmē testa izpildījuma spējas. Nēoliedzami, apgaismojuma izvēle iespaido arī testa hromatiskā satura kolorimetriskās vērtības.

Jaunā pieeja krāsu redzes testu analīzei palīdz objektīvi raksturot testu izpildījuma efektivitāti bez kliniskajiem pētījumiem, kam ir liela nozīme resursu un laika ekonomijā. Piedāvāto metodi ir iespējams izmantot, lai paredzētu apgaismojuma iespaidu uz testa kolorimetriskiem parametriem un testa diagnostiskām iespējām.

Mūsu pieeju var salīdzināt ar dihromātiskas krāsu uztveres simulācijām [9, 30]. Pētījuma mērķis ir atrast riku testu izpildījuma raksturošanai, kaut gan teorētiski līdzīga pieeja var tikt izmantota dihromātiskas uztveres simulācijai.

Iegūtie rezultāti liecina, ka Išiharas tests Nr. 13 ir piemērots krāsu redzes pārbaudei dienas gaismā. Daudzi citi pētnieki atbalsta Išiharas testa augsto klīnisko efektivitāti un kolorimetrisko vērtību atbilstību testa uzdevumiem [31, 32, 33]. Mēs domājam, ka krāsu koordinātu dispersija Išiharas testā var būt saistīta ar tā vecumu (1965), un jaunākiem testiem būtu novēroti šaurāki sadalījumi. Taču, kā liecina mūsu analīze, krāsu izkliedei nav būtiska iespaids uz testa izpildījumu, salīdzinot ar Rabkina testu, kam noteiktas krāsu izkļedes ir mazākas. Tomēr turpmāki klīniskie un modelēšanas pētījumi būtu nepieciešami, lai izdarītu secinājumus par krāsu izkļedes iespaidu uz testu izpildījumu.

Līdz ar divdimensionālu spektrālo datu pieejamību krāsu redzes testu analīze var tikt veikta uztveres plaknē, pielietojot cilvēkam raksturīgas krāsu redzes īpatnības, piemēram, krāsu adaptāciju un/vai krāsu indukciju [34, 35].

3.3. Secinājumi

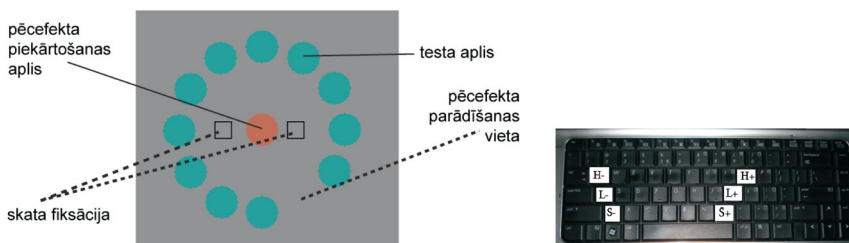
1. Iegūti krāsu redzes traucējumu noteikšanas (poligrāfisko) testu multispektrālie attēli redzamās gaismas spektrā (diapazonā no 420 līdz 720 nm ar soli 10 nm) un 7,7x9,5 grādu telpiskajā leņķī ar pikseļa izmēru 0,1 mm.
2. Simulējot deiteranopu un protanopu acs jutības līknē iztrūkstošo vāļišu tipus un lietojot kroskorelācijas metodi, lai aprakstītu aplēptas figūras redzamību, parādīts, ka dienas gaismā Išiharas tests (Nr. 13) ir pārāks par Rabkina testu (Nr. 17).
3. Piedāvātā analīzes metode ietver apgaismojuma ietekmi un ir izmantojama esošo testu izpētei un jauno krāsu redzes testu izstrādei.

4. PĒCEFEKTA PAPILDKRĀSU NOTEIKŠANA

4.1.1. Metodika un stimulsi krāsu pēcefekta radišanai

Eksperimentā piedalījās 5 dalībnieki – 2 vīrieši un 3 sievietes. Dalībnieku vidējais vecums bija $24,2 \pm 2,3$ gadi. Dalībnieki eksperimentā piedalījās brīvprātīgi. Visi eksperimenta dalībnieki bija bez krāsu redzes anomālijām un defektiem. Netika veikta specifiska dalībnieku atlase.

Izveidotais stimulsi sastāv no 12 aplīšiem, kas izvietoti riņķī, veidojot kombināciju, kas līdzīga pulksteņa ciparnīcai (attēls 4.1.). Stimula fons izvēlēts pelēks (RGB vērtības (128, 128, 128)). Eksperimenta laikā vienlaikus ir redzami 11 no 12 aplīšiem. Viens aplītis visu laiku izzūd un tā vietā redzams pelēkais fons. Pazūdošais aplītis cirkulē pa riņķi. Skata fiksācijai paredzēti divi kvadrāti, kurus fiksē pārmaiņus. Stimula leņķiskie izmēri: aplītis – $0,83^\circ$, no fiksācijas punkta līdz stimula malai – $1,66^\circ$, no ārējā aplīša līdz centra aplīšim (no ārējām malām) – $3,32^\circ$.



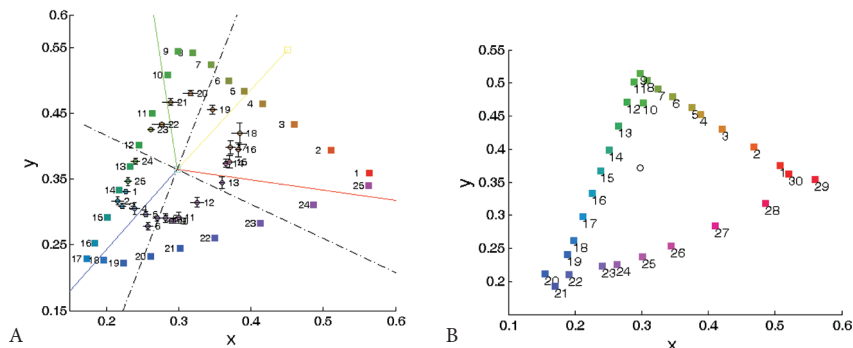
Attēls 4.1. Eksperimenta stimulsi krāsu pēcefekta radišanai un noteikšanai (pa kreisi). Tastatūras pogas pēcefekta krāsas piesaņošanai (pa labi).

Visi 12 aplīši ir vienādā krāsā. Krāsa tiek mainīta HSL krāsu sistēmā, mainot krāsas toni (*Hue*) ar vienādu soli. Kopā ir 30 soļi ar dažādiem krāsas toniēm. Katras krāsas spožums tika pielīdzināts fona vērtībai saglabājot maksimāli iespējamo piesātinājumu. Spožuma vērtības pārbaudītas, mērot stimulus ar kolorimetru *Konica Minolta CS-100A*.

4.1.2. Rezultāti

Piekārtoto papildkrāsu krāsu koordinātes ir attēlotas attēlā 4.2. Neskatoties uz to, ka testa krāsas veido trīsstūra formu, kam par pamatu ir izvēlētais maksimālais piesātinājums, pēcefekta krāsas (jeb papildkrāsas) izveido formu, kas atgādina četrstūri ar noapaļotām malām. Visām papildkrāsām ir zemāks piesātinājums salīdzinājumā ar testa krāsām. Katrai no krāsām atrastā

papildkrāsa veidojas ar nobīdi no pretējās krāsas. Vistaisnāk izvietotais pēcefekts ir stimulam ar krāsu Nr. 19, 24, kā arī krāsām, kas atrodas šīm krāsām pretējā pusē – Nr. 6 un Nr. 13.



Attēls 4.2. (A) Testa krāsu (kvadrāti) un piekārtoto papildkrāsu (aplīši) koordinātes CIE x,y krāsu diagrammā. Melnās linijas apzīmē svarīgāko mehānismu asis un krāsainās linijas apzīmē unikālo krāsu atrašanās virzienus. Kļūdu robežas katrai piekārtotajai papildkrāsai apzīmē standartkļūdu. (B) Testa stimulu krāsu izvietojums CIE x,y diagrammā eksperimentam 4.2 “Papildkrāsu noteikšana krāsu redzes traucējumu gadījumā”.

4.2. Papildkrāsu noteikšana krāsu redzes traucējumu gadījumā

Eksperimentā piedalījās 3 cilvēki ar krāsu redzes traucējumiem – EL/22, JR/23, JE/62 – un viens kontroldalībnieks bez krāsu redzes traucējumiem – N. Dalībnieku atlase tika veikta, izmantojot *Ishihara* krāsu plates un *Farnsworth D-15* testu.

Veicot *Ishihara* krāsu testu, divi no dalībniekiem (EL un JE) klasificēti kā protanomālie trihromāti, savukārt viens dalībnieks (JR) kā deiteranomālais trihromāts (testu rezultātus skatīt pielikumā).

Dalībnieku EL, JE un JR *Farnsworth D-15* rezultāti apstiprina *Ishihara* testa rezultātus. Turpmāk darbā dalībnieki pēc noteiktā krāsu redzes traucējuma tiek apzīmēti šādi:

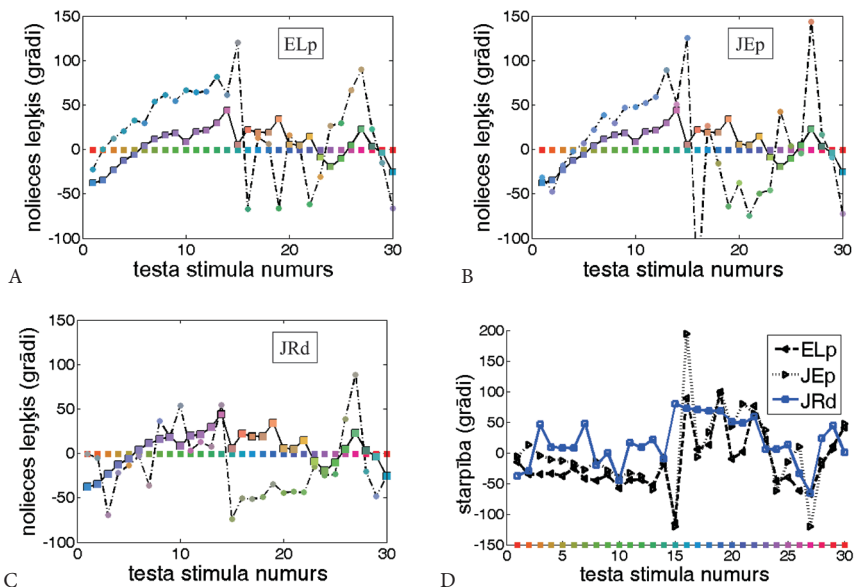
- ELp – protanomālais trihromāts;
- JEp – protanomālais trihromāts;
- JRd – deiteranomālais trihromāts;
- N – trihromāts.

4.2.1. Rezultāti

Lai raksturotu pēcefekta radītās krāsas, izmanto nolieces leņķi. Tas raksturo pēcefekta nobīdi no oponentās krāsas. Ja pēcefekta vērtība, kas vilkta caur centrālo punktu CIE x,y telpā, atrodas lineāri pretī stimula vērtībai (180° no stimula vērtības), tad noliece ir 0° .

Pēcefekta noliece no oponentās krāsas novērota arī dalībniekam bez krāsu redzes traucējumiem. Lai izvairītos no pārpratumiem, katrā grafikā atliktas arī dalībnieka N pēcefekta leņķiskās nolieces vērtības.

Dalībniekiem ar sarkanās krāsu redzes traucējumiem (ELp, JEp) vislielākā pēcefekta leņķiskā noliece vērojama, izmantojot 16. stimulu (zili-zaļā krāsa). Ir redzams, ka leņķim stimulu zaļajām vērtībām ir tendence pieaugt. Zili sarkanie stimuli izraisa mainīgu leņķisko nolieci (sk. 4.3. attēlu)



Attēls 4.3. Pēcefekta nolieces leņķis CIE x,y krāsu telpā dalībniekiem ar krāsu redzes traucējumiem (EL, JR, JE) un ar normālu trihromātisku krāsu redzi (N).

Kā rāda rezultāti, protanomālijas gadījumā ir redzama stipra pēcefekta krāsu nobīde salīdzinājumā ar normālu krāsu redzi. Abiem protanomāliem eksperimenta dalībniekiem vislielākās pēcefekta nobīdes ir novērojamas dzeltenzaļai, zaļai un zili zaļai krāsai. Sarkanajiem toņiem efekts nav izteikts jeb

atrodas tuvu 180 grādiem (otrajā pusē neitrālajam punktam). Zilām, violetām un rozā krāsām abi dalībnieki ar protanomāliju uzrāda nevienmērīgu (raustītu) pēcefekta leņķa nobīdi. Ir krāsas, ar kurām nobīde ir līdzīga normālai krāsu redzei un uzreiz nākamajai krāsai nobīde stipri atšķiras.

Dalībniekam ar deiteranomāliju ir novērojama pavisam citāda aina. Šajā gadījumā nobīdes lielākai daļai krāsu nav lielas, izņemot stimulus ar krāsu Nr. 5 (dzeltena) un Nr. 15 (zili zaļa), kas ir grūti izskaidrojams, pamatojoties uz pigmentu jutību (M vālišu iztrūkums).

Sprīžot pēc dihromātiskās uztveres simulācijām *Brettel et al* [9], kad simulētajos attēlos zaļie un sarkanie toņi tiek aizstāti ar dzelteniem un ziliem, pētījuma rezultāti parāda līdzīgu ainu. Zaļām un zaļi zilām testa krāsām piemeklētās papildkrāsas ir no diapazona, kuru uztver cilvēki ar krāsu anomālijām vai deficītiem. Dažos gadījumos pēcefekti ir pelēkie toņi vai krāsa līdzīga testam, kas liecina par nespēju šo krāsu aprakstīt. Viens negaidīts rezultāts no mūsu datiem parāda, ka ne vienmēr testa krāsām, kas atrodas uz konfūzijas līknēm, pēcefekti ir ar lielu nobīdes leņķi.

Pētījuma rezultāti atbilst priekšstatiem par dihromātisko krāsu uztveri, ko apliecina pēcefektu izvietošanās zilo un dzelteno toņu virzienos anomālas krāsu redzes dalībniekiem. Pētījumā izmantoto metodiku var attīstīt, lai nākotnē izmatotu krāsu redzes deficītu diagnostikai.

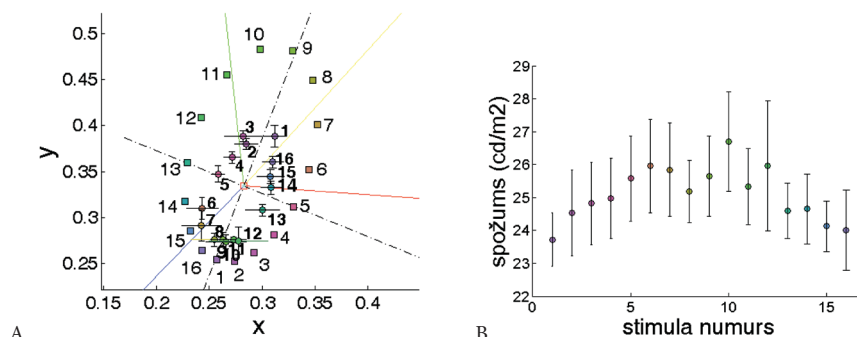
4.3. Pēcefekta noteikšana DKL telpā

Lai spriestu par mehānismiem papildkrāsu veidošanā ar pēcefektiem, tika veikti papildu mērījumi ar stimuliem, kuru krāsas tika izvēlētas no fizioloģiskās krāsu telpas (DKL). Attēlā 4.5. (pa kreisi) kvadrātiem ir parādītas testa krāsas DKL telpā, kur uz x ass ir L-M vālišu signāli un y ass apzīmē S un L+M vālišu savstarpējo procesu. Krāsas DKL telpā tika izvēlētas ar normalizācijas parametriem 0,1 pa x asi un 0,7 pa y asi, lai iekļautos monitora krāsu diapazonā. Attēlā 4.4. ir stimulu krāsas CIE x,y , diagrammā. Neskatoties uz to, ka krāsas veido elipsi, tādas ir bieži lietotas arī citu autoru darbos [36].

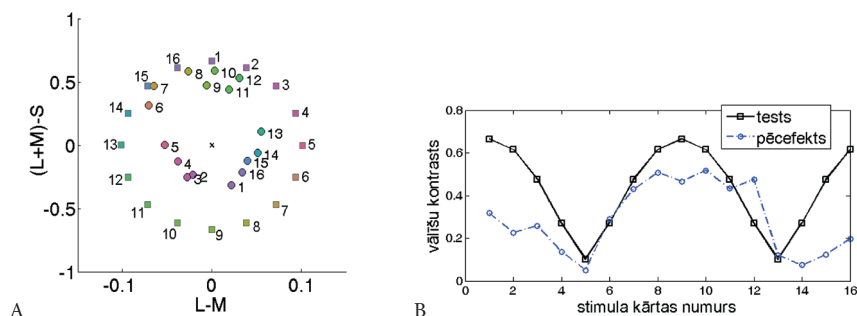
Eksperimentā piedalījās 6 personas ar normālu krāsu redzi vecumā no 20 līdz 28 gadiem – 4 vīrieši un 2 sievietes. Dalībnieki piedalījās vismaz desmit mērījumos katrai testa krāsai.

Attēlā 4.4.(A) parādīta testa krāsa un atrastas pēcefektu vidējās vērtības. Kļūdu robežas apzīmē standartnovirzes. Iegūtie rezultāti ir līdzīgi tiem, kas novēroti eksperimentā 4.1. Pēcefektu spožuma izmaiņas parādītas attēlā 4.4. (B) un liecina par nelielām spožuma variācijām. Lielākas variācijas ir noteiktas dzelteno un zaļo stimulu radītiem pēcefektiem (zils un violets). Zilās un sarkanās

krāsas stimuli veicina pēcefektus ar mazāku spožumu. Tomēr spilgtuma izmaiņas nav būtiskas.



Attēls. 4.4. (A) Visu dalībnieku vidējās vērtības un mērījumu standartnovirzes CIE x, y, diagrammā. Raustītas linijas apzīmē DKL telpas krāsu mehānismu asi. Pilnas linijas apzīmē unikālo toņu virzienus. (B) Pēcefektu spožuma izmaiņas.



Attēls. 4.5. (A) Testa krāsas (kvadrāti) un piemeklētās papildkrāsas (apzīmētas ar riņķiem) DKL telpā (pa labi). (B) Pa labi ir attēlots summārais krāsu mehānismu kontrasts. Līknes ar kvadrātiem apzīmē testa stimulu kontrastu un līknes ar aplīšiem parāda iegūto papildkrāsu kontrastu.

Atšķirībā no 4.1. eksperimenta, pēcefekta noteikšana DKL telpā ļauj novērtēt piesātinājuma izmaiņas, kam ir fizioloģisks pamats. Visvairāk piesātinātos pēcattēlus veido dzeltenās (Nr. 6, 7, 8) un zaļās (Nr. 9, 10, 11, 12) krāsas stimuli, bet rozā un zilās krāsas stimuli veido pēcattēlus ar mazāku piesātinājumu. Vāļišu kopējais kontrasts ir parādīts attēlā 4.5. (B). Piesātinājuma kompresija ir novērojama zilās un violetās krāsas stimuliem (Nr. 1, 2, 15, 16), kas veido dzeltenās un laima krāsas pēcattēlus.

Iegūtie dati atbilst 4.1. nodaļā aprakstītajiem rezultātiem, bet sniedz vērtīgu informāciju par pēcefekta kontrastu katrā no kardinālajiem krāsu virzieniem. Parādītās pēcefektu papildkrāsas kopumā sakrīt ar iepriekšējiem datiem no *Wilson et al* [37]. Atrastais pēcefektu izvietojums DKL telpā saskan ar krāsu kontrasta eksperimentiem, kuros stiprākie kontrasta režģi ir novēroti krāsām tuvu 135 grādiem [38]. Līdzīgi kā *Switkes* eksperimentā mūsu gadījumā ir parādīts, ka ir nepieciešami dažāda piesātinājumi krāsainie stimuli, lai radītu vienādi piesātinātus pēcefektus.

4.4. Secinājumi

1. Ir modificēta “*chaser*” redzes ilūzija, lai datorizēti noteiktu krāsu pēcefekta toni, intensitāti un piesātinājumu. Izmantojot vienāda spožuma stimulus, noteikti pēcefekti pieciem dalībniekiem (korelācijas koeficients 0,84).
2. Izmantojot modificēto “*chaser*” redzes ilūziju pēcefekta noteikšanai dalībniekiem ar krāsu redzes traucējumiem, ir konstatētas nozīmīgas atkāpes pēcefektu krāsas zaļi-zilajā un violetajā spektra daļā (Nr. 15, 16 un 27 ar dominantiem viļņa garumiem: 493 nm, 487 nm, 502 nm). Atrastās atšķirības pēcefekta krāsās starp normālo un anomālo krāsu redzi un starp krāsu redzes anomāliju tipiem var kalpot kā krāsu redzes defektu un anomāliju diagnostikas metode.
3. Novērots pēcefekta piesātinājuma mehānisms, kas izpaužas ar nelineāru kompresiju zilo krāsu stimuliem, kuri veido dzeltenus pēcefektus.

5. KRĀSU AIZPILDĪJUMS DAŽĀDAS FORMAS STIMULIEM

5.1. Metodika un stimuli

Eksperimentā piedalījās 4 dalībnieki: 2 vīrieši un 2 sievietes. Dalībnieku vidējais vecums bija 28 gadi. Dalībnieki eksperimentā piedalījās brīvprātīgi. Visi eksperimenta dalībnieki bija bez krāsu redzes anomālijām.

Stimula izvēli noteica eksperimenta vajadzības. Labākos stimulu piemērus mūsu eksperimenta nolūkiem izdevās atrast *Van Lier* darbos, kuros ir aprakstīts arī kontūru aizpildījuma efekts [10]. Lai nodrošinātu pēcefekta krāsas maiņu atkarībā no stimula orientācijas, bija jāizvēlas stimuls, kuru var pagriezt un, pārklājot vienu stimulu ar otru, netiek aizklāta lielākā stimula daļa. Kā rāda *Van Lier et al* [10] pieredze – vislabāk izmantot zvaigznei līdzīgu stimulu (attēls 5.1.). Stimulus ar četriem stūriem ir viegli pārklāt un, „pagriežot tos par 45 grādiem, nenotiek pārklāšanās. Eksperimenta nolūkiem tika izvēlēti divu tipu stimuli: stimuls ar asiem stūriem un stimuls ar noapaļotiem stūriem (attēls 5.1.).

5.2. Eksperimenta uzbūve

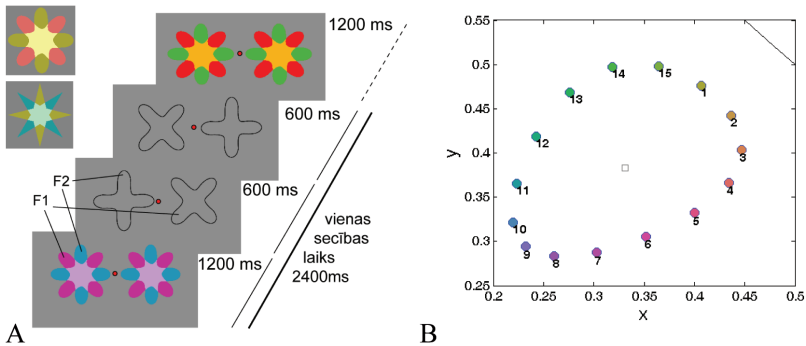
Eksperimenta stimuls sastāv no četrām zvaigznēm. Divas no figūrām atbilst krāsai K1 un divas citas figūras atbilst krāsai K2. Figūru pāri izvietoti uz abām pusēm no fiksācijas punkta. Figūra ar krāsu K1 ir orientēta taisnā leņķī (stari izvietojas uz 0 un 90 grādiem) un figūra ar krāsu K2 ir izvietota slīpā leņķī (45 un 135 grādi). Gan pa labi, gan pa kreisi figūras ar K1 un K2 ir pārklātas.

Eksperimenta laikā 1200 ms vienlaikus parādās visas četras figūras. 600 ms kreisajā pusē parādās figūras F1 melnās kontūras (90 grādi), labajā pusē – figūras F2 melnās kontūras (45 grādi). Nākamajās 600 ms kontūras labajā un kreisajā pusē mainās vietām. Veicot eksperimentu, rodas sajūta, ka krāsu aizpildījumi figūrām ar K1 un K2 maina puses. Vienas figūras leņķiskais izmērs ir $1,9^\circ$ grādi un tās attālums no centra līdz ārējai figūras malai – $2,1^\circ$.

Eksperiments sastāv no sērijas, kurā krāsas K1 un K2 tiek mainītas pēc šāda principa – stimuls ar krāsu K1 paliek nemainīgs visas sērijas laikā, krāsa K2 tiek mainīta no pirmās līdz piecpadsmītajai un noteikti aizpildīšanas efektu lielumi. Kad eksperimenta dalībnieks ir sniedzis vērtējumus visiem K2 stimuliem ar fiksētu K1, tiek nomainīts K1 un eksperiments turpinās tālāk. Vienā reizē tika pārbaudītas 15 x 15 krāsu pāru kombinācijas. Eksperimenta dalībnieki ir atkārtējuši eksperimentu 5 reizes.

Eksperimenta dalībnieks sēž pie galdā, monitors noregulēts tā, lai tas būtu perpendikulārs redzes asij. Attālums no acs līdz monitoram ir 50 cm. Dalībniekam tiek demonstrēts, kā ar pogu palīdzību iespējams mainīt stimulu krāsu (K1, K2) un novērtēt rādītā aizpildījuma stiprumu skalā no 1 līdz 10.

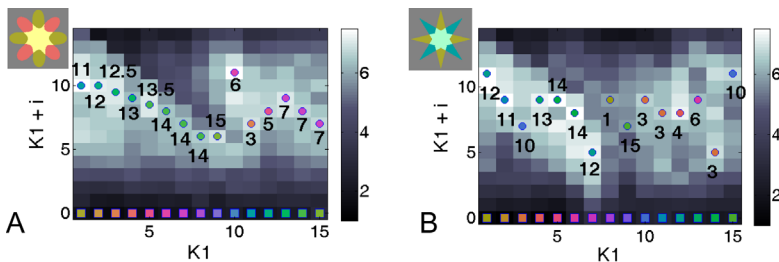
Stimula pelēkā fona spožums atbilst vērtībai 19 cd/m^2 , kas RGB vienībās ir (130,130,130), ar CIE x,y koordinātēm $x=0,33$, $y=0,37$. Visas K1 krāsas tika izvēlētas CIELAB krāsu telpā no apla ar rādiusu 40 vienības. Stimula krāsu koordinātes ir parādītas attēlā 5.1. B.



Attēls 5.1. (A) Eksperimenta stimuls krāsu aizpildījuma stipruma noteikšanai. Pētījums veikts stimuliem ar apaļiem un asiem stūriem (augšā) (B) Eksperimentam izvēlētas stimulu krāsas CIE x,y krāsu diagrammā.

5.3. Rezultāti

Attēlā 5.2. uz x ass ir attēlota 1. stimula krāsas (K1), uz y ass – Δ stimula krāsa (K1+i) – nākamā eksperimenta krāsa no pirmās stimula krāsas (K1).

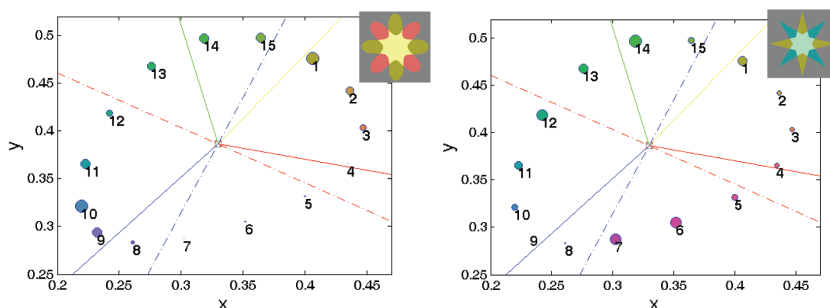


Attēls 5.2. (A) Aizpildījuma stipruma vidējās vērtības stimulam ar apaļiem stūriem. (B) Aizpildījuma stipruma vidējās vērtības stimulam ar asiem stūriem. Uz x ass stimula krāsa (K1), uz y ass stimula K2 krāsa izteikta K1+i. Stimula K2 kārtas numuri ir norādīti katram maksimumam.

Attēlā 5.2. ir attēlots kopējais summārais pēcefekta lielums PS_K dažādām stimula krāsām CIE x,y krāsu diagrammas koordinātēs. Tas ir iegūts, summējot visas normalizētās atbildes (PS), kas ir novērtētas katrai vērtībai K1, visām stimula krāsām K2.

$$PS_K = \sum_{i=1}^{15} PS_{K_i} \quad (5.1)$$

Riņķīšu lielums attēlā 5.3. parāda, kurām krāsām pēc vienādojuma 5.1. stipri aizpildījumi tika veidoti visbiežāk.



Attēls 5.3. Summārais aizpildījuma lielums (PS_k) stimulam ar apaļiem stūriem. Summārais aizpildījuma lielums (PS_k) stimulam ar asajiem stūriem. Raustītas līnijas apzīmē DKL telpas mehānismu asi. Pilnas līnijas apzīmē unikālo toņu virzienus.

Salīdzinājumā ar iepriekšējo pēcefekta pētījumu, dotajā eksperimentā ir izmantots sarežģītāks stimuls, kas veido aizpildījuma fenomenu. Aizpildījums ir saistīts ar smadzeņu garozas procesiem, un eksperimentā izmantotais stimula laiks (1200 ms) ir nepietiekams, lai veicinātu pigmenta izbalināšanos tīklenē [5]. *Capilla* darbos ir parādīta fizioloģisko krāsu telpu atbilstība apstrādes posmiem [39]. Oponento procesu mehānismu telpa [35, 40] fizioloģiski atbilst laterālā ceļgalveida ķermeņa krāsu informācijas apstrādes limenim. Galīgo cilvēka krāsu sajūtu parasti pēta krāsu tīrības (*hue scaling*) eksperimentos, un pētījuma rezultāts ir zināms kā unikālās un fokālās krāsas [36, 41]. Bet hromatiskās informācijas apstrādes mehānismu identificēšana ir apgrūtināta, neskatoties uz V1 zonas neironu hromatiskās jutības elektroфизиoloģiskiem pētījumiem, kam par pamatu ir neizteikta V1 neironu hromatiskās jutības diferenciācija [42]. Dažus gadus iepriekš V4 zonā tika identificētas *glob* šūnas – jutīgas uz unikālām krāsām [43]. Savā eksperimentā mēs centāmies izmantot stimulu, kas atbilstu receptīvajiem laukiem V4 zonā un arī būtu piemērots aizpildījuma novērošanai. Labāko aizpildījumu dati apaļo stūru stimulam ir saistīti ar zaļo (Nr. 14) un

violeto krāsu (Nr. 7). Mūsu iepriekšējā eksperimentā (sk 4. sadaļu) pēcefekta radītajām papildkrāsām ir tendence noliekties arī doto divu asu virzienā. Aizpildījuma eksperimentā ir noteikts, kā pietiekami stiprs aizpildījuma efekts veidojas starp vairākiem krāsu pāriem, kas nav papildkrāsas.

Galvenais secinājums, kas izriet no pētījuma: aizpildījuma stiprums atšķiras stimuliem ar apaļiem un asiem stūriem, kas rāda, ka stimula forma var ietekmēt aizpildījuma hromatiskās īpašības izmantoto stimulu gadījumā.

5.4. Secinājumi

1. Izveidots stimuluss un metodika kontūru krāsu aizpildījuma (*filling-in between contours*) noteikšanai. Veikti 225 krāsu kombināciju mērījumi stimuliem ar apaļiem un asiem stūriem tiklences hromatiskā stimulācijā 1200 ms, kurā noteikta krāsu pēcefekta aizpildījuma atkarība no stimula stūru tipa.
2. Pirmo reizi parādīts, kā kontūru aizpildījuma pēcefekts izpaužas gan klasiskiem stimulu pāriem (krāsa – papildkrāsa), gan arī citām krāsu kombinācijām (X1=1 ar X2=7, 11; X1=10 ar X2=4, 6, 12).
3. Apaļo stūru stimuliem pēcefekta krāsas sakrīt ar modificētās “*chaser*” ilūzijas eksperimenta rezultātiem, uzrādot izteiktas pēcefekta asis (stimuli Nr. 7 un Nr. 14) krāsu telpā.

AIZSTĀVĀMĀS TĒZES

1. Tekstūru atpazīšanas uzdevumos ir parādīts, ka ortogonāli stimuli perifērijā atpazīšanas laika sliekšni un uztveres dinamiku būtiski nemaina, bet kolineāri orientēti stimuli perifērijā samazina atpazīšanas laika sliekšni vidēji par 26%.
2. Demonstrējot dažādi orientētus stimulus ambliopam dalībniekam, lietojot šķidro kristālu segnetoelektriskas slēgbrilles un stimulējot katru aci atsevišķi, konstatēts, ka zemsliekšņa stimulācija labāk redzošajā acī (no 1,25 līdz 10 ms) būtiski uzlabo atpazīšanas sliekšni ambliopajā acī (5 un 7,5 ms stimulācijā līdzīgs labāk redzošās acs rezultātiem). Uzlabojuma efekts novērots arī reakcijas laikam. (P2)
3. Simulējot deiteranopu un protanopu acs jutības liknē iztrūkstošo vālišu tipus un lietojot kroskorelācijas metodi simulētājiem attēliem, parādīts, ka dienas gaismā Išiharas tests (Nr. 13) pārspēj Rabkina testu (Nr. 17). Piedāvātā analīzes metode ietver apgaismojuma ietekmi un ir izmantojama esošo testu izpētei un jaunu krāsu redzes testu izstrādei. (P3)
4. Noteiktajos pēcefektos dalībniekiem ar krāsu redzes traucējumiem ir konstatētas nozīmīgas atkāpes pēcefektu krāsās zaļi-zilajā un violetajā spektra daļā (Nr.15, 27 dominantie viļņa garumi: 495 nm un 485 nm). Atrastās atšķirības pēcefekta krāsās starp normālo un anomālo krāsu redzi un starp krāsu redzes anomāliju tipiem var attīstīt kā krāsu redzes defektu un anomāliju diagnostikas metode.
5. Pirmo reizi parādīts, kā kontūru aizpildījuma pēcefekts izpaužas gan klasiskiem stimulu pāriem (krāsa – papildkrāsa), gan arī citām krāsu kombinācijām ($X_1=1$ ar $X_2=7, 11$; $X_1=10$ ar $X_2=4, 6, 12$). Apaļo stūru stimuliem pēcefekta krāsas sakrīt ar papildkrāsu noteikšanas eksperimenta rezultātiem, uzrādot izteiktas pēcefekta asis (stimuli Nr. 7 un Nr. 14) krāsu telpā. (P4)

SECINĀJUMI UN IESPĒJAMIE LIETOJUMI

Treniņi ar teksturētiem īslaicīgiem objektiem būtiski uzlabo atpazīšanas sliekšni un uzrāda arī nelielu reakcijas laika uzlabojumu. Lielākais uzlabojums ir noteikts zemāka spožuma kontrasta stimuliem. Pieredzējušiem (uztrenētiem) dalībniekiem veiktais apkārtesošas stimulācijas eksperiments, uzradījis kolineāri orientēto perifēro stimulu bremsējošo efektu uz centrālā stimula atpazīšanu. Redzes treniņi tika izmantoti formas uztveres uzlabojumiem ambliopijas gadījumā. Mūsu metode pielieto segnetoelekriskās brilles zemsliekšņa stimulācijas nodrošināšanai labāk redzošajā acī, veicot īslaicīgu stimulu atpazīšanas uzdevumu ar ambliopo aci. Ir panākts atpazīšanas sliekšņa uzlabojums ambliopajā acī un piedāvātā metode ir izmantojama turpmākiem klīniskiem pētījumiem.

Piedāvātā krāsu redzes testu analīze, pielieto mašīnu redzes objektu atpazīšanas algoritmus (kroskorelācija), ir izmantojama esošo testu analīzei un ir noderīga jauno testu veidošanā. Metode paredz apgaismojuma ietekmi uz testu diagnostiskām spējām un ļauj izveidot testus piemērotus dažādiem apgaismojuma apstākļiem. No zinātniski pētnieciskā aspekta ir panākts vienkāršs traucētas krāsu redzes simulācijas veids, kā arī metode paver jaunas iespējas krāsu zinātnes jomā ar iespējamiem pielietojumiem krāsu pastāvības, krāsu indukcijas pētījumiem.

Noteiktas pēcefektu papildkrāsa atšķirās cilvēkiem ar normālu un traucētu krāsu redzi. Rezultāti ir iegūti dalībniekiem ar krāsu redzes anomālijām, kas liecina, kā dihromātiskiem pēcefektiem atšķirība būs vēl izteiktāka. Lai to izmantotu klīnikā krāsu redzes traucējumu diagnostikai, būtu nepieciešams būtiski samazināt testu krāsu skaitu, kā arī veikt klīnisko pētījumu, lai noskaidrotu iespējamo atbilžu noviržu robežas.

Aizpildījuma eksperimentā ir noskaidrots, kā objekta formas ietekmē pēcefekta hromātiskās īpašības. Apaļo stūru stimuliem ir noteiktas divas izteiktas krāsas, kuras atbilst noteiktām asīm pēcefekta papildkrāsu pētījumā.

PUBLIKĀCIJAS

1. Zariņa, L., Fomins, S. (2010). Collinear suppression in texture segmentation for temporally modulated stimuli. *Latvian Journal of Physics and Technical Science*, Vol. 47(3), 31–36.
2. Fomins, S., Ozolinsh, M., Krumina, G., Karitans, V. (2008). Ferroelectric liquid crystal glasses for amblyopia research. *Integrated Ferroelectrics*, 103, 10–17.
3. Ozolinsh, M., Fomins, S. (2010). Multispectral color analysis for quantitative evaluation of pseudoisochromatic color deficiency tests. *Proc. SPIE*, Vol. 7845, 78450J; doi:10.1117/12.871846.
4. Fomins, S., Rileyeva-Piskura, N. (2010). Strength judgment of filling-in color illusion. *Latvian Journal of Physics and Technical Science*, Vol. 47(3), 44–50.
5. Fomins, S., Ozolinsh, M. (2010). Multispectral Analysis of Color Vision Deficiency Tests. *Materials Science (Medžiagotyra)*. (in press)
6. Ozolinsh, M., Andersson, G., Krumina, G., Fomins, S. (2008). Spectral and temporal characteristics of liquid crystal goggles for vision research. *Integrated Ferroelectrics*, Volume 103, 1–9.
7. Fomins, S., Reinfelde, M., Larichev, A., Iroshnikov, N., Gerbreders, A., Ozolinsh, M. (2008). Photoinduced AsSeS thin film phase plates as adaptive optics mirrors for eye aberration correction. *SPIE*, Vol. 7142, 71421C.
8. Ozolinsh, M., Colomb, M., Lauva, D., Fomins, S. and Morange, P. (2010). Mesopic vision characteristics at decreased contrast in fog. *Proc. SPIE*, Vol. 7853, 785342; doi:10.1117/12.871838.
9. Ozolinsh, M., Fomins, S., Colomb, M. (2004). Optotypes for human color contrast sensitivity tests. *Proc. OSAV'2004, Optical Sensing and Artificial Vision*, ITMO, Saint Petersburg, Russia, pp. 351–356.
10. Ozolinsh, M., Ikaunieks, G., and Fomins, S. (2005). Color Vision Experimental Studies in Teaching of Optometry. *Proc. „Education and Training in Optics and Photonics.” Pole Optique et Photonique*, Marseille, pp. 295–297.

KONFERENČU TĒZES

1. **29th European Conference on Visual Perception**, Saint Petersburg, Russia, August 20-26, 2006. **Fomins, S., Ozolinsh, M., and Parkkinen, J.** „Search experiments with the blurred color stimuli“, *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 35, p. 87.
2. **30th European Conference on Visual Perception**, Arezzo, Italy, August 27-31, 2007. **Fomins, S., Ozolinsh, M., Ikaunieks, G.** “Temporal stimuli and texture segmentation.” *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 36, p. 44.
3. **30th European Conference on Visual Perception**, Arezzo, Italy, August 27-31, 2007. **Ikaunieks, G., Ozolinsh, M., Fomins, S.** Light-scattering effect on color-pattern VEP response. *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 36, p. 39.
4. **31th European Conference on Visual Perception**, Utrecht, Netherlands, August 24-28, 2008. **Fomins, S.** “Masking study of instant stimuli texture segmentation” *Perception. ECVF Abstract Supplement* 37, p. 80.
5. **32th European Conference on Visual Perception**, Regensburg, Germany, Aug 24-28, 2009. **Ozolinsh, M., Colomb, M., Ikaunieks, G., Fomins, S., Morange, P.** Visual acuity at low illuminance and contrast in fog. *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 38, p. 45.
6. **32th European Conference on Visual Perception**, Regensburg, Germany, Aug 24-28, 2009. **Fomins, S., Zariņa, L.** Segmentation of instant isoluminant chromatic textures. *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 38, p. 54.
7. **32th European Conference on Visual Perception**, Regensburg, Germany, August 24-28, 2009. **Atvars, U., Fomins, S.** Chaser illusion and opponent color aftereffects. *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 38, p.135.
8. **32th European Conference on Visual Perception**, Regensburg, Germany, August 24-28, 2009. **Ozolinsh, M., Fomins, S.** Multispectral analysis of the color deficiency tests and modelling of cones influence on test perception. *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 38, p. 37.
9. **32th European Conference on Visual Perception**, Regensburg, Germany, August 24-28, 2009. **Lauva, D., Ozolinsh, M., Fomins, S.** Modelling of RGB color contribution to visual acuity in conditions of fog evoked decrease of luminance and contrast. *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 38, p. 35.
10. **33th European Conference on Visual Perception**, Lausanne, Switzerland, August 22-26, 2010. **Fomins, S., Rileyeva-Piskura, N.** Strength judgment of filling-in color aftereffect illusion for different shapes. *Perception. ECVF Abstract Supplement*, 39, p. 86.

11. **Functional materials and nanotechnologies (FMNT'07)**, Riga, Latvia, April 2-4, 2007. **Ozolinsh, M., Fomins, S., Ikaunieks, G.** "Eye aberration dynamics studies using Hartman-Shack aberrometer," *Book of Abstracts*, p. 137.
12. **Functional materials and nanotechnologies (FMNT'08)**, Riga, Latvia, April 1-4, 2008. **Fomins, S., Ozolinsh, M., Krumina, G., Karitans, V.** Ferroelectric Liquid Crystal Glasses for Amblyopia Training. *Book of Abstracts*, p. 132.
13. **Functional materials and nanotechnologies (FMNT'09)**, Riga, Latvia, March 31- April 3, 2009. **Fomins, S., Ozolinsh, M.** Multispectral analysis of color deficiency tests and modelling of cone influence on perception of color. *Book of Abstracts*, p.203.
14. **20th symposium of International Color Vision Society (ICVS'09)**, Portugal, Braga, 24 -28 July, 2009. **Martín, I., Fomins, S., Ozolinsh, M.** Multispectral analysis of color deficiency tests and modelling of cones influence on test perception. *Abstract Booklet*, p. 145.
15. **Annual Meeting of Applied Vision Association – 2006 "Vision in Perception and Cognition"**. Bradford University, England, April 4, 2006. **Ozolinsh, M., Ikaunieks, G., Fomins, S., Colomb, M., Parkkinen, J.** Perception of Color Contrast Stimuli in the Presence of Scattering. *Abstracts*, p. 5.
16. **Annual Meeting of European Optical Society**, Paris, France, October, 2006. **Ozolinsh, M., Ikaunieks G., and Fomins, S.** Dynamics of Eye Aberration Detected by High-Speed Hartmann-Shack Aberrometer. *Proceedings*, pp. 92–93.
17. **The 13th AVA Christmas Meeting**, Bristol, December 19, 2008. **Ozolinsh, M., Colomb, M., Ikaunieks, G., Fomins, S. and Morange, P.** Visual acuity at low illuminance and contrast in fog. *AVA meeting abstracts*. p. 25.
18. **AVA 14th Christmas Meeting 2009**, University of Bristol, December 18, 2009. **Ozolinsh, M., Fomins, S., Colomb, M.** Quantitative evaluation of Ishihara and Rabkin color deficiency tests using multispectral color analysis. *AVA meeting abstracts*, p. 29.
19. **Advanced Optical Materials and Devices (AOMD-06)**, Riga, Latvia, August 24-27, 2008. **Fomins, S., Ozolinsh, M., Krumina, G., Karitans, V.** Ferroelectric liquid crystal glasses for vision research. *Programme and Abstracts*, p. 88.
20. **Advanced Optical Materials and Devices (AOMD-06)**, Riga, Latvia, August 24-27, 2008. **Sarakovskis, A., Grube, J., Dimitrocenko, L., Fomins, S., Springis, M.** Up-conversion luminescence studies on Er³⁺, Yb³⁺ and

- Tm³⁺ doped oxyfluoride glass and glass ceramics. *Programme and Abstracts*, p. 51.
21. **Development in Optics and Communications (DOC'06)**, Riga, April 28-30, 2006. **Fomins, S., Karitans, V., Ikaunieks, G., Ozolinsh, M.** Saliency based visual attention and the visual search task. *DOC'06 Abstracts*, p. 30–32.
 22. **Development in Optics and Communications (DOC'08)**, Riga, April 28-30, 2008. **Fomins, S.** Masking study of instant stimuli texture segmentation. *Abstracts*, p. 5.
 23. **Development in Optics and Communications (DOC'09)**, Riga, April 24-26, 2009. **Fomins, S., Ozolinsh, M., Atvars, U.** Multispectral analysis of the color deficiency tests and modelling of interpretation by trichromat color systems. *Abstracts*, p.43–44.
 24. **Development in Optics and Communications (DOC'09)**, Riga, April 24-26, 2009. **Atvars, U., Fomins, S.** Chaser illusion and opponent color after-effects. *Abstracts*, p. 45.
 25. **Development in Optics and Communications (DOC'10)**, Riga, April 23-25, 2010. **Fomins, S., Rileyeva-Piskura, N.** Chromatic aftereffect strength for different shapes. *Abstracts*, p. 29.
 26. **Development in Optics and Communications (DOC'10)**, Riga, April 23-25, 2010. **Zarina, L., Fomins, S.** Collinear suppression in texture segmentation for temporally modulated stimuli. *Abstracts*, p. 32.
 27. **The 12th International School-Conference “ADVANCED MATERIALS AND TECHNOLOGIES”**, Palanga, Lietuva, August 27-31, 2010. **Fomins, S., Ozolinsh, M.** Multispectral analysis of color deficiency tests and modeling of cones influence on perception of color. *Book of Abstracts*, p. 38.
 28. **SPIE/COS Photonics Asia**, Beijing, China, October 18-20, 2010. **Ozolinsh, M., Fomins, S.** Multispectral color analysis for quantitative evaluation of pseudoisochromatic color deficiency tests. *Abstract Summaries*, p. 33.

LITERATŪRA

1. Polat, U., Mizobe, K., Pettet, M.W., Kasamatsu, T., Norcia, A.M. (1998). Collinear stimuli regulate visual responses depending on cell's contrast threshold. *Nature*, Vol. 391, 580–584.
2. Li, Z. (1999). Primary visual cortex as a saliency network for pre-attentive segmentation. In: *3rd Annual Vision Research Conference Pre-attentive and Attentive Mechanisms in Vision*, Florida, USA, May 7–8.
3. Tucker, T.R., Fitzpatrick, D. (2004). Contribution of vertical and horizontal circuits to the response properties of neurons in primary visual cortex. Chalupa, L. M., Werner, J. S. *The visual neurosciences*. Vol. 2. Cambridge, Massachusetts, London, England: A Bradford Book The MIT Press.
4. Wright, W.K. (1955). Pediatric ophthalmology and strabismus. Mosby, pp.45–57.
5. Rushton, W.A.H., Henry, G.H. (1968). Bleaching and regeneration of cone pigments in man. *Vision Res*, 8(6), 617–631.
6. Loomis, J. M. (1972). The photopigment bleaching hypothesis of complementary afterimages: A psychophysical test. *Vision Res*. 12, 1587–1594.
7. Shevell, S.K., St Clair, R., Hong, S.W. (2008). Misbinding of color to form in afterimages. *Vis Neurosci*, 25(3): 355–60.
8. Komatsu, H. (2006). The neural mechanisms of perceptual filling-in. *Nature Reviews Neuroscience* 7, 220-231. Doi: 10.1038/nrn1869.
9. Brettel, H., Viénot, F., Mollon, J.D. (1997). Computerized simulation of color appearance for dichromats. *J. Opt. Soc. Am. A* 14, 2647–2655.
10. Van Lier, R., Vergeer, M., Anstis, S. (2009). Filling-in afterimage colors between the lines. *Current Biology*, 19(8), R323–R324.
11. Felleman, D.J., Van Essen, D.C. (1991). Distributed hierarchical processing in primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex* 1, 1–47.
12. Underleider, L.G., Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. *Analysis of Visual Behavior*, eds Ingle MA, Goodale MI, Masfield RJW (MIT Press, Cambridge, MA), pp. 549–586.
13. Heinrich, S.P., Andrés, M., Bach, M. (2007). Attention and visual texture segregation, *Journal of vision*, Vol.7 (6), 1–10.
14. Palmer, S.E. (1999). *Vision science, Photons to phenomenology*. London, A Bradford Book, The MIT Press.
15. Kashi, R., Pappathomas, T.V., Julesz, B. (2002). Psychophysics and modelling of texture segregation. pp.465-486. Models of the visual system. G.K.Hung, K.J.Cuiffreda. Kluwer academic, New York.
16. Breitmeyer, B.G., Ogmen, H. (2007). Visual masking. *Scholarpedia* – Vol.2(7), pp. 3330.
17. Schwarz, S.H. (2004). *Visual Perception: A Clinical Orientation. Third Edition*. United States of America: The McGraw-Hill, p. 471.

18. Birch, J. (2001). *Diagnosis of defective color vision*. Second edition, Butterworth-Heinemann, Edinburg.
19. Scialfa, C.T., Hamaluk, E. (2001). Aging, Texture Segmentation, and Exposure Duration: Evidence for a Deficit in Preattentive Processing. *Experimental Aging Research*, 27, 123–135.
20. Cuifredda, K.J., Levi, D.M., Selenow, A. *Amblyopia: Basic and clinical aspects*. Boston: Butterworth-Heinemann; 1991.
21. BenEzra, O., Herzog, R., Cohen, E., Karshai, I., BenEzra, D. (2007). Liquid crystal glasses: feasibility and safety of a new modality for treating amblyopia. *Arch Ophthalmol*, 125 (4): 580–1.
22. http://www.displaytech.com/photronics_shutters.html. Displaytech photonic shutters. (2006).
23. Vedamurthy, I., Suttle, C.M., Alexander, J., Asper, L.J. (2007). Interocular interactions during acuity measurement in children and adults, and in adults with amblyopia. *Vision Research*, 47, 179–188.
24. Kiorpes L., Kiper, D.C., O’Keefe, L.P., Cavanaugh, J.R., Movshon, J.A. (1998). Neuronal Correlates of Amblyopia in the Visual Cortex of Macaque Monkeys with Experimental Strabismus and Anisometropia. *The Journal of Neuroscience*, 18(16):6411–6424.
25. Moschos, M.M., Margetis, I., Tsapakis, S., Panagakis, G., Chatzistephanou, I.K., Iliakis, E. (2010). Multifocal visual evoked potentials in amblyopia due to anisometropia. *Clinical Ophthalmology*: 4, 849–853.
26. Рабкин, Е. Б. (1998). *Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения*. (10th ed.). Ю.Сапожков, Минск. [Rabkin, E.B. (1998). *Polychromatic plates for color perception examination*. 10th Edition, Sapozhkov, Y., Minsk].
27. Ishihara, S. (1965). *Ishihara’s test for colour blindness*. Concise Edition], Isshinkai, Tokyo, Japan.
28. Stockman, A., Sharpe, L.T. (2000). Spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype. *Vision Res* 40, 1711–1737.
29. Mancuso, K., Mauck, M.C., Kuchenbecker, J.A., Neitz, M., & Neitz, J. (2010). A multi-stage color model revisited: Implications for a gene therapy cure for red-green colorblindness. In R.E. Anderson, J.G. Hollyfield, & M.M. LaVail (Eds.), *Advances in Experimental Medicine and Biology* (631–638). New York, USA: Springer New York.
30. Capilla, P., Díez-Ajenjo, M.A., Luque, M.J., Malo, J. (2004). Corresponding-pair procedure: a new approach to simulation of dichromatic color perception. *J. Opt. Soc. Am. A* 21, 176–186.
31. Cole, B.L., Lian, K.Y., Lakkis, G. (2006). The new Richmond HRR pseudoisochromatic test for colour vision is better than the Ishihara test. *Clin Exp Optometry* 89(2), 73–80.

-
32. Dain, S.J., Gray, S., Tran, L. (1998). Colorimetric analysis and performance assessment of the Hahn new pseudoisochromatic colour vision test. *Color research and application. Supplement* 23(2), 69–77.
 33. Bailey, J.E., Neitz, M., Tait, D.M., Neitz, J. (2004). Evaluation of an updated HRR color vision test. *Vis Neuroscience* 21, 431–436.
 34. Johnson, G.M., Fairchild, M.D. (2003). Visual psychophysics and color appearance. *CRC Digital Color Imaging Handbook*, 115–171.
 35. Stockman, A., Brainard, H.D. (2010). Color vision mechanisms. In the *OSA Handbook of Optics* (3rd edition, M. Bass, ed). McGraw-Hill, New York, pp. 11.1–11.104.
 36. De Valois, R.L., De Valois, K.K., Switkes, E., Mahon, L. (1997). Hue Scaling of Isoluminant and Cone-specific Lights. *Vision Research*, 37 (7), 885–897.
 37. Wilson, M.H., Brocklebank, R.W. (1955). Complementary Hues of After-Images. *J. Opt. Soc. Am.* 45, 293–299.
 38. Switkes, E. (2008). Contrast salience across three-dimensional chromoluminance space. *Vision Research*, 48, 1812–1819.
 39. Capilla, P., Malo, J., Luque, M.J., Artigas, J.M. (1998). Colour representation spaces at different physiological levels: a comparative analysis. *Journal of Optics*, Vol. 29, pp.324–338.
 40. Derrington, A.M., Krauskopf, J., Lennie, P. (1984). Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *J. Physiol.*, 357, pp. 241–265.
 41. Miyahara, E. (2003). Focal colors and unique hues. *Percept Mot Skills*. 97(3): 1038–1042.
 42. Gegenfurtner, K.R. (2003). Cortical mechanisms of colour vision. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 563–572.
 43. Stoughton, C.M., Conway, B.V. (2008). Neural basis for unique hues. *Current Biology*, 18 (16), R698–R699.

PATEICĪBAS

Autors ir pateicīgs Eiropas Sociālajam Fondam un Valsts pētniecības programmai par atbalstu darba izstrādē. Liels paldies darba vadītājam prof. Mārim Ozoliņam par idejām un palīdzību to realizācijā. Gribu pateikties Optometrijas un redzes zinātnes nodaļai par pētnieciskās darbības iespējām. Liels paldies Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas darbiniekiem un studentiem, kā arī Cietvielu Fizikas institūta darbiniekiem.

