

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

**FONA IETEKME UZ *FARNSWORTH D15* TESTA
REZULTĀTIEM**

BAKALAURA DARBS

Autors : **Laura Elīte**

Studenta apliecības Nr. 1e17013

Darba vadītājs : lektors, Prof.mag. Renārs Trukša

RĪGA 2020

ANOTĀCIJA

Darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 31 lapaspuses. Tas satur 20 attēlus, 1 tabulu, 47 atsaucis uz literatūras avotiem.

Darba mērķis: novērtēt fona ietekmi uz *D15* testa rezultātiem cilvēkiem ar krāsu redzes deficītiem, pielietojot modeli, kas balstās uz krāsu kanālu ierosinājuma līmeņa aprēķiniem, kas atkarīgi no modelētajiem krāsu kanālu signāliem. Pētījumā tika izmantots matemātiskais krāsu uztveres modelis. Tas nodrošināja iespēju modelēt deitan krāsu redzes deficīta iespējamās kauliņu salikšanas secības un iegūstamos rezultātus

Rezultātā tika secināts, ka ar matemātisko krāsu uztveres modeli ir iespējams noteikt, kā fons ietekmē *Farnsworth D15* testa krāsu kauliņu sakārtošanas secību, rezultātus un ar kādu fonu ir iegūstami precīzākie rezultāti deitan krāsu deficītam. Pētījumā tika izmantots ahromātisks fons, zili-zaļš un sarkans fons, kas savā starpā atšķiras ar L un M vālišu aktivitātes ierosināšanu. Savukārt, ar dzeltenu un zilu fonu, tika vairāk aktivizētas S vālītes.

Atslēgas vārdi: krāsu redzes deficīti, krāsu sakārtošanas testi, krāsu redze, *Farnsworth D15* tests, matemātiskais krāsu uztveres modelis

ABSTRACT

The work is written in Latvia on 31 pages. It contains 20 images, 1 table, 47 references to literature sources.

Purpose: assess the background effects on the *D15* test results for people with colour vision deficits by applying a model based on the calculation of the suggested level of colour channels, depending on the signals of colour channels.

As a result, it was concluded that the mathematical colour perception model could determine how the background influences the order of matching the colours of the *Farnsworth D15* test and results and, which background gives the best results of the deitan discoloration from the background in the model. Achromatic background was used, blue-green and red background, with these backgrounds L and M cone activity were different. Yellow and blue background gives higher S cone activity.

Key words: colour vision deficit, colour arrangement test, colour vision, *Farnsworth D15* test, mathematical colour perception model

SATURS

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS PĀRSKATS	2
1.1. Krāsu redze	2
1.1.2. Krāsu redzes fotoreceptori.....	3
1.1.3. Krāsu redzes teorijas.....	3
1.1.4. Junga – Helmholca trihromātiskā teorija.....	4
1.1.5. Oponentā krāsu uztveres teorija	5
1.2. CIE krāsu telpa	6
1.2.1. CIELuv krāsu telpa.....	6
1.2.2. CIELab krāsu telpa	7
1.2.3. DKL krāsu telpa	8
1.3. Krāsu deficīti	9
1.3.1. L, M, S, fotopigmentu maksimālā absorbcija un blīvums.....	9
1.3.2. Dihromāzija	10
1.3.3. Anomālā trihromāzija.....	11
1.3.4. Monohromāzija.....	12
1.4. Krāsu redzes novērtēšana	13
1.4.1. <i>FM 100</i> un <i>D15</i> tests	13
1.4.2. Anomaloskopa tests.....	14
2. PĒTĪJUMA DAĻA.....	17
2.1. Metode	17
2.3. Datu apstrāde	23
2.4. Rezultāti un to analīze	24
SECINĀJUMI	27
NOBEIGUMS	28
PATEICĪBAS	29

IEVADS

Krāsa ir viena no nozīmīgākajām un visbiežāk sastopamākā īpašība apkārtējā vidē. Tādēļ cilvēkam krāsu redze ir ļoti svarīga (Conway, B., 2006). Ar krāsu atpazīšanu saskaramies ikdienas dzīvē, izvēloties sev apģērbu, gatavojot ēst un braucot ar mašīnu, jo būtiski ir atpazīt luksofora krāsas. Svarīgi ir spēt atpazīt no objektiem atstarotos un izstarotos gaismas spektrus, jo sabiedrībā ir pieņemti dažādas krāsu nozīmes, lai ikdienas dzīvi padarītu drošāku. Piemēram, sarkanā krāsa luksoforā aizliedz iet pāri ielai un zaļā krāsa atļauj.

Vairākumā gadījumu cilvēkiem krāsu redzes deficīts ir iedzimts. Kopumā ir konstatēts, ka aptuveni 8% vīriešu un mazāk nekā 0,5% sieviešu saskaras ar krāsu redzes deficītiem. Šiem cilvēkiem iztrūkst viens vai arī pat vairāki vāļišu fotopigmentu tipi, vai arī viens no diviem vāļišu fotopigmentu absorbcijas spektriem atrodas tuvāk, kādām no vāļišu fotopigmenta absorbcijas maksimumam, kā tas ir pieņemts cilvēkiem ar normālu krāsu redzi. Tā rezultātā cilvēkiem ir daudz zemākā krāsu izšķirtspēja nekā normas gadījumos. Tas cilvēkiem neļauj precīzi izšķirt dažādus krāsu stimulus. Tāpēc ir svarīgi pēc iespējas agrā vecumā konstatēt krāsu redzes deficītu. Piemēram, izvēloties profesiju, tā var būt saistīta ar noteiktiem krāsu stimuliem, kurus jāspēj atšķirt. Tas ir aktuāli, šuvējai, izvēloties audumu, tāpat pilotiem jāspēj reaģēt uz krāsu signāliem lidojumu laikā un vēl ir daudz citu profesiju, kur spēja atpazīt un atšķirt krāsas būtiski ietekmē darba rezultātu.

Lai cilvēkam izvērtētu krāsu redzes deficītu un, krāsu izšķirtspēju, cilvēkiem ar normālu krāsu redzi optometristi un oftalmologi darbā izmanto dažāda veida testus, tādus kā Ishihara un HRR testus. Praksē retāk izmanto *Farnsworth D15* testu, jo tam ir zema jutība, kā arī *FM 100* testu, jo tas ir salīdzinoši laikietilpīgs (pildāms manuāli) un sarežģīts.

Hipotēze: izmantojot matemātisko modeli, kas balstās uz modelētu krāsu kanālu signālu ierosinājuma līmeņa aprēķiniem, ir iespējams noskaidrot, vai selektīvi adaptējot kādu no vāļišu tipiem var iegūt augstāku jutību.

Mērķis: novērtēt fona ietekmi uz *D15* testa rezultātiem cilvēkiem ar krāsu redzes deficītiem, pielietojot modeli, kas balstās uz krāsu kanālu ierosinājuma līmeņa aprēķiniem, kas atkarīgi no modelētajiem krāsu kanālu signāliem.

Darba uzdevumi:

1. ar matemātisko modeli paredzēt, vai *Farnsworth D15* testa fons ietekmē kauliņu sakārtošanas secību.
2. noteikt ar kādu *Farnsworth D15* testa fonu, ahromātisku vai krāsainu, ir iegūstama augstāka vāļišu jutība un ar kuru zemāka .

1. LITERATŪRAS PĀRSKATS

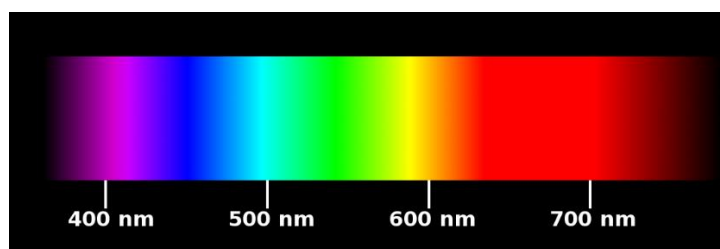
1.1. Krāsu redze

Cilvēks ikdienā sastopas ar daudz dažādiem krāsu toņiem un Ņūtons bija pirmais, kas pēc sava eksperimenta spēja pierādīt, ka gaismai nepiemīt īpašība krāsa, bet šo īpašību piešķir cilvēku uztvere, izvērtējot atstarotās vai izstarotās gaismas spektru. Ņūtons ar prizmas palīdzību nonāca pie secinājuma, ka baltā krāsa nav pamatkrāsa, bet tā rodas, sajaucot visas krāsa kopā, kuras veidojas atkarībā no tā, kādā leņķī tiek laužts gaismas vilnis (Fara, 2015).

Krāsu uztvere sākas, kad gaismas vilnis nokļūst acī, atstarojoties no apkārtesošajiem objektiem – šķērso radzeni, zīlīti, stiklveida ķermeni un beigās nonāk uz tīklenes, kur atrodas fotoreceptoru slānis ar nūjiņām un trīs tipu vāļītēm. Tieši šajā slānī notiek acī ienākošās gaismas spektra apstrādes process, kad gaismas fotoni absorbējas tīklenes fotoreceptoros. Tā rezultātā vāļīšu fotoreceptoros tiek ģenerēts elektriskais signāls, kas tiek aizvadīts uz smadzenēm un tiek radīta ilūzija mūsu uztverē par to, kā izskatās pasaule mums apkārt (King, 2005).

Cilvēki ar normai atbilstošu krāsu redzi spēj izšķirt gaismas stimulus, kas ir no 400 nm līdz 700 nm (skat. 1.1. att.). Viļņa garums, kas ir no 10nm līdz 400nm tiek saukts par ultravioleto starojumu, gaismas stimulu, kuru starojumu ir no 700nm līdz 1mm sauc par infrasarkano starojumu, ko cilvēka acs nespēj izšķirt (Zwinkels, J. 2015).

Liela nozīme ir tam, kāda garuma un frekvences gaismas viļņi nonāk cilvēka acī. Tīklenē esošie fotoreceptori spēj absorbēt dažāda garuma viļņus un katram spektrāli redzamajam gaismas vilnim ir sava krāsa. Tas ir, 400-430nm violeta, 430-480nm zila, 480-560nm zaļa, 560-590nm dzeltena, 590-620nm oranža un 620-700nm sarkanā krāsa (Zwinkels, J. 2015).



1.1. attēls. Redzamās gaismas spektrs, ko cilvēka acs spēj izšķirt (nm)¹.

¹ tiešsaiste - [atsauce 07.11.2019]. Pieejams :

<https://wtamu.edu/~cbaird/sq/2012/12/04/why-are-there-only-six-fundamental-colors-red-orange-yellow-green-blue-and-violet/>

1.1.2. Krāsu redzes fotoreceptori

Konvencionālajā uztveres teorijā ir pieņemts, ka ir divu tipu fotoreceptori, vāļītes un nūjiņas. Savukārt pēdējās pētījumi liecina, ka ganglionārās šūnas spēj tieši reaģēt uz gaismas stimuliem (Marshak, 2010). Cilvēkam acs tīklenē atrodas 95% jeb 92 miljoni no tīklenē esošo fotoreceptoru, taču vāļītes ir tikai 5% jeb 4,6 miljoni (Lamb, 2016) .

Vāļītes atrodas tīklenes centrālajā daļā, 10° ap foveju. Tās darbojas fotopiskos apstākļos jeb dienasgaismā, un tām ir relatīvi zemāka jutība salīdzinājumā ar nūjiņām, kas nodrošina gaismas uztveri zemos apgaismojuma apstākļos (Schiller, 2015). Tīklenē pastāv trīs savstarpēji atšķirīgi vāļīšu fotopigmentu tipi un katra tipa fotopigmentam ir savs spektrālās jutības maksimums, S(420nm), M(530nm), L(560nm). Vāļītes tiek identificētas pēc to spektrālās absorbcijas īpašībām, tas ir, S vāļītes primāri absorbē gaismu redzamās gaismas īso viļņu spektra daļā, M vāļītes absorbē gaismu redzamās gaismas vidējo viļņu spektra daļā un L vāļītes absorbē gaismu redzamās gaismas garo viļņu spektra daļā (Dartnall & Bowmaker, 1983). Šo visu trīs, L, M un S vāļīšu veidu spēja absorbēt gaismu no redzamās gaismas spektra daļas nodrošina cilvēkam normālu krāsu redzi (Palmer, 2010).

Nūjiņas atrodas tīklenes perifērijā un attiecība nūjiņām pret vāļītēm perifērijā ir 20:1. Nūjiņas nav sastopamas šajos 10° centrālajā fovejas daļā, bet atrodas no 10° līdz 80° no fovejas. Tās labāk darbojas tumsas apstākļos, kā arī nūjiņām ir augsta gaismas jutība gan pret tiešiem, gan pret izkliedētiem gaismas stariem (Lamb, 2016; Schiller, 2015). Mezopiskos apgaismojuma apstākļos krāsu redzi ietekmē gan nūjiņas, gan vāļītes, tādēļ krāsu redzes atšķiras no tā, ko var redzēt fotopiskos apstākļos. Skotopiskā redze daudz neatšķiras no mezopiskās. Tā atšķiras galvenokārt ar to, ka darbojas vienīgi nūjiņas un, tām ir tikai viens spektrāli atšķirīgs tips, kas var nodrošināt tikai monohromatisku krāsu redzi (Lamb, 2016).

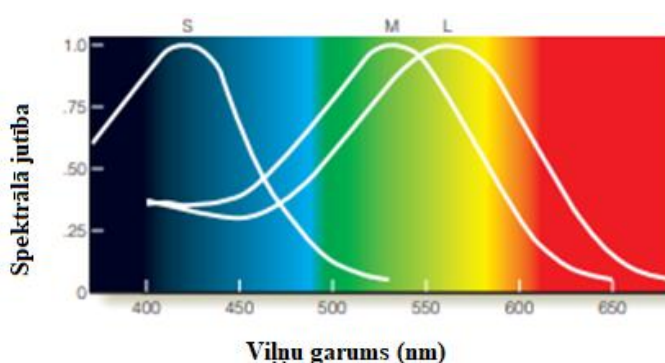
1.1.3. Krāsu redzes teorijas

Krāsu redze ir spēja izšķirt un identificēt gaismu saistībā ar tās esošajiem spektriem. Šī spēja ieraudzīt krāsu tiek skaidrota ar daudz dažādām krāsu redzes teorijām. Tās spēj papildināt viena otru, vai arī tieši pretēji, - skaidro katra savus specifiskos ar krāsu redzi saistītos fenomenus un parādības. Pirmsākumos, krāsu redze un ar to saistīties fenomeni tika skaidroti ar Junga – Helmolca trihromātisko un oponento krāsu teorijām, kas eksistē jau kopš 19.gadsimta. Šīs teorijas uzskatītas par savstarpēji konkurējošām to attīstības laikā, bet netika ievērots būtisks faktors, ka ar katru no tām tiek skaidroti dažādi krāsu uztveres procesi.

1.1.4. Junga – Helmholtca trihromātiskā teorija

Thomas Young (Tomass Jungs) 19.gadsimta sākumā izvirzīja hipotēzi, ka tīklenē pastāv trīs veidu elementi, kuriem ir katram savas specifiskās gaismas absorbcijas īpašības. Respektīvi pastāv trīs fotoreceptoru tipi, kuru spektrālā jutība ir dažāda un, katrs no tiem ir vairāk jutīgs uz redzamās gaismas īso vai vidējo, vai garo gaismas viļņu daļu. Zinātnieks *Hermann von Helmholtz* spēja uzlabot *Thomas Young* krāsu uztveres teoriju ar to, ka primārās krāsas nav sarkana, dzeltena un zila, bet gan sarkana, zaļa un violela. *Hermholtz* izvirzīja hipotēzi, ka šiem trīs veidu fotopigmentiem, kas atrodas tīklenē ir katram savs absorbcijas maksimums un, ka tie savā starpā pārklājas, kā arī to kopējais fotoreceptoru ierosinājums izraisa noteiktu krāsu sajūtu mūsu uztverē. Tādā veidā noraidīja *Thomas Young* teoriju par primārajām krāsām, jo sajūtai, kas iegūtas no dzeltena gaismas stara spektra, kas aktivē vienlaikus sarkanos un zaļos receptorus acī, tad šai sajūtai vajadzētu būt tādai pašai, sajaucot sarkanus un zaļus gaismas spektra starus. Balstoties uz *Hermholtz* veiktajiem krāsu saskaņošanas eksperimentu rezultātiem, tika secināts, ka krāsu uztveri var izskaidrot ar trim spektrāli atšķirīgiem receptoriem: sarkani jutīgie receptori ir jutīgāki pret visgarākajiem viļņa garumiem, bet zilie fotoreceptori jutīgāki pret īsajiem viļņa garumiem (Anthony, 2006; Lee, 2008). Tomēr, tas nenozīmē, ka katra spektra krāsa neaktivē visus trīs receptorus, kādu spēcīgāk un kādu vājāk. Baltās krāsas sajūta rodas tikai, tad, ja visi fotopigmenti tiek aktivēti vienādi. (Goldstein, 2010)

Katram vāļišu fotopigmentam ir savs spektrālās jutības maksimums. S fotopigmentiem maksimālā jutībā ir pie 420nm, M fotopigmentiem maksimālā jutība ir pie 530nm, L fotopigmentiem maksimālā jutība ir pie 560nm (skat. 1.2 att.). (Darnall, et al., 1983).



1.2. attēls. Fotoreceptoru absorbcijas spektrs².

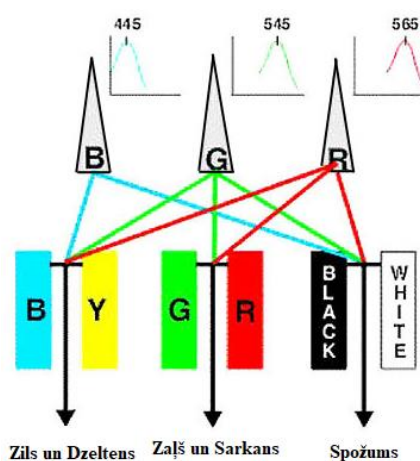
Secināts, ka trihromātiskā teorija tikai daļēji spēj paskaidrot krāsu redzes deficītu. Tā sākotnēji skaidroja dihromātiskās krāsu redzes deficītus. Ar šo teoriju netika korekti skaidroti

² tiešsaiste - [atsauce 30.11.2019]. Pieejams : <http://dl.icdst.org/pdfs/files/613782cddfa896905bbd17706aeb765.pdf>

deiteranopijas un protanopijas gadījumi, kad tīklenē nav kāda receptora vai arī tā attīstība ir nepilnīga.

1.1.5. Oponentā krāsu uztveres teorija

19.gadsimta beigās Evalds Herings ierosināja, ka krāsu redzi labāk var izskaidrot ar pretējo krāsu teoriju, kur ņem vērā katras krāsas izskatu. Herings novēroja, ka krāsainos stimulus vienlaikus nevar raksturot kā sarkanus un zaļus, kā arī dzeltenus un zilus, gaišus un tumšus. Herings pieņēma, ka katram krāsu pārim ir savs signāls un fotoreceptori spēj kritiskāk uztvert krāsu atšķirību. Tādā veidā secināja, ka pastāv trīs hromatiskie kanāli: sarkani-zaļais, zili-dzeltenais un balti-melnais (Goldstein, 2010) (skat. 1.3. att.).



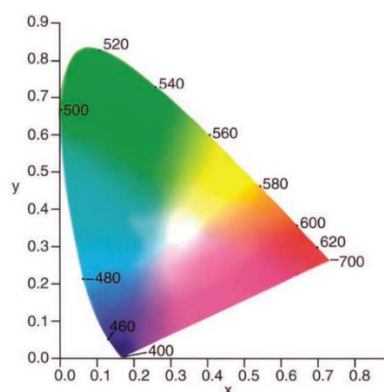
1.3. attēls. Modelis oponentā krāsu redzes teorijā. Krāsu uztveres process sākas ar gaismas absorbciju, kuru veido trīs tipa vāļītes, B (īso viļņu jutīgās), G (vidējo viļņu jutīgās) un R (garo viļņu jutīgās). Tālāk seko neirālais process, tajā notiek oponento signālu veidošanās. Šis posms vairs nenotiek fotoreceptoru līmenī, bet gan horizontālo šūnu līmenī³.

Tādējādi sarkani-zaļais oponentais kanāls izvērtē, vai stimul vairāk atbilst redzamās gaismas vidējo vai garo viļņu daļai. Savukārt zili-dzeltenais oponentais kanāls izvērtē, vai stimul vairāk atbilst īso vai garo, vai vidējo gaismas viļņu daļai (Kalloniatis & Luu, 2007; Pauli, 2010).

³ tiešsaiste - [atsauce 01.12.2019]. Pieejams : <https://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-psychophysics-of-vision/color-perception/>

1.2. CIE krāsu telpa

1931. gadā *The Commission Internationale de l'Eclairage* (Starptautiskā apgaismošanas komisija) jeb CIE ierosināja trīs stimulu krāsu telpu, kura tika izdomāta, lai būtu pieejama vienota metode krāsu atšķirību mērīšanai. Y koordinātas vērtība vienmēr nosaka krāsas spožumu, bet X un Z attēlo spektrālos gaismas viļņu garumus. Jebkuru krāsu var norādīt ar trīs koordinātām, kas ļauj izveidot trīsdimensionālu krāsu telpu. Lai iegūtu divdimensionālo krāsu, tiek pielietotas x un y koordinātas. Tās tiek aprēķinātas no X, Y, Z hromatiskajām vērtībām pēc šādām formulām: $x = \frac{X}{X+Y+Z}$; $y = \frac{Y}{X+Y+Z}$ (skat. 1.4. att.) (Douglas K., 2010; Ming R., 2007).

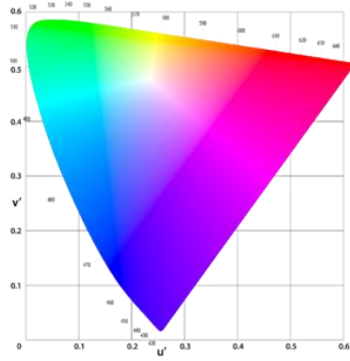


1.4.attēls. Hromatiskā diagramma CIEYxy krāsu telpai, kur Y vērtība ir konstanta un apkārt divdimensionālai diagrammai ir attēlotas spektrālie gaismas viļņu garumi (Melamud, A. et al., 2004).

No iepriekš minētās krāsu telpas sistēmas tika izveidotas vēl divas bieži pielietotas CIELab un CIELuv krāsu telpas sistēmas (Viscarra Rossel R.A. et al.,2006).

1.2.1. CIELuv krāsu telpa

CIELuv krāsu telpa ir visbiežāk izmantotā krāsu telpa. Tā ir atvasināta no CIExyz krāsu koordinātu telpas, kas tiek izmantota gaismas stimulu raksturošanā un mērīšanā. CIELuv krāsu telpā tiek attēloti arī iegūtie rezultāti no *D15* testa (Vingrys.A.,J. et al., 1988). Gan CIELuv, gan CIExyz krāsu telpa ir lineāra, kas ļauj vieglāk orientēties tajās. Koordināta L apzīmē stimulu gaišumu, u, - šajā krāsu telpā koordinātu novietojumu horizontālā virzienā, bet v, - stimulu novietojumu vertikālajā virzienā (skat. 1.5. att.).



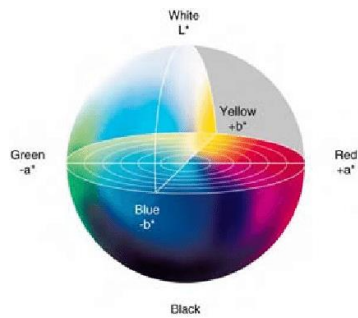
1.5.attēls. CIELuv hromatiskā krāsu telpa⁴.

Krāsu stimulu attāluma atšķirība tiek aprēķināta pēc šādas Eiklīda attāluma formulas: $\Delta E(u;v) = (\Delta L^2 + \Delta u^2 + \Delta v^2)^{1/2}$. Izmantojot šo formulu, var noteikt krāsu piesātinājumu, jo pieaugot iegūtā attāluma vērtībai, krāsu piesātinājums arī pieaug. Tas nozīmē, ka, pildot, piemēram, *D15* testu, cilvēkam būs vieglāk izšķirt krāsas pie lielāka krāsu piesātinājuma (Mahy, M., et al.,1994).

1.2.2. CIE Lab krāsu telpa

Trīsdimensionāla CIE Lab krāsu telpa, tika izveidota 1976.gadā. Tā tiek balstīta uz oponentu krāsu teoriju un katrai krāsai ir iespēja noteikt unikālo lokāciju. Uzzinot krāsas koordinātas krāsu telpā, var noteikt vai krāsa ir izteiktāki zaļāka vai sarkanāka, zilāka vai dzeltenāka. CIE Lab krāsu telpas izveide tika izstrādāta pēc CIE XYZ krāsu telpas principiem. Tas ir, zinot attālumus starp krāsu koordinātām var noteikt krāsu atšķirības. Krāsas gaišums no 0 (melns) līdz 100 (balts) apzīmē ar L, a,- sarkani-zaļās krāsas koordinātas un b, - dzelteni-zilās krāsas toņu koordinātas. A un b vērtības, kas ir tuvu nullei atbilst ahromātiskajiem toņiem (skat. 1.6. att.).

⁴tiešsaiste - [atsauce 08.04.2020]. Pieejams : <https://www.hisour.com/cieluv-24851/>

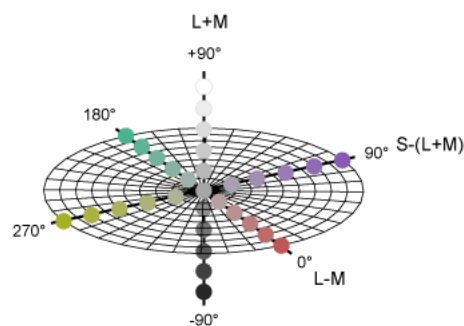


1.6.attēls. CIE Lab krāsu telpā, +a un -a ass apzīmē sarkani-zaļo oponento krāsu kanāls, kura axis virzās no kreisās uz labo pusi, +b un -b ass apzīmē zili-dzeltenu oponento krāsu kanālu, kura axis virzās no augšas un apakšu vertikāli⁵.

Iegūstos divu krāsu attālumus CIE Lab telpā, var izrēķināt divu krāsu attāluma atšķirības pēc formulas: $\Delta E^* = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$, kas raksturo krāsu piesātinājumu (Hanson, A.,R., 2017).

1.2.3. DKL krāsu telpa

DKL krāsu telpa ir balstīta uz MacLeod un Boyton (1979) hromatisko diagrammu. Šajā krāsu telpā krāsu vērtības tiek noteiktas balstoties uz noteikto neitrālo krāsu, kas šajā gadījumā ir pelēkā. Šīs krāsas krustpunktā krustojas divas hromatiskās assis, kas aptver spožuma plakni (skat. 1.7. att.).



1.7. attēls. DKL krāsu telpas diagramma⁶.

Pa L+M asi (+90° - -90°) mainās L un M vāļišu aktivitāti un to summa veido nemainīgu spilgtumu. L-M ass (0° – 180°) gadījumā S vāļišu aktivitāte ir konstanta, šī ass tiek saukta arī

⁵tiešsaiste-[atsauce07.04.2020].Pieejams:https://www.researchgate.net/figure/The-CIELAB-color-space-representing-the-three-color-coordinates-L-a-and-b_fig1_268011199

⁶tiešsaiste-[atsauce28.04.2020].Pieejams: <https://sites.google.com/a/arcadia.edu/amclab/current-projects>

par RG asi. Pa S-(L+M) asi ($90^\circ - 270^\circ$), tiek mainīta S vāļišu aktivitāte, tādā veidā L un M vāļišes netiek aktivētas, ass tiek saukta arī par BY asi. Visas nokrāsas tiek attēlotas apļveida krāsu telpā (Derington et.al. 1984).

1.3. Krāsu deficīti

Termins krāsu redzes deficīts tiek lietots, lai apzīmētu to, ka cilvēkiem tīklenē esošo vāļišu fotopigmentu gaismas maksimālā absorbcija atšķiras no pieņemtās normas. Cilvēkiem ar krāsu redzes deficītu atšķirībā no normas, var iztrūkt viens vai vairāki fotopigmentu tipi, vai arī ir samazinājusies atšķirība starp diviem fotopigmentu tipu gaismas maksimālās absorbcijas spektriem. Cilvēkiem krāsu redzes deficīti var būt iedzimti vai arī iegūti dzīves laikā. Dzīves laikā iegūtos krāsu redzes deficītus var konstatēt kā sekas tādām acu saslimšanām kā glaukoma, makulas deģenerēšanās, diabētiskā retinopātija, katarakta, Parkinsona slimība, Alcheimera slimība. Krāsu redzi var ietekmēt arī medikamenti, kaitīgi apkārtējās vides faktori, narkotisko vielu lietošanas un toksiskās iedarbības, kādas traumas rezultātā, kā arī, cilvēkam novecojot (Cruz, 2010). Pastāv vairāki krāsu redzes deficītu veidi. Viens no tiem ir monohromāzija, kad cilvēks nespēj izšķirt jebkādu krāsu stimulu. Savukārt tiem cilvēkiem, kuriem tiek konstatēts kāds cits krāsu redzes deficīta veids, tiek secināts, ka tas izpaužas ar to, ka ir grūtības savstarpēji izšķirt atšķirīgus spektrāli redzamās gaismas stimulus.

Krāsu deficītu kopumā var iedalīt divās galvenajās grupās: sarkani-zaļie un zili-dzeltenie krāsu deficīti (Mandal, 2019). Kā tiek minēts vairākos pētījumos, no visas populācijas rietumvalstīs ir aptuveni 8% vīriešu un mazāk kā 0,5% sieviešu, kuriem ir iedzimti krāsu redzes deficīti, savukārt, Āzijas valstīs, - aptuveni 4 - 6,5% un Āfrikā, - aptuveni 7,3% (Simunovic, 2009; Cruz, 2010). Iedzimtos krāsu redzes deficītus iedala trīs grupās: dihromāzija, anomāla trihromāzija un monohromāzija. Anomālo trihromāziju iedala grupās: protanomālījā un deiteranomālījā. Šis krāsu redzes deficīta veids ir visbiežāk sastopamais cilvēku populācijā (Simunovic, 2009; Cruz, 2010).

1.3.1. L, M, S, fotopigmentu maksimālā absorbcija un blīvums

Cilvēkiem ar normālu krāsu redzi L, M, S pigmentu absorbcijas maksimumi atšķiras no cilvēkiem ar krāsu redzes deficītiem. Cilvēkiem bez krāsu redzes deficītiem fotopigmentu maksimālā absorbcija ir 555nm un protanopiem tā ir 535nm, šajā gadījumā fotopigmentu maksimālā jutība samazinās pie spektrāli sarkanās krāsas. Deiteranopijas gadījumā maksimālā absorbcija fotopigmentiem ir 560nm un tritanopiem tā ir 555nm. Tas izpaužas ar, samazinātu jutību pie spektrāli zilās gaismas (Rubin,A., 2016).

Tāpat ir secināts, ka vāļišu fotopigmentu optiskais blīvums ietekmē to spējas spektrāli absorbēt gaismas viļņus, kas iedarbojas uz tiem. Palielinoties fotopigmenta optiskajam blīvumam, palielinās arī fotoreceptoru jutība. Piemēra, divām vāļītēm ir vienādi fotopigmenti ar dažādiem optiskajiem blīvumiem, tādēļ katrai no šīm vāļītēm būs atšķirīga spektrālā jutība, kas veidos dažādus krāsu signālus. Ja tiek izmainīts optiskais blīvums fotopigmentam, tad liela iespēja, ka tas radīs nobīdes spektrālās gaismas viļņu absorbcijas maksimumā. Vāļītei, kurai ir vislielākais optiskais blīvums būs arī vislielākā spektrālā jutība. Cilvēkiem ar protanopiju ir divi spektrāli atšķirīgi fotopigmenti, M un L, bet tomēr šiem cilvēkiem var būt trihromātiska redze. Tas ir iespējams, jo M fotopigmentam var būt dažādi optiskie blīvumi, kas arī nosaka sarkani-zaļās krāsas jutības diapazonu. Dažādi literatūras avoti sniedz ieskatu, ka nepastāv noteikts optiskā blīvuma lielums kādam konkrētam fotoreceptoram. Katram cilvēkam šīs vērtības var atšķirties vismaz par 0,2 vērtībām, jo optisko blīvumu var ietekmēt dažādi faktori tādi kā, piemēram, vāļišu ārējā segmenta garums, fotopigmenta koncentrācijas lielums un citu molekulu efektivitāte konkrētajā fotopigmentā. Miller (1972) secina, ka optiskais blīvums M vāļītēm ir no 0,4 līdz 0,5 un L vāļītēm no 0,5 līdz 0,6 deiteranopiem. Savukārt ,Smith & Pokorny (1973) konstatē, ka optiskais blīvums M vāļītēm 0,3, bet L vāļītēm 0,4. Cilvēkiem ar normālu krāsu redzi L vāļišu optiskais blīvums ir augstāks nekā cilvēkiem ar deiteranomāliju. Tāpat optisko blīvumu var ietekmēt paša fotopigmenta stabilitāte. Tas ir nozīmīgi, lai saglabātos un nemainītos fotopigmenta maksimālā absorbcija, jo anomālās trihromāzijas gadījumā fotopigmenti stabilitāte var būt samazinājusies (Barbura, J. et al., 2008 ; Thomas, P., B., M. et al., 2011).

Vāļišu fotoreceptoru visaugstākais blīvums ir tīklenes centrā un samazinās uz perifēro pusi (Renner, A. B., 2004). Vāļišu jutību ir iespējams izrēķināt ar šādu formulu: $1 - 10^{-(POD \times S(\lambda))}$, kur $S(\lambda)$ ir ekstincijas koeficients fotopigmentam un POD ir fotopigmenta optiskais blīvums. Izmantojot šo formulu, var aprēķināt gaismas absorbciju fotopigmentos, ņemot vērā fotopigmentu absorbcijas spektru un optisko blīvumu (Thomas, P. B. M. et al., 2011).

1.3.2. Dihromāzija

Dihromāzijas krāsu redzes deficītu gadījumos iztrūkst viens no trim fotopigmentiem vai fotoreceptoriem (Brettel, 1997). Tāpat, ir gadījumi, kad cilvēkam nevis iztrūkst fotopigments, bet daļa viena veida fotoreceptoru (Barry, 2007). Dihromāzija tiek iedalīta trīs grupās: protanopija, deiteranopija un tritanopija.

Protanopija, - kad iztrūkst L vāļišu fotopigmenti, kas nodrošina gaismas uztveri redzamās gaismas vidējo un garo viļņu spektra daļu. Šī iemesla dēļ ir samazināta gaismas jutība uz redzamās gaismas garo viļņu daļu. Cilvēkiem ar protanopiju ir grūtības izšķirt stimulus

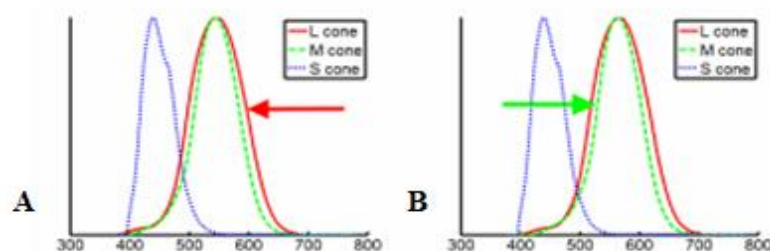
redzamās gaismas garo viļņu spektrālajā daļā, kā arī tos stimulus, kuru izšķiršanu nodrošina L vāļītes (Barry, 2007).

Deiteranopija, -kad iztrūkst M vāļīšu fotopigmenti, kas nodrošina gaismas uztveri redzamās gaismas īso un vidējo, un garo viļņu spektra daļu. Grūtības atšķirt redzamās gaismas garo un vidējo viļņu daļu. . Zaļās krāsa spektri tiek jaukti ar sarkanās krāsas spektru (Barry, 2007). Aptuveni 1% vīriešu ir konstatēts, kāds no šiem diviem iepriekš minētajiem dihromāzijas veidiem, savukārt sievietēm, - aptuveni 0,4% (Neitz & Neitz, 2000).

Tritanopija, -kad iztrūkst īso viļņu jutīgās vāļītes un to funkcija ir traucēta. Šajos tritanopijas gadījumos tīklenē nevar reģistrēt īso viļņu jutīgos fotopigmentus. Cilvēki ar tritanopiju nevar izšķirt zilās krāsas spektru, tādēļ tiek jaukti zilās krāsas toņi ar zaļo krāsu un baltās krāsas toņi, ar dzeltenās krāsas toņiem. Šis krāsu defekts tiek konstatēts ļoti retos gadījumos, tas ir, aptuveni 1 no 13 tūkstoš cilvēku gan sieviešu, gan vīriešu vidū (Barry, 2007).

1.3.3. Anomālā trihromāzija

Anomālās trihromāzijas gadījumā krāsu redzes deficīta izteiktība katram cilvēkam var būt dažāda. Tas ir, kādam krāsu izšķirt spēja būtiski neatšķiras no normālas krāsu redzes, taču citos gadījumos, var tikt izmainīta viena fotoreceptora gaismas viļņu maksimālā jutība, kas līdzinās kādam no pārējiem fotopigmenta veidiem. Tādā veidā šie cilvēki būtiski neatšķiras no dihromātiem. Anomālās trihromāzijas gadījumā, tīklenē pastāv visi trīs vāļīšu fotopigmenti, taču vienam no tiem ir mainīts spektrs ar kādu absorbē gaismu. Atkarībā no tā, kura fotoreceptora spektrālā jutība ir izmainīta anomālā trihromāzija tiek iedalīta divās grupās (skat. 1.8. att.) – protanomālija un deiteranomālija:



1.8. attēls. Vāļīšu absorbcijas spektru izmaiņas protanomālijas(A), deiteranomālijas(B). A gadījumā

L jutīgie vāļīšu fotopigmentu spektrs tiek novirzīt uz M jutīgo vāļīšu fotopigmentu spektru. B gadījumā M jutīgie vāļīšu fotopigmentu spektrs tiek nobīdīts uz L jutīgo vāļīšu fotopigmentu spektru⁷.

⁷ tiešsaiste - [atsauce 14.11.2019]. Pieejams :

<https://pdfs.semanticscholar.org/14f2/fb50f77a6f530450ff4bb0ff943f47332ed7.pdf>

Protanomālija, - tīklenē esošo L vālišu fotopigmentu jeb garo viļņu jutīgo vālišu spektrs ir izmainīts un tas tiek nobīdīts uz zaļo (M) fotopigmentu jutīgo spektra daļu. Tas var radīt grūtības izšķirt zaļo krāsu toņus no baltās krāsas, kā arī grūtības identificēt sarkano, zaļo un dzelteno krāsu toņus, kā arī apgrūtināta sarkanās krāsas toņu izšķiršana. Aptuveni 1% vīriešu ir novērots šis krāsu defekts un sievietēm, - 0,01% (*Barry, 2007; Neitz & Neitz, 2000*).

Deiteranomālija, - šajā gadījumā zaļo fotopigmentu jeb vidējo viļņu jutīgo vālišu spektrs nav normai atbilstošs tieši M vālišu fotopigmentam. Tas var radīt grūtības atpazīt zaļās, sarkanās un dzeltenās krāsas toņu atšķirību, kā arī mēdz jaukt balto krāsu ar zaļo krāsu. Šī anomālās trihromāzijas grupa ir visizplatītākā, aptuveni 5% vīrieši un mazāk nekā 0.40% sievietes saskaras ar šo krāsu redzes deficītu (*Barry, 2007; Simunovic, 2009*).

1.3.4. Monohromāzija

Monohromāzija ir iedzimtā krāsu redzes deficīta forma, kad cilvēkam ir tikai viens fotopigmenta tips. Tā ir vismagākā, no tāda viedokļa, ka cilvēks nespēj izšķirt krāsas, izvērtējot tikai to spektrālās atšķirības, bet var analizēt gaismas spožumu un, balstoties uz to, var mēģināt kategorizēt krāsas toni. Šim krāsu redzes deficītam ir dažādi tipi. Tipiska monohromāzija ir tad, kad tīklenē ir sastopamas S vāļītes un nūjiņas, atipiskā monohromāzija, kad tīklenē ir nūjiņas un L vai M vāļītes. Pilnīga monohromāzija ir tad, kad tīklenē nav neviena vāļīšu fotoreceptoru, bet ir sastopamas tikai nūjiņas. Par “nepilnīgiem ahromātiem” sauc cilvēkus ar monohromāziju, kas spēj atšķirt stimulus pēc to savstarpējām spožuma (*Simunovic, 2009*). Monohromāzija tiek iedalīta divās grupās : vāļīšu monohromāzija un tipiskā monohromāzija.

Vāļīšu monohromāzija – cilvēkam pastāv tikai vieni funkcionējoši fotoreceptori. Visbiežāk novērots, ka tie ir īso viļņu jutīgie fotoreceptori. Cilvēkam tīklenē nav sastopami ne L tipa, ne M tipa vāļīšu fotoreceptoru. Monohromātiem cilvēkiem arī ir zems redzes asums, no 0.5 līdz 0.25. Var rasties bailes no gaismas jeb fotofobija un nistagms. Arī šis krāsu redze deficīts ir sastopams diezgan reti, kas ir aptuveni vienam cilvēkam no 1 000 000 cilvēku (*Simunovic, 2009*).

Tipiskā jeb nūjiņu monohromāzija – cilvēks spēj sajūst tikai gaišumu, kādu atstaro vai absorbē objekts. Cilvēks izjūt fotofobiju, respektīvi, bailes jeb nepatiku pret gaismu. Tāpat ir iespēja, ka cilvēkiem izpaužas nistagms, respektīvi, kad nespēj nostabilizēt acs fiksāciju. Raksturīgs zems redzes asums no 0.1 līdz 0.2. Šī konkrētā monohromāzija ir reta parādība, kas ir sastopama aptuveni vienam cilvēkam no 50 tūkstošiem (*Simunovic, 2009*).

1.4. Krāsu redzes novērtēšana

Pastāv dažādi datorizētie krāsu redzes novērtēšanas testi - pseidoizohromatisko karšu tests, krāsu sakārtošanas testi, anomaloskopa tests un krāsu nosaukšanas tests “*Stroop*”. Ar tiem ir iespēja noskaidrot vai cilvēkam ir krāsu redzes deficīts un gadījumā ja ir, tad kāda veida un kāda ir šī krāsu redzes deficīta izteiktība (Dain, 2004).

1.4.1. *FM 100* un *D15* tests

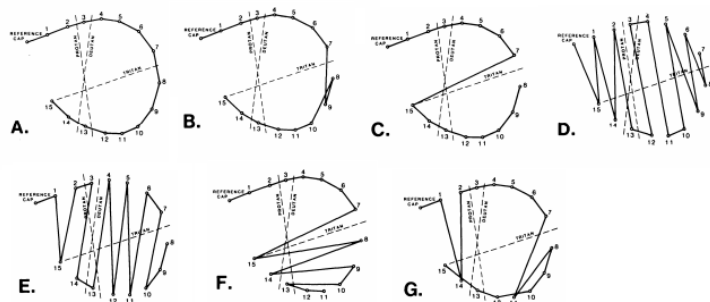
Pētījumos visbiežāk izmantoti ir divi krāsu redzes sakārtošanas testi ir *Farnsworth - Munsell 100 (FM 100)* un *Farnsworth D15 (D15)*. Izmantojot krāsu sakārtošanas testu ir liela nozīme arī cilvēku vecumam, jo pētījumos ir konstatēts, ka pieaugot cilvēku vecumam samazinās acs lēcas gaismas caurlaidība, tas nozīmē, ka acs lēcā ievērojami pieaug gaismas absorbcija redzamās gaismas īso viļņu daļā. Tas var būtiski ietekmēt testa rezultātus un apgrūtina noteikt precīzāku krāsu redzes deficītu (Schneck, 2014).

FM 100 krāsu redzes izvērtēšanas testam ir četri kauliņu komplekti. Eksperimentā vadītājs novieto pilota kauliņu gan komplekta sākumā, gan tā beigās un instruē cilvēku izvēlēties nākamo kauliņu secību tā, lai katrs nākamais ir pēc iespējas līdzīgāks iepriekšējam kauliņam. Ar *FM 100* krāsu sakārtošanas testu ir iespēja izvērtēt krāsu izšķirtspēju cilvēkiem, kuriem ir kāds no krāsu redzes deficīta veidiem.

Krāsu redzes izvērtēšana ar *FM 100* testu var aizņemt 60min vai arī ilgāku laika posmu. Tādēļ, lai krāsu redzes deficīta diagnostika neaizņemtu daudz laika, tiek izmantots *FM 100* līdzīgs tests, *D15*, kam ir mazāk stimulu. *D15* testam ir viens kauliņu komplekts ar 16 krāsu stimuliem. Eksperimentā vadītājs novieto pilota kauliņu, kas ir fiksēts un netiek mainīts. Tālāk instruē cilvēku salikt pēc secības 15 krāsu kauliņus, sākot no pirmā fiksētā kauliņa.

Iegūto rezultātu apkopošanai tiek izmantotas veidlapas ar aplī izkārtotiem 16 punktiem, kas apzīmē *D15* testa krāsu kauliņu secību. Kad dalībnieks ir pabeidzis pildīt testu, vadītājs apgriež testa kauliņus, lai redzētu, katra kauliņa numuru. Vadītājs veidlapā, grafika tukšajos laukumos, saraksta katra kauliņa numuru pulksteņrādītāja virzienā un, kad tie ir sarakstīti, tad tos savieno ar līnijām; no pirmā līdz 15. ciparam. Tādā veidā veidosies grafiks, kas vai nu atbilst normālai krāsu redzei vai kādam no krāsu redzes deficīta raksturīgajiem grafikiem. Krāsu redzes deficīts tiek konstatēts, ja kāda no asīm, kas radusies no kauliņu secībā pieļautās kļūdas, novietojas uz konkrētas krāsu redzes konfūzijas ass. Respektīvi, ja šajā *D15* testa rezultātos nevar novērot apla diagrammu, bet novēro līniju krustošanos centrā, tad var uzskatīt, kas šiem cilvēkiem ir kāds no krāsu redzes deficītiem. Šim testam krāsu atšķirība ir diezgan liela jeb

jutības sliekšnis ir diezgan mazs, tādēļ cilvēki ar normālu krāsu redzi un cilvēki ar minimālu krāsu deficītu var šo testu izpildīt bez kļūdām (skat. 1.9. att.) (Dain, 2004).



1.9. attēls. *Farnsworth D15* krāsu sakārtošanas testa rezultātu diagramma. **A** diagramma tiek novērot normālā gadījumā pareiza sakārtošanas secība, **B** normālā gadījumā pieļauta maza kļūda sakārtošanas secībā, kas nav būtiski nozīmīga, **C** normālā gadījumā tritan šķērsojums, **D** protanops, **E** deiteranops, **F** tritanops, **G** deiteranomāls (Vingrys, J.& King-Smith, E. 1988).

Izmantojot šos abus krāsu sakārtošanas testus, *FM 100* un *D15*, var novērtēt tīklenes, makulas un optiskā nerva slimības iespējamību (Cruz, 2010). Tā kā *D15* testam ir zemāka jutība, tad tieši ar *FM 100* krāsu testu ir iespēja labāk konstatēt divu veidu krāsu deficīta grupas – sarkani-zaļo un zili-dzelteno (Dain, 2004; Cruz, 2010). Vienlaikus ar šo *FM 100* testu var būt grūtības nošķirt cilvēkus ar normālu krāsu redzi un anomālā trihromāta, respektīvi, šim testam ir ierobežotas iespējas atdalīt dihromātus no anomālajiem trihromātiem (Dain, 2004).

Mūsdienās ir pieejamas datorizētas *FM 100* un *D15* krāsu sakārtošanas testu versijas, kas atvieglo un paātrina krāsu redzes diagnostikas procesu.

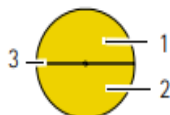
1.4.2. Anomaloskopa tests

Anomaloskopa tests ir salīdzinoši dārgs un sarežģīts optiskais instruments, taču ar tā palīdzību cilvēkiem var konstatēt iedzimtos sarkani-zaļos krāsu redzes deficītus. Ir pieejami vismaz divu tipu anomaloskopi. Viens no anomaloskopa testiem ir balstīts uz Releja vienādojumu $545\text{nm}+670\text{nm}=589\text{nm}$; un ir paredzēts, lai izvērtētu sarkani-zaļās krāsu redzes deficītus, tai skaitā arī monohromatisku krāsu redzi. Otrā veida anomaloskops tiek izmantots, lai novērtētu dzeltenī-zilos krāsu redzes deficītus, kas praksē ir sastopami ļoti reti. Tādēļ arī šis anomaloskops tiek pielietots salīdzinoši retāk nekā *Nagel anomaloskops*, kurš sniedz iespēju izvērtēt, vai cilvēks spēj, summējot zaļo krāsu un sarkano krāsu, iegūt tādu pašu dzelteno krāsu, kāda tiek rādīta uz kontroles laukuma. Tādā veidā var izvērtēt, cik dažādu fotopigmentu tipu cilvēkam ir vidējo un garo gaismas viļņu daļā, kā arī, vai to absorbcijas spektru atšķirības atbilst normai. Pirms šī testa izmantošanas aparāts ir rūpīgi jānokalibrē, lai varētu precīzi izšķirt

sarkanās, zaļās un dzeltenās krāsas gaismas viļņu garumus un to intensitāti. Tāpat, lai testa rezultātā iegūtie dati būtu precīzāki, pirms procedūras pildīšanas, cilvēku, nepieciešams apmācīt, kā pareizi lietot šo instrumentu krāsu redzes izmeklējuma laikā. Šo testu iesaka atkārtot vairākas reizes, jo sākuma rezultāti ir kā izmēģinājumi (Jagel, et.al, 2005; Squire, et.al., 2005).

Krāsu redzes diagnostikā klīnikā reti tiek izmantots *Nagel* anomaloskops, kas balstās uz *Reyleight* vienādojumu. Taču tas tiek uzskatīts par zelta standartu pētījumos un ir paredzēts, lai novērtētu krāsu redzes atbilstību normai, kā arī, lai diagnosticētu tādus krāsu redzes deficīta veidus kā deiteranopija vai protanopija, deiteranomālija vai protanomālija un, kāds ir šo krāsu redzes deficītu smagums.

Aplis, ko cilvēks novēro skatoties monokulāri caur okulāru, pildot testu, ir sadalīts divās daļās un noformēts tā, lai tas būtu 2° liels un maksimāli aktivizētu vāļišu fotoreceptorus, kas atrodas tīklenes centrā. Šie stimuli ir izvēlēti tā, lai pēc iespējas vairāk samazinātu S vāļišu un nūjiņu ietekmi uz mērījumu rezultātiem (skat.1.10.att.) (OCULUS).



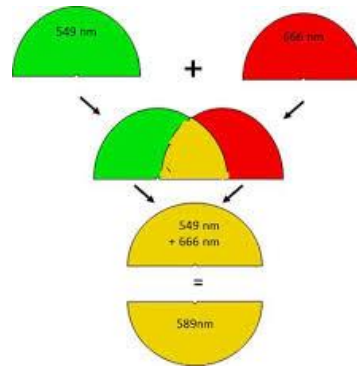
1.10. attēls. Augšējais lauks ir veidots no diviem monohromatiskiem gaismas avotiem ar atšķirīgiem spektriem 545 nm un 670 nm. Apakšējais lauks ir ar monohromatisku starojuma spektru 590 nm.

Pa vidu šim aplim ir līnija, kas atdala šos abus testa laukus ⁸.

Nagel anomaloskopa tests tiek sadalīts jeb pildīts divās daļās. Pirmajā eksperimenta daļā pētījuma dalībniekiem tiek dota iespēja brīvi regulēt dzeltenās testa lauka daļas spožumu un sarkani-zaļā laukuma gaismas avotu spožumu, lai šie abi apļa pusloki atbilstu precīzi pēc krāsas un spilgtuma (skat.1.11. att.) (Jagel, et.al, 2005; Squire, et.al., 2005).

⁸ tiešsaiste – [atsauce 21.11.2019] Pieejams :

[https://www.goodlite.com/cw3/Assets/documents/HMC%20Anomaloscope%20Instruction%20Manual%20-%202014.11\[1\]\[2\].pdf](https://www.goodlite.com/cw3/Assets/documents/HMC%20Anomaloscope%20Instruction%20Manual%20-%202014.11[1][2].pdf)



1.11. attēls. Nagela anomaloskops balstās uz Reyleight vienādojumu, lai noteiktu sarkanās-zaļās krāsas redzes deficītu (zaļā krāsa 549nm + sarkanā krāsa 666nm = dzeltenā krāsa 589nm). Augšējais pusloks tiek mainīts, lai būtu pēc iespējas līdzīgāks apakšējam puslokam (*OCULUS*)⁹.

Pētījumos konstatēts, ka cilvēkiem ar protan krāsu deficītu pirmajā eksperimenta daļā ir tendence izvēlēties lielāku sarkanās gaismas avota spožumu salīdzinājumā ar cilvēkiem bez krāsu redzes deficītiem. Savukārt cilvēki ar deitan krāsu deficītu sliecas izvēlēties lielāku zaļās gaismas avota spožumu. Tālāk cilvēkam lūdz noteikt vistuvāko krāsu un spožuma atbilstību augšējai un apakšējai apļa daļai. Tiek lūgts mainīt tikai apakšējā lauka izgaismojumu, lai redzētu vai tas dos iespēju iegūt vienādu krāsu un spilgtuma lielumu ar augšējo pusluku. Otrajā daļā tiek lūgts spiest attiecīgu instrumenta pogu, tādējādi norādot, ko cilvēks saskata, - labajā pusē spiež pogu, lai sniegtu pozitīvu atbildi par to, ka redz vienādus puslokus, vai arī spiež pogu kreisajā pusē, ja redz pēc krāsas un spožuma atšķirīgus stimula puslokus.

⁹ tiešsaiste – [atsauce 21.11.2019] Pieejams :

[https://www.goodlite.com/cw3/Assets/documents/HMC%20Anomaloscope%20Instruction%20Manual%20-%20202014.11\[1\]\[2\].pdf](https://www.goodlite.com/cw3/Assets/documents/HMC%20Anomaloscope%20Instruction%20Manual%20-%20202014.11[1][2].pdf)

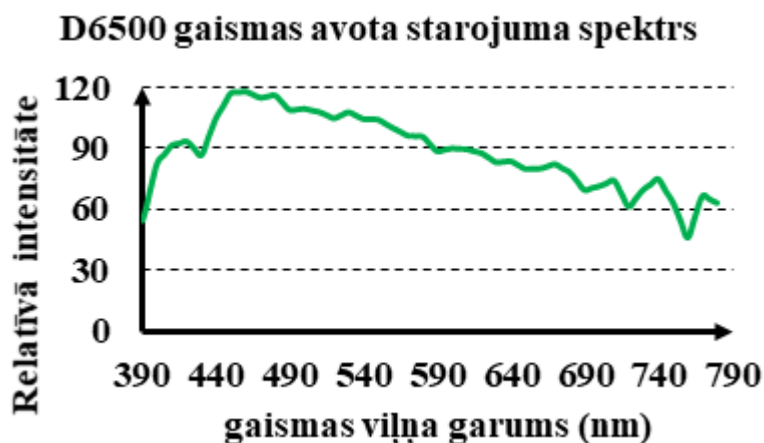
2. PĒTĪJUMA DAĻA

2.1. Metode

Pētījumā tika izmantots krāsu redzes uztveres matemātiskais modelis, kurā tiek modelētas RG(sarkani-zaļais) un BY(zili-dzeltenais) kanālu atbildes. Tās tika, ņemtas vērā atkarībā no gaismas avota spektra, *Farnsworth D15* testa kauliņu reflektantes profila, kā arī gaismas absorbcijas acs lēcā, makulas pigmentā un fotoreceptoros. Šis krāsu matemātiskais modelis nodrošina iespēju aprēķināt RG un BY signālu intensitāti, tādā veidā ļauj noskaidrot datorizētā krāsu sakārtošanas *Farnsworth D15* testam krāsu kauliņu secību atkarībā no testa spektrālā fona.

2.1.2. Gaismas avots

Matemātiskajā modelī ir izmantots CIE standartizētais gaismas spektrs D6500 (skat. 2.1. att.).

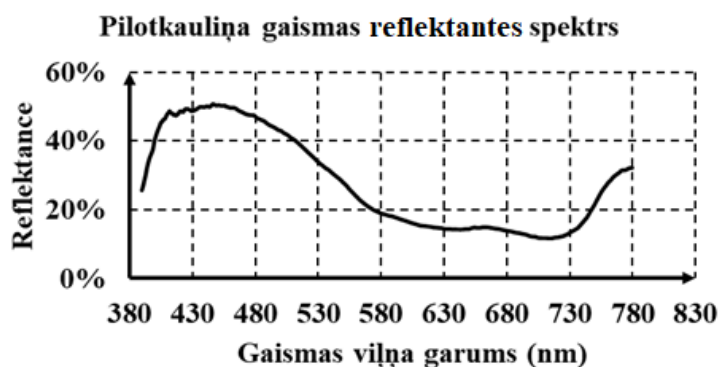


2.1.attēls. CIE standartizētais D6500 gaismas avota starojuma spektrs.

D6500 spektrs atbilst dabīgam gaismas avotam ar krāsu temperatūru, kas atbilst 6500 K. CIE standarta gaismas vērtības mainās ar soli 5 nm. Tika izmantota *MatLab* funkcija *interp*, lai ekstrapolētu D6500 gaismas avota apgaismojuma relatīvās intensitātes vērtības ar soli 1nm.

2.1.3. *Farnsworth D15* testa kauliņu reflektantes profils

Tika izmantots Latvijas Universitātes Fizikas, Matemātikas un Optometrijas un Redzes Zinātnes nodaļā pieejamais spektrometrs *OceanOptics 400 usb*, lai noskaidrotu *D15* testa piesātinātās krāsu kauliņu reflektantes profilus. Šie reflektantes profili ir nepieciešami, lai tiktu noteiktas *D15* testa kauliņu krāsu koordinātes dažādos apgaismojuma apstākļos (skat. 2.2. att.).

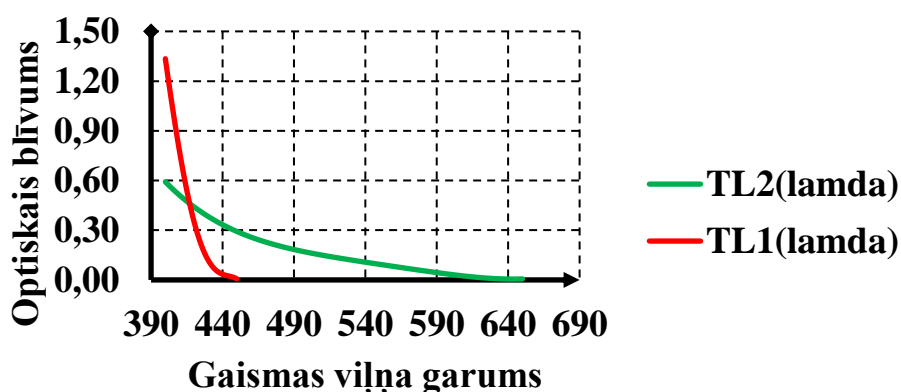


2.2. attēls. Piemērs *Farnsworth D15* testa kauliņa reflektantes profilam.

Gaismas avota spektrālais sastāvs un intensitāte nosaka testa kauliņu krāsu vērtību, tāpēc no testa kauliņiem atstarotās gaismas intensitāti un spektrālo sastāvu var noteikt, reizinot krāsu kauliņu reflektantes profilus ar gaismas avota spektru.

2.1.4. Acs lēca

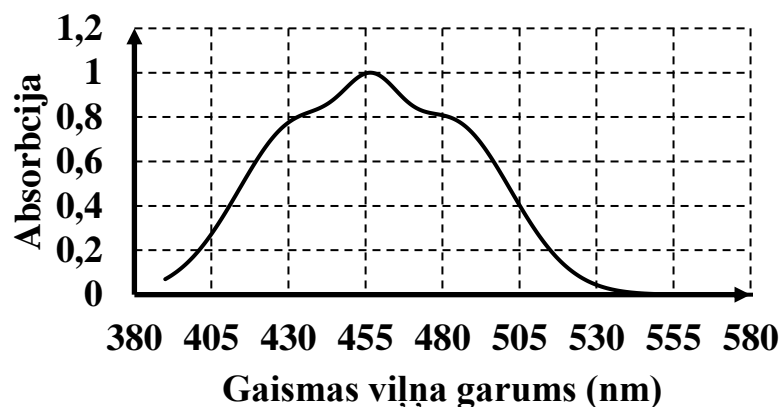
Acs lēcas gaismas absorbcijas efektus uz *D15* testa rezultātiem tika modelēts, izmantojot *Pokortny* (1987) piedāvāto divu faktoru acs lēcas blīvuma modeli, kas sevī ietver no vecuma neatkarīgus un, no vecuma atkarīgus komponentus. TL1 koeficients apzīmē cilvēku novecošanas procesu pēc 20 gadiem un acs lēcas optiskā blīvuma vērtības tiek aprēķinātas ar sakarību $TL(\lambda) = TL_1(\lambda)(1 + 0.02(\text{vecums} - 32)) + TL_2(\lambda)$. TL2 koeficients apzīmē cilvēkus, kuriem acs lēcas blīvums ir stabils. Cilvēkiem, kas vecāki par 60 gadiem lēcas absorbcijas efektus aprēķina ar sakarību $TL(\lambda) = TL_1(\lambda)(1.56 + 0.0667(\text{vecums} - 60)) + TL_2(\lambda)$. TL1 un TL2 koeficienti mainās ik pa 10 nm. Lai noskaidrotu acs lēcas gaismas absorbcijas aprakstošos koeficientus pēc soļa 1 nm, *Pokortny* publikācijās dotie TL1 un TL2 koeficienti tika aproksimēti ar ceturtais kārtas polinomu (skat. 2.3. att.).



2.3. attēls. *Pokortny* TL1 koeficientu vērtības un ekstrapolētās TL2 koeficientu vērtības.

2.1.5. Makulas pigments

Ar *Walraven* (1971) modeli tika aprēķinātas makulas pigmenta vērtības. Modeļa esošās vērtības tika normalizētas attiecībā pret makulas pigmenta absorbcijas spektra maksimumu, kas ir aptuveni 460nm. Tas samazina makulas jutību pret īsajiem gaismas viļņiem (skat. 2.4. att.).



2.4. attēls. Normalizētais makulas optiskā blīvuma spektrs, kas izskaitļots ar *Walraven* modeli.

Makulas pigmenta caurlaidības spektra noskaidrošanai tiek pielietota $I_{trans} = I_{inc} * 10^{-OD_M * MP(\lambda)}$ formula jeb optiskais blīvums, summa no gaismas absorbcijas, izkliedēšanas un atstarošanas. Vienādojumā I_{trans} apzīmē cauri izgājušās gaismas intensitāti, I_{inc} - krītošās gaismas intensitāti, $-OD_M$ ir makulas pigmenta optiskā blīvuma vērtība, $MP(\lambda)$ ir pigmenta nomogramma, kas tika izskaitļota, izmantojot *Walraven* vienādojumu (*Walraven*, et.al., 1971).

2.1.6. Fotoreceptori

Nomogrammas fotoreceptoriem tika aprēķinātas, izmantojot *Lamb* (1995) piedāvāto vienādojumu $S(\lambda) = \left(e^{a(A - \frac{\lambda_{max}}{\lambda})} + e^{b(B - \frac{\lambda_{max}}{\lambda})} + e^{c(C - \frac{\lambda_{max}}{\lambda})} + D \right)^{-1}$, kur $S(\lambda)$ apzīmē normalizēto gaismas spektrālo jutību, e ir konstante (2,71828), savukārt $A=0,88$, $B=0,924$, $C=1,104$ ir trīs pozīciju konstantes, bet $a=70$, $b=28,5$, $c=-14,1$ ir eksponentskaitļi, kā arī $D=0,655$ ir konstante, λ_{max} apzīmē fotopigmentu absorbcijas maksimumu un λ ir gaismas viļņa garums (*T.D. Lamb*, 1995). Savukārt, lai noskaidrotu intensitāti absorbētajai gaismai tīklenes fotoreceptoros, aprēķinos tika pielietots *Lamb* modelis, izmantojot sakarību $1 - 10^{-OD_i S_i(\lambda)}$, kur OD_i ir i-tā (1,2,3) fotoreceptora tipa optiskā blīvuma vērtība un, $S_i(\lambda)$, i-tā fotoreceptora nomogramma.

2.1.7. Fotoreceptoru ierosinājums

Lai uzzinātu, cik daudz katrs no *Farnsworth D15* testa krāsu kauliņiem ierosina katru no tīklenes fotoreceptoriem, tika izmantota šāda formula $(1 - 10^{-od_i S(\lambda)}) * I(\lambda) * R(\lambda) * 10^{-TL(\lambda)} * 10^{-OD * MP(\lambda)}$, kur gaismas avota spektrs tika reizināts ar D15 testa kauliņa reflektantes profilu, acs lēcas gaismas caurlaidības spektru, makulas pigmenta caurlaidības spektru un fotoreceptoru jutības spektru. Uzzinot katra fotoreceptora ierosinājuma līmeni un fona ierosinājuma līmeni, tika aprēķinātas fotoreceptoru kontrasta vērtības. Tās, raksturo ierosinājuma līmeni fotoreceptoriem, ko rada D15 testa krāsu stimuli salīdzinājumā ar apkārtējo testa spektrālo fonu. Savukārt, zinot fotoreceptoru ierosinājuma līmeņiem atbilstošās kontrasta vērtības, tika modelēti RG (sarkani-zaļās) un BY (zili-dzeltenās) krāsu kanālu signāli. Lai aprēķinātu krāsu kanālu ierosinājuma līmeni, tika izmantotas šādas formulas:

$$RG_i = \alpha(rg_L * C_L + rg_M * C_M + rg_S * C_S) \quad \text{un} \quad BY_i = \beta(by_L * C_L + by_M * C_M + by_S * C_S).$$

Izmantojot šos algoritmus, RG un BY vērtības tika aprēķinātas visiem D15 testa krāsu kauliņiem. Sakārtošanas secība krāsu kauliņiem tika noteikta noskaidrojot, kura no D15 testa kauliņiem RG un BY koordinātām atrodas vistuvāk pilot kauliņam, kas ir fiksēts, kā pirmais testa kaulis. Tika piefiksēts kauliņa numurs un tā RG un BY vērtības, kā arī noskaidrots nākamā kauliņa numurs, kas atrodas vistuvāk tikko atrastajam testa krāsu kauliņam. Darbību atkārtoja līdz brīdim, kad bija noskaidrota visa D15 testa krāsu kauliņu sakārtošanas secība.

2.1.8. Fonu izvēle

Pētījuma ietvaros mēģināts noskaidrot vai fona krāsa var ietekmēt testa krāsu kauliņu sakārtošanas secību cilvēkiem ar krāsu redzes deficītiem. Tika izvēlēts mainīt testa fonu krāsas no ahromātiska uz zili-zaļu, zilu, dzeltenu un sarkanu, jo šīs izmaiņas varētu dažādi ietekmēt vāļišu aktivitāti krāsu deficīta gadījumos. Ar dažādiem foniem, aktivizējot katru no vāļītēm dažādos stiprumos, saskaņā ar teoriju tiktu iegūti dažādi rezultāti ar katru fona krāsu. Tas ir saistīts ar to, ka, piemēram, ahromātisks fons vāļītes aktivizē vienādā daudzumā, savukārt zils fons vairāk aktivē vāļītes, kas ir jutīgākas pret īsajiem viļņa garumiem. Tādā veidā, mainot fona krāsas, tiktu iegūti dažādi rezultāti, pie nemainīgām fotoreceptoru maksimālajām absorbcijām. Izmantojot *Smith & Pokorny (1975)* vienādojumu (skat. 2.5. att.), pētījumā tika noskaidrota funkcijas CIE_{xy} krāsu telpā, kas apraksta gadījumus, kad S un L+M vāļišu signāli ir konstanti.

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.15514X & 0.54312Y & -0.03286Z \\ -0.15514X & 0.45684Y & 0.03286Z \\ 0 & 0 & 0.00801Z \end{pmatrix}$$

2.5. attēls. Smith & Pokorny (1975) vienādojums 1.

Pētījuma ietvaros tika veiktas darbības, lai noskaidrotu funkciju, kas apraksta gadījumus, kad S vāļišu ierosinājums ir ekvivalents to ierosinājumam ar ahromātisku stimulu. Tika pieņemts, ka ar S apzīmējam S vāļišu ierosinājuma līmeni un ar S_b , S vāļišu ierosinājuma līmeni, kad tās tiek stimulētas ar ahromātisku stimulu. Tika pieņemts, arī tas, ka stimulu spožums ir konstants, tas ir, $Y=Y_b$. Ja S vāļišu ierosinājums ir konstants, $S=S_b$, tad arī $Z=Z_b$ (skatīt. 2.5. att.). Lai noskaidrotu kādas x un y vērtības CIExy telpā atbilst gadījumiem, kad $S=S_b$ tika ievērotas sekojošas sakarības $x = \frac{X}{X+Y+Z}$, $y = \frac{Y}{X+Y+Z}$, $z = \frac{Z}{X+Y+Z}$ un $z = 1 - x - y$. Redzam, ka $X + Y + Z = \frac{Y}{y}$ un $X + Y + Z = \frac{Z}{z}$. No tā izriet, ka $\frac{Y}{y} = \frac{Z}{z}$. Izmantojot sakarību $z = 1 - x - y$, tika iegūts, ka $\frac{Y}{y} = \frac{Z}{1-x-y}$. Veicot algebriskus pārveidojumus, iegūst, ka $\frac{Y}{y} = \frac{Z}{1-x-y} \rightarrow yZ = Y - Yx - Yy \rightarrow y(Z + Y) = Y - Yx \rightarrow y = -\frac{xY}{Z+Y} + \frac{Y}{Z+Y}$. Tā kā pētījumā iepriekš definēts, ka S vāļišu ierosinājumam un stimulu spožumam jā saglabājas konstantam, tad $Z=Z_b$ un $Y=Y_b$, kur Z_b un Y_b atbilst ahromātiskajam stimulam, t.i., $y = -\frac{xY_b}{Z_b+Y_b} + \frac{Y_b}{Z_b+Y_b}$. Lai noskaidrotu funkciju CIExy krāsu telpā, kas apraksta gadījumus, kad L-M=konstants un $Y=Y_b$, pieņemta šāda sakarība: ja L-M=konstants, tad L-M=L_b-M_b, kur L_b un M_b ir ierosinājuma līmeņi ar ahromātisku stimulu. Lai vienkāršotu tālākos aprēķinus *Smith un Pokortny* vienādojuma koeficientus aizvietojam ar (skat. 2.6. att.):

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} aX & bY & cZ \\ dX & eY & fZ \\ 0 & 0 & gZ \end{pmatrix}$$

2.6.attēls. Vienādojums 2.

2.1.9. Fona spektri

Lai noskaidrotu spektrus, kuriem atbilst noteiktas x un y krāsu koordinātas, kas atbilst konstantam S vai L-M vāļišu ierosinājumam, tika izmantoti datora monitora kalibrācijas dati. Zinot, datora atsevišķo krāsu kanālu, R, G, B, spektrus un tiem atbilstošās x, y, Y koordinātas ir iespēja izskaitļot katram krāsu kanālam intensitāti, brīdī, kad tiek attēlots stimuls ar x, y un Y vērtībām Zinot, ka (skat. 2.7. att.), kur X_s, Y_s, Z_s ir stimula X, Y, Z integrāl summas, savukārt X_R, X_G, X_B, Y_R, Y_G, Y_B, Z_R, Z_G, Z_B ir stimulam atbilstošās krāsu kanālu integrāl summas.

$$\begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix}$$

2.7.attēls. Vienādojums 3.

Izmantojot iepriekšminētās CIE_{xy} krāsu telpas sakarības, tika vienkāršots vienādojums 3, respektīvi, lai noskaidrotu Y_R , Y_G , Y_B vērtības, tika izmantota Krāmera metode. Tādējādi uzzinot datora monitora krāsu kalibrācijas datus, tika modelēti gaismas starojuma spektri, kuriem atbilst noteiktas x , y , Y vērtības, tas ir, fonu krāsu koordinātu vērtības, kas nodrošina konstantu S vai L - M signālu.

2.1.10. Vingrys & KingSmith metode

Lai aprēķinātu krāsu kauliņu sakārtošanas secībām atbilstošās leņķiskās vērtības tika izmantota *Vingrys & KingSmith* metode. Iegūtās vērtības ļauj noskaidrot krāsu redzes deficīta veidu. Lai iegūtu leņķiskās vērtības, šajā metode analizē nevis testa krāsu kauliņu secību, bet katra pāra jeb divu sekojošo kauliņu secību. Piemēram, ja ir secība, 1.,2.,3.,15. utt., tad apskata 1. un 2. kauliņa, 3. un 15. kauliņa, krāsu atšķirības vērtības CIE_{Luv} krāsu telpā. Tiklīdz ir precīzi zināma katra krāsu kauliņa vērtība CIE_{Luv} krāsu telpā, un, zinot arī testā salikto krāsu kauliņu sakārtošanas secību, CIE_{Luv} krāsu telpā bija iespējams aprēķināt krāsu atšķirības vērtības. Respektīvi, katram kauliņu pārim, tika izrēķināta RG un BY kanāla intensitātes atšķirība.

Saskaņā ar *Vingrys.A.J. et al.* (1988), lai novērtētu krāsu redzes deficītus, ierosināts pielietot kvantitatīvo punktu aprēķināšanas paņēmienu krāsu sakārtošanas testiem, tā kā klīnikas praksē pielieto grafiskos paņēmienu. Attiecīgi pētījuma nolūkā noskaidrot krāsu redzes deficīta tipu, tika izmantota lineārā funkcija, $\Delta V^* = K\Delta U^*$, kas apraksta minimālo attālumu no funkcijas līdz katru nākamo divu secīgo krāsu kauliņu krāsu atšķirību vērtībām ΔU^* un ΔV^* asīs. Autore iesaka izmantot inerces momenta metodi, lai noskaidrotu iepriekš minēto funkciju. Pētījuma aprēķinos, izmantojot iepriekš minēto *Vingrys.A.J. et al.* (1988) metodi un pielietojot trigonometriskās funkcijas, excel un *MatLab* vidē, tika iegūti kļūdaini rezultāti. Šī problēma ir skaidrojama ar to, ka datorprogrammas trigonometrisko funkciju leņķiskās vērtības atšķiras no vispārpieņemtajām, tas ir, 0 grādi atrodas pret 90 grādiem un palielinās pulksteņrādītāja pretējā virzienā. Tādēļ pētījumā tālāk tika pieņemta cita metode, aprēķinot slīpuma koeficientus, no kura tālāk tika aprēķinātas leņķiskās vērtības. Tādā veidā nav nepieciešams papildus rezultātu interpretācija. Lai noskaidrotu funkciju, kas apraksta kurā no virzieniem ΔU , ΔV krāsu telpā ir redzama lielākā krāsu vektoru atšķirības, secīgi pētījumā

tika izmantota lineārā ortogonālā regresija, jo tā dod iespēju vienkāršot nepieciešamos aprēķinus.

2.2. Pētījuma gaita

Pētījumā katram fonam, kopumā četriem, zili-zaļajam, sarkanam, dzeltenam un zilam, tika modelēta krāsu kauliņu sakārtošanas secība ar noteiktu krāsu redzes deficīta S, M, L vāļišu fotoreceptoru maksimālo absorbciju nm un to optisko blīvumu. Tas ir, deitan krāsu redzes deficītam S vāļišu maksimums (420nm) un L vāļišu maksimums (560nm) netika mainīts, jo tas neatšķiras no normas. Taču tika mainīta M vāļišu maksimālā absorbcija.

Izveidotajā krāsu redzes uztveres matemātiskajā modelī, kas tika izstrādāts *Microsoft Excel* datnē, tika ievadītas maksimālās absorbcijas, S(420), M(520), L(560). Lai iegūtu zili-zaļu fonu, matemātiskā modeļa *Microsoft Excel* šūnā tika ievadīts skaitlis 1, bet pārējiem foniem ievadīja 0. Izmantojot modeli, kurā tika ievadīti noteikti vāļišu un fonu aprakstošie parametri, tika noskaidrotas katram kauliņam atbilstošās RG un BY signālu vērtības un krāsu kauliņu sakārtošanas secība. Tika pieņemts, ka, no šiem iegūtajiem datiem, var secināt, kāda tipa un izteiktība ir krāsu redzes deficītam. Tālāk šī pati secība ar konkrētajiem absorbcijas maksimumiem tika veikta ar pārējiem 3 foniem. Iegūstot par katru fonu 1 *Vingrys & KingSmith* alfa datus, tika mainīta M vāļišu maksimālā absorbcija par 5 nm tuvāk L vāļišu maksimumam. Tas tika darīts, lai modelētu izteiktāku deitan krāsu redzes deficītu. Pēc tam tika atkārtotas visas iepriekš minētās darbības. M maksimālā absorbcija katru reizi tika palielināta par 5 nm līdz tā sasniedza 560 nm. Šie paši mērījumi tika veikti, izmantojot arī ahromātisku fonu. Lēcas absorbcijas efekti tika modelēti ar *Pokorny* modeli, pieņemot, ka pacienta lēcas absorbcijas īpašības atbilst 20 gadus vecai personai.

2.3. Datu apstrāde

Pētījumā iegūtie dati tika apkopoti un apstrādāti, izmantojot *Microsoft Excel*. Tika izmantoti tikai deitan krāsu redzes deficīta iegūtie dati. Protan krāsu redzes deficīta datus, jo tie tika iegūti neprecīzi. Attiecīgi, nebija zināmi visi nepieciešamie parametri, lai modelētu RG un BY signālus protan krāsu redzes deficīta gadījumos. Iegūtie *Vingrys & KingSmith* alfa dati tika salīdzināti ar pieņemtajām normām, kas nosaka krāsu redzes deficīta veidu (skat. 2.1. tab.).

Ierosinātie *Vingrys & KingSmith* paredzami rādītāji (Vingrys.A.J. et al.,1988).

Krāsu redzes defekts	<i>Vingrys & KingSmith</i> alfa leņķis
Normāla	+62
Deitan	-11...-4
Protan	0...+30
Tritan	0...-70

2.4. Rezultāti un to analīze

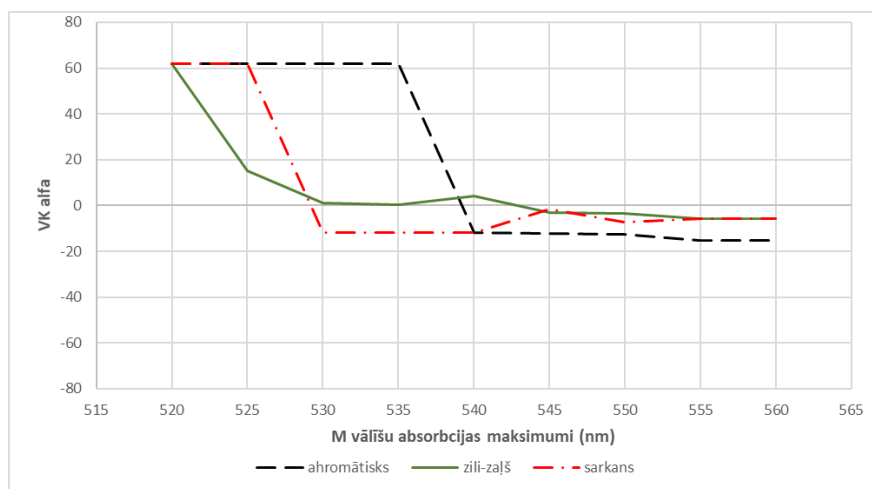
Šis pētījums tika veikts, lai noskaidrotu vai ar krāsu uztveres matemātisko modeli, kuru izstrādāja darba vadītājs, var noteikt fona ietekmi uz *Farnsworth D15* testa rezultātiem. Pētījumā tika izvērtēta krāsaino fonu ietekme uz deitan krāsu redzes deficīta rezultātiem ar zili-zaļu, sarkanu, dzeltenu un zilu fonu. Savā starpā tika salīdzināti zili-zaļā un sarkanā fona rezultāti, dzeltenā un zilā fona rezultāti.

Tika salīdzināts zili-zaļais un sarkanais fons, pamatojoties uz to, ka S vāļišu ierosinājums ir vienāds, taču atšķiras tikai L un M vāļišu ierosinājums. Konstatēts, ka uz zili-zaļā fona M vāļišu ierosinājums ir lielāks nekā L vāļišu ierosinājums. Savukārt uz sarkanā fona tas ir apgriezti, L vāļišu ierosinājums ir lielāks nekā M vāļišu ierosinājums. S signāls abiem foniem tika izvēlēts nemainīgs. Savukārt dzeltenais un zilais fons savstarpēji tika salīdzināts, jo šajos gadījumos mainās S vāļišu ierosinājums, bet L un M ierosinājumu summa saglabājas.

Salīdzinot iegūtos rezultātus ar zili-zaļo, sarkano un ahromātisko fonu (skat. 2.8. att.), pie 520nm var novērot, ka *Vingrys & KingSmith* (V&K) alfa leņķi ir vienādi un norāda uz normālu krāsu redzi. No 530nm M vāļišu maksimālās absorbcijas, var novērot, ka krāsu kauliņu sakārtošanas secībām atbilstošās leņķiskās vērtības, kas aprēķinātas ar V&K metodi, kļūst negatīvi robežās, no -12 līdz -7 uz sarkanā fona un, no 1 līdz -7 uz zili-zaļā fona. Var secināt, ka uz sarkanā fona iegūtais V&K alfa leņķis liecina par izteiktāku deitan krāsu redzes deficītu nekā tas ir uz zili-zaļā fona. Ja cilvēkam ar deitan krāsas deficītu M vāļišu maksimālā absorbcija ir pie 530nm, tad uz sarkanā fona varētu iegūt neprecīzākus datus nekā tas būtu, ja tiktu izmantots zili-zaļais fons. Tas varētu būt saistīts ar to, ka uz zili-zaļā fona tiek vairāk aktivizētas M vāļītes, kas ir jutīgas pret vidējiem gaismas viļņiem. Savukārt uz sarkanā fona L vāļītes darbojas aktīvāk, kas ir jutīgas pret garajiem gaismas viļņiem.

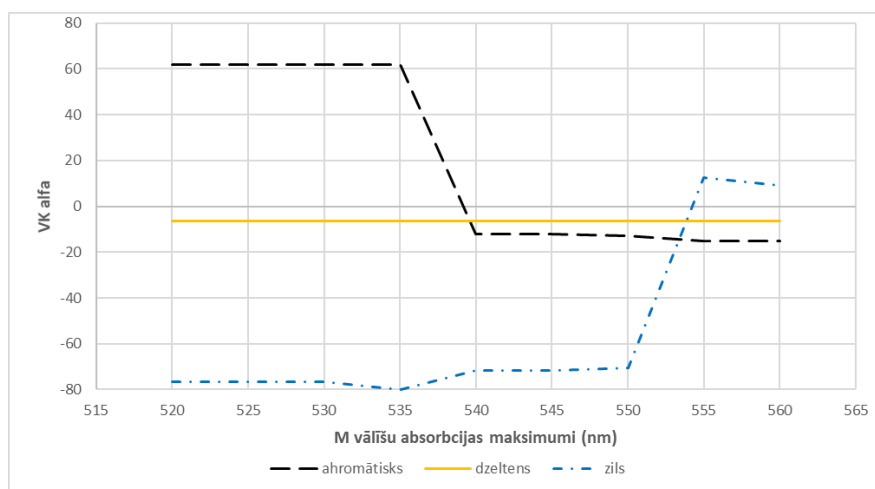
Ar ahromātisko fonu posmā no 520nm līdz 535nm iegūtie rezultāti liecina par normālu krāsu redzi. Tālāk no 535nm šie rezultāti samazinās un pie 540nm iegūtas V&K alfas leņķis, raksturo deitan krāsu redzes deficītu. Krāsu redzes deficīta izteiktība uz sarkanā fona samazinās,

kad M vāļišu absorbcijas maksimums tiecas uz L vāļišu maksimumu. Tas redzams posmā, kad M vāļišu absorbcijas maksimums mainās no 530nm līdz 545nm (skat. 2.8. att.). Tas varētu būt skaidrojams ar to, ka M un L vāļišu aktivitātes atšķirības samazinās. Posmā no 550nm līdz 560nm var novērot, ka rezultāti kļūst vienādi uz abiem foniem, jo gan M, gan L vāļītes tiek aktivētas vienādā daudzumā.



2.8.attēls. Zili-zaļā, sarkanā un ahromātiskā fona rezultātu salīdzinājums.

Ja salīdzina rezultātus, kas iegūti uz dzeltenā, zilā un ahromātiskā fona, tad ar dzelteno un zilo fonu iegūtie, ļoti atšķiras no tiem, kas iegūti ar ahromātisko fonu. Var secināt, ka V&K alfa leņķis uz dzeltenā fona nemainās un atbilst diezgan precīzi rādītājiem, ko ierosinājis Vingrys.A.J. et al.(1988) (skat. 2.9. att.).



2.9.attēls. Dzeltenā, zilā un ahromātiskā fona rezultātu salīdzinājums.

Tā kā šajā pētījumā tika skatīts deitan krāsu redzes deficīts, kas ir sarkani-zaļai krāsu redzes deficīts, tad summējot sarkanos un zaļos stimulus iegūst dzeltenu krāsu. Tādā veidā, ja testa fons ir dzeltens, tad testa kauliņu krāsās būtiskas izmaiņas neredz jeb visi stimuli ir redzami vienādi. Uz zilā fona iegūtie rezultāti vairāk atbilst tritan krāsu redzes deficītu V&K alfas leņķu rādītājiem, to var redzēt posmā no 520nm līdz 550nm. Tas varētu būt saistīts ar to, ka uz zilā fona vairāk tiek aktivēti S vāļišu fotoreceptori, kas ir jutīgi pie spektrāli redzamās gaismas, kas ir zilie toņi. Tā kā dzeltenā krāsa ir saistīta ar vidējiem gaismas viļņiem, bet zilā krāsa ar īsajiem gaismas viļņiem, tad uz dzeltenā fona varētu būt vieglāk izšķirt krāsu spektru, kas saistīti ar M un L vāļītēm. Savukārt uz zilā fona M un L vāļītes nespēj tik viegli izšķirt krāsu spektru, kas saistīts ar īso gaismas viļņu spektru. Šī iemesla dēļ uz zilā fona varētu rasties vairāk kļūdu testa kauliņu sakārtošanas secībā nekā uz dzeltenā fona.

Izmantojot matemātisko modeli un, mainot fona krāsas, rezultātā tika ietekmēta vāļišu jutība *Farnsworth D15* testā, kas ietekmēja kauliņu salikšanas secību. Katrs no krāsainajiem foniem salikšanas secību ietekmēja savādāk, taču ar ahromātisko fonu tika iegūti vislabākie dati, lai noteiktu krāsu redzes deficītu. Ar zili-zaļo un sarkano fonu tika iegūti dati, kas līdzinājās ahromātiskā fona rezultātiem. Savukārt ar dzeltenu fonu un zilo fonu tika iegūti, iespējams, maldinoši vai vismaz neviennozīmīgi interpretējami dati par krāsu redzes deficītu, tie atšķīrās gan no ahromātiskā fona rezultātiem, gan no tādiem, kas tiek piemēroti normālas krāsu redzes un arī deitan krāsu redzes deficīta gadījumos.

Pētījumā iegūto datu analīzes rezultātā konstatējamas, ka ar pētījumā izmantoto matemātisko krāsu uztveres modeli, ir iegūti tādi paši rezultāti, par ahromātisko un zilā fona ietekmi uz *Farnsworth D15* testa rezultātiem kā jau izpētījis *Tseng, F., Y. (2010)* apskatot fona ietekmi uz *FM 100* testa rezultātiem un konstatējot, ka ar melno jeb ahromātisku testa fonu cilvēki pieļāva mazāk kļūdu nekā ar brūnu fonu un ar zilu fonu tika pieļautas visvairāk kļūdu.

Secinājumi

1. Izmantojot matemātisko krāsu uztveres modeli, ir iespējams noteikt fona ietekmi uz *Farnsworth D15* testa kauliņu sakārtošanas secību, jo izmantojot zili-zaļo un dzeltenu fonu, pie vienādiem fotoreceptoru absorbcijas maksimumiem, V&K alfas vērtības ir atšķirīgas .
2. Precīzākos rezultātus ir iespējams iegūt izmantojot modeļa ahromātisko fonu, jo trīs tipu vāļītes tiek aktivētas vienādi un tiek iegūta vienādi augsta jutība.
3. Lielākās kļūdas datus novēroja, izmantojot dzeltenu un zilu fonu, jo lielāka jutība bija S vāļītēm nevis M vāļītēm, kurām deitan krāsu redzes deficīta gadījumā ir izmantīts absorbcijas maksimums. Dzeltenā fona iegūtās V&K alfas vērtības, atbilst deitan krāsu redzes deficīta rezultātiem, taču ar zilo fonu – deitan un tritan krāsu redzes deficītam.
4. Izmantojot matemātisko modeli, kas balstās uz modelētu krāsu kanālu signālu ierosinājuma līmeņa aprēķiniem, ir iespējams noskaidrot, ar kuru fonu var iegūt vāļīšu fotoreceptoru augstāko jutību un kā tas ietekmē deitan krāsu redzes deficīta rezultātus.

Nobeigums

Visvairāk ir atrodamī pētījumi, kas apskatīti praksē, par to, kā fons un apgaismojums ietekmē iegūtos rezultātus un testa izpildes ātrumu *FM 100* krāsu sakārtošanas testam, cilvēkiem ar un bez krāsu redzes deficītiem, šajā pētījumā tika apskatīts, kā selektīvi adaptējot, kādu no vāļišu tipiem var iegūt augstāku jutību, izmantojot ahromātisku un krāsainus fonus *Farnsworth D15* testā un kā tas ietekmē rezultātus. Salīdzinot šī pētījuma datus ar *Tseng, F., Y. (2010)* darbā iegūtajiem, tie ir diezgan līdzīgi, jo mainot fona krāsas, tika ietekmēti *FM 100* testa iegūtie rezultāti, sekojoši, ar ahromātisku fonu tiek iegūta augstāka fotoreceptoru jutība un ar zilo fonu tiek iegūta daudz zemāka fotoreceptoru jutības.

Darbā izvirzītā hipotēze apstiprinājās, jo, balstoties uz ierosinātajiem *Vingrys.A.J. et al.,(1988)* rezultātiem krāsu sakārtošanas testiem, izmantojot matemātisko krāsu uztveres modeli, ir iespēja izvērtēt deitan krāsu redzes deficīta rezultātus atkarībā no *Farnsworth D15* fona.

Turpmākajos pētījumos būtu jāpapildina un jāuzlabo izmantoto matemātisko krāsu uztveres modeli, lai palielinātu RG un BY krāsu kanālu ierosinājuma līmeni. Tādā veidā tiktu iegūti vēl precīzāki dati, lai paredzētu, kā krāsains fons ietekmē vāļišu jutību un rezultātus. Būtu iespējams pētīt ne tikai deitan krāsu redzes deficītu, bet arī protan un tritan krāsu redzes deficītus. Būtu nepieciešams iegūtos rezultātus pārbaudīt praksē, pētījumā iesaistot dalībniekus ar un bez krāsu redzes deficītiem. Tas atļautu pārlicināties vai iegūtie secinājumi ar matemātisko modeli, atbilst praksē iegūstamiem rezultātiem.

Pētījums dod papildus ieskatu, kā fona izmaiņas ietekmē vāļišu fotoreceptoru jutību un, kā tiek ietekmēti deitan krāsu redzes deficīta rezultāti. Iegūtie rezultāti liecina, ka visi trīs vāļišu tipi ir vienlīdz jutīgi, izmantojot ahromātisku fonu. Izmantojot fonu, kas pastiprināti aktivē, vienu no trim vāļišu tipiem, var iegūt maldinošus datus par to, kāds patiesībā ir cilvēka krāsu redzes deficīts. Attiecīgi šis bakalaura darbs var dot vērtīgu papildus informācijas bāzi turpmākajiem un to atziņu pielietošanai praksē.

Pateicības

Vēlos teikt paldies darba vadītājam Renāram Trukšam, par palīdzību un ieteikumiem bakalaura darba veidošanas procesā un matemātiskā modeļa izstrādāšanā, lai taptu šis pētījums.

Paldies pasniedzējiem, draugiem un ģimenei par palīdzību un atbalstu bakalaura darba veidošanas procesā.

Izmantotā literatūra

- Anthony, J. A. (2006). *Color Vision*.
- Hanson, A. R. (2017) *The Textil Institute Book Series, Colour Designe*, Theories and Application, second edition, 18-662.
- Barbura, J. L., et al. (2008). *A study of unusual Rayleigh matches in deutan deficiency*. Visual Neuroscience, 25(03), 507-516.
- Barry, L. (2007). *Assessment of inherited colour vision defects in cilnical practice*. Clinical an experimental optometry, 90, 157-175.
- Brettel, H. (1997). *Computerized simulation of color appearance*. Optical Society of America.
- Conway, B. (2006). *Color Vision, Neural Basis of*. Encyclopedia of Cognitive Science.
- Cruz, M. (2010). Prevalence of color-vision deficiency among male high-school students. *PHILIPPINE JOURNAL OF Ophthalmology*, 35(1).
- Dain, J. (2004). Clinical colour vision tests. 87: 4-5, 276-293.
- Dartnall, H., Bowmaker, J., & Mollon, J.(1983). Human visual pigments: microspectrophotometric results from the eyes of seven persons. *Proceedings of the Royal Society of London, B* 220, 115-130.
- Derrington, A.M., Krauskopf, J., & Lennie, P. (1984). Chromatic Mechanisms in Lateral Geniculate Nucleus of Macaque. *Journal of Physiology*, 375, 241-265.
- Douglas, A. Kerr (2010) *The CIE XYZ and xyY Color Space*
- Fara, P. (2015). *Newton shows the light:a commentary on Newton (1672) 'A letter... containing his new theory about light and colours..'*. The royal society .
- Goldstein, B. (2010). *Sensation and Perceotion*. Wadsworth Cengage learning, 2.
- Jagel, H., & Pirzer, M. (2005). The Nagel anomaloscope: its calibration and recommendations for diagnosis and research. *Albrecht von Graæes Archiv für Ophthalmologie*, 243, 26-32.
- Kalloniatis, M., & Luu, C. (2007). *Color Perception*.
- King, T. (2005). Human Color Perception, Cognition and Culture: Why "Red" is Always Red. *The Reporter "The window on imagine"*, 20(1).
- Lamb, T. (2016). *Why rods and cones?* Eye, 30, 179-185.
- Lamb T.D. (1995) *Photoreceptor spectral sensitivities: Common shape in the long-wavelength region*, Vision Research, Volume 35, Issue 22, pp: 3083-3091.
- Lee, B. (2008). *The evolution of concepts of color vision*. Neurociencias. Author manuscript, 4, 209-224.
- MacLeod, D. I., & Boynton, R. M. (1979). Chromaticity diagram showing cone excitation by stimuli of equal luminance. *Journal of the Optical Society of America*, 69(8), 1183–1186.
- Mahy,M., Eycken Van, L., Ooserlinck, A. (1994) *Evaluation of Uniform Color Spaces Developed after the Adoption of CIELAB and CIELUV*.
- Mandal, A. (2019). *Classification of Color Blindness Deficiencies*. News Medical Life Sciences

- Marshak, D. (2010). *Retinal Ganglion Cells: Anatomy*.
- Melamud, A., et al. (2004). *Color vision testing. Ophthalmic Genetics*, 25(3), 159-187.
- Miller, S. S. (1972). Psychophysical estimates of visual pigment densities in red– green dichromats. *Journal of Physiology*, 223, 89–107.
- Ming, R.,L., et.al. (2007) *CIE Color Appearance Models and Associated Color Spaces*
- Neitz, M., & Neitz, J. (2000). *Molecular Genetics of Color Vision and Color Vision Defects*. Mechanisms of ophthalmic disease, vol.118.
- OCULUS. INSTRUCTION MANUAL Examination of Colour Vision. *Instruction Manual HMC-Anomaloskop*.
- Palmer, S. E. (2010). *VISUAL AWARENESS*.
- Pauli, R. (2010). *Opponent Processes In Colour Vision: What Can Afterimages Teach Us?* University of Birmingham.
- Pokorny J., Smith ,V. C. (1987). Aging of the human lens, *Appl. Opt.* 26, 1437–1440.
- Rennner,A.B. et al.(2004). *Photopigment optical density of the human foveola and a paradoxical senescent increase outside the fovea*. *Visual Neuroscience*, 21(06), 827–834.
- Rubin, A., Hasrod, N. (2016). Defects of colour vision: A review of congenital and acquired colour vision deficiencies. *African Vision and Eye Health*, 75(1).
- Schiller, H. (2015). *Vision and the visual system*. Oxford University Press, 1.
- Schneck, E. (2014). Comparison of Panel D-15 Tests in a Large Older Population. *91(3)*, 284–290.
- Schwiegerling,J, (2004) *Field Guide to Visual and Ophthalmic Optics*, SPIE Press, Bellingham, 66-73.
- Simunovic, M. (2009). Color vision deficiency. *Eye*, 747-755.
- Squire, T., & Rodriguez-Carmona, M. (2005). Color Vision Tests for Aviation: Comparison of the Anomaloscope and Three Lantern Types. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 76(5).
- Thomas, P.B.M. et.al. (2011). The effect of photopigment optical density on the color vision of the anomalous trichromat. *Vision Research*, 51(20), 2224-2233.
- Tseng, F.,Y., Chao, C.,J., Feng, W.,Y., & Hwang, S.,L. (2010). Assessment of Human Color Discrimination Based on Illuminant Color, Ambient Illumination and Screen Background Color for Visual Display Terminal Workers. *Industrial Health*, 48(4), 438–446.
- Vingrys A. J. and E. K. Smith, “A quantitative scoring technique for panel tests of color vision,” *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.* 29, 50–63 (1988).
- Viscarra Rossel R.A., Minasny, B, Roudier P., McBratney A.B. (2006). Colour space models for soil science. *Geoderma*, 133(3-4), 320-337.
- Walraven, P. L., Vos, J. J. (1971). *On the derivation of the foveal receptor primaries. Vision Research*, 11(8), 799–818.
- Zwinkels Joanne (2015) *Light, Electromagnetic Spectrum*. *Encyclopedia of Color Science and Technology*. 204, 1-8.

Bakalaura darbs „Fona ietekme uz *Farnsworth D15* testa rezultātiem” izstrādāts LU Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā noslēguma darba elektroniskā versija parakstīta ar drošu elektronisko parakstu.

Autors: _____ Laura Elīte

(studenta paraksts)

Rekomendēju/nerekomendēju bakalaura darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: lektors, Prof.mag. Renārs Trukša _____ 25.05.2020.

(vadītāja paraksts)

(datums)

Recenzents: dokt. Kristīne Kalniča-Dorošenko

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā 25.05.2020.

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Lāsma Štāle _____

(personiskais paraksts)

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____._____.2020. protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: lektore Anete Petrova _____

(personiskais paraksts)