

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

**MAKULAS PIGMENTA OPTISKĀ BLĪVUMA
IETEKME UZ HROMATISKO IZŠKIRTSPĒJU**

BAKALAURA DARBS

Autors: **Klīta Kronberga**

Studenta apliecības Nr. kz16017

Darba vadītājs: lektors, Prof.mag. Renārs Trukša

RĪGA 2019

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs uzrakstīts latviešu valodā uz 26 lapām, satur 22 attēlu, 1 tabulu, 2 pielikumus un 27 atsauces uz literatūras avotiem.

Darba mērķis: izpētīt makulas pigmenta optiskā blīvuma ietekmi uz hromatisko izšķirtspēju, salīdzinot datus no CCT un CAD testiem.

Dalībnieki: 29 dalībnieki (18-29 g.v.) bez krāsu redzes defektiem

Metode: hromatiskā izšķirtspēja tika noteikta ar CCT un CAD testiem, un makulas pigmenta optiskais blīvums noteikts ar MPOD ierīci.

Rezultāti: Noskaidrots, ka makulas pigmenta optiskajam blīvumam nav statistiski būtiskas ietekmes uz hromatisko izšķirtspēju. CCT un CAD testu rezultāti statistiski būtiski atšķiras, šai noteiktajai dalībnieku grupai.

Atslēgas vārdi: Makulas pigmenta optiskais blīvums, hromatiskā izšķirtspēja, normāla krāsu redze, datorizēts krāsu redzes tests.

ABSTRACT

Paper written in Latvian and consists of 26 pages, 22 pictures, 1 table and 2 attachments

Aim of the research: Explore macular pigment optical density effect on chromatic resolution, comparing data from CCT and CAD tests.

Participants: In this study participated 29 people (18-29 years old) without colour vision defects.

Methods of research: Chromatic resolution was determined with CCT and CAD tests and macular pigment optical density with MPOD device.

Results of the research: Clarified that macular pigment optical density doesn't have statistically significant effect on chromatic resolution. Results of CCT and CAD tests statistically significantly differ for this group of participants.

Key words: Macular pigment optical density, chromatic resolution, normal colour vision, computerized colour vision test.

SATURS

IEVADS	1
1. LITERATŪRAS APSKATS	2
1.1. Krāsu redze	2
1.1.1. Trihromātiskā teorija	2
1.1.2. Oponentā teorija	3
1.1.3. Modernā oponentā teorija	3
1.1.4. Modernā krāsu redzes teorija	4
1.2. Makulas pigments un tā ietekme uz krāsu redzi	4
1.2.1. Makula	4
1.2.2. Makulas pigments	5
1.2.3. Makulas pigmenta optiskā blīvuma ietekme uz krāsu redzi	6
1.2.4. Optiskais blīvums	7
1.2.5. Makulas pigmenta optiskais blīvums	7
1.3. Krāsu telpas	8
1.3.1. Munsell krāsu telpa	8
1.3.2. CIE krāsu telpa	9
2. PĒTĪJUMS	12
2.1. Metodika	12
2.1.1. Dalībnieki	12
2.1.2. Ierīces	12
2.1.2.1. CCT tests	12
2.1.2.2. CAD tests	13
2.1.2.3. MPOD ierīce	13
2.2. Rezultāti	14
2.2.1. MPOD testa rezultāti	14
2.2.2. CCT testa rezultāti	16
2.2.3. CAD testa rezultāti	17
2.2.4. CAD testa un CCT testa dzelten-zilā virziena salīdzinājums	18
2.2.5. CAD testa un CCT testa salīdzinājums	19
SECINĀJUMI	22
NOBEIGUMS	23
PATEICĪBAS	24
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	25
1. PIELIKUMS	27
2. PIELIKUMS	32

IEVADS

Redze ir viena no svarīgākajām cilvēka maņām ar ko tiek uztverta liela daļa apkārt notiekošā. Redzes uztveri var iedalīt vairākās daļās, viena no tām ir arī krāsu redze. Ir svarīgi izprast, kas veido un ietekmē krāsu redzi, kura ir balstīta uz viļņu garuma vai frekvences uztveršanu (Jeremy Nathans, 1986). Ir skaidri zināms, ka krāsu redzi nodrošina fotoreceptori, bet pētījumi parāda, ka fotoreceptori nav vienīgie, kas to ietekmē. Ir apstiprināts, ka makulas pigmentam ir būtiska ietekme uz krāsu uztveri, jo makulas pigments absorbē ievērojamu daļu gaismas redzamās gaismas īso viļņu spektra daļā, tādējādi samazinot S vāļišu signālu intensitāti. Galvenokārt, makulas pigments sastāv no luteīna un zeaksantīna, ko pārsvarā cilvēks iegūst no uztura (Billy R. Hammond, 1998). Optiskais blīvums raksturo, cik daudz gaismas tiek absorbēts pigmentā. Ir zināms, ka makulas pigments ietekmē hromatisko izšķirtspēju, ja mērījums tiek veikts ar dinamiskiem stimuliem. Mūsdienās ir divi būtiski atšķirīgi datorizēto testu dizaini CCT un CAD, kur pēdējais no tiem satur dinamisko komponenti, tiek ierosināts izvērtēt vai hromatiskās jutības sliekšņu vērtības, kas noskaidrotas ar abiem testiem ir būtiski atšķirīgas, kā arī to vai CAD testa rezultātus ietekmē gaismas absorbcija makulas pigmentā.

Šī **darba mērķis** ir izpētīt makulas pigmenta optiska blīvuma ietekmi uz hromatisko izšķirtspēju, salīdzinot datus no CCT un CAD testiem.

Darba uzdevumi:

1. Novērtēt makulas pigmenta optisko blīvumu;
2. Novērtēt hromatisko izšķirtspēju ar CCT un CAD testiem;
3. Salīdzināt testos iegūtos rezultātus;
4. Noskaidrot sakarības starp makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko izšķirtspēju.

Hipotēze: Makulas pigmenta optiskais blīvums būtiski neietekmē hromatisko izšķirtspēju dzelten – zilajā hromatiskajā virzienā.

1. LITERATŪRAS APSKATS

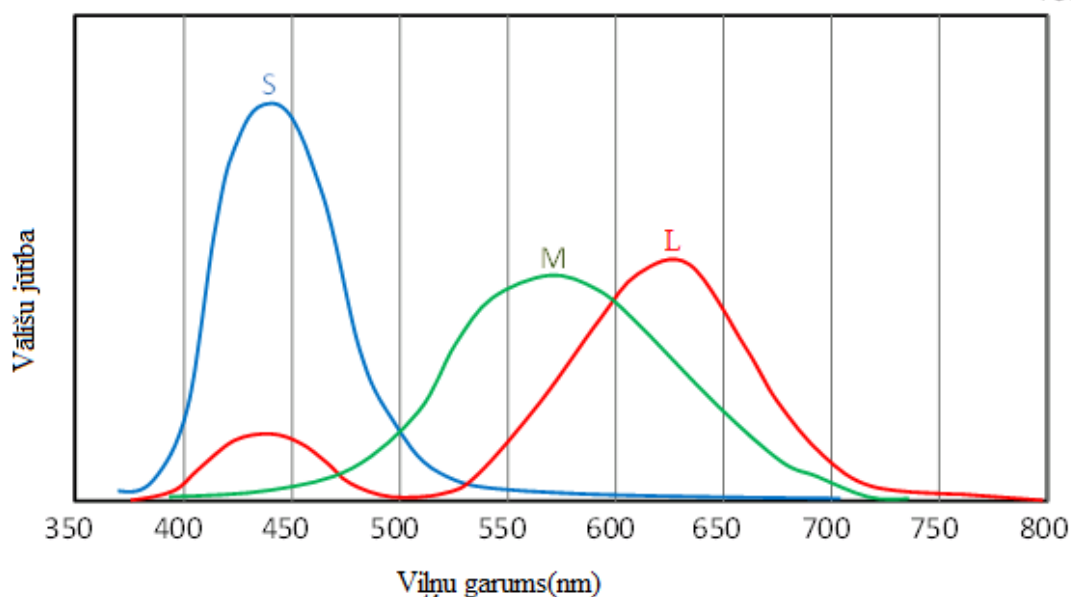
1.1. Krāsu redze

Krāsu redze nodrošina iespēju izšķirt atstarotās vai izstarotās gaismas spektrālo sastāvu. Kad tiek mainīts stimula viļņu garums, mainās arī uztvertā krāsa (Jeremy Nathans, 1986). Sākotnēji tika uzskatīts, ka cilvēkam ir daudz dažādas vāļītes ar atšķirīgu spektrālo jūtību. Respektīvi, ka katrai krāsai ir sava vāļīte, kas to uztver. Šī modeļa problēma ir tā, ka cilvēks ir spējīgs uztvert miljoniem krāsu, un sanāktu, ka cilvēkam ir nepieciešamas miljoniem dažādu vāļīšu (Schwartz, 1999).

1.1.1. Trihromātiskā teorija

1802. gadā Thomas Young izstrādāja alternatīvu teoriju, uz kuru balstās modernā krāsu redzes zinātne. Thomas Young savā teorijā minēja, ka iespējams pastāv 3 veidu vāļītes, kurām ir noteikta spektrālā jūtība, savstarpēji salīdzinot dažādo vāļīšu tipu signālus tiek nodrošināta dažādu hromatisko un ahromatisko stimulu izšķiršana. Līdz ar to Thomas Young tiek uzskatīts par trihromātiskās teorijas pamatlicēju (Young T., 1802).

Šajā teorijā tiek pieņemts, ka cilvēkam ir 3 dažādi fotopigmenti, kuru absorbcijas maksimumi ir pie dažādu viļņu garuma, bet absorbcijas spektri pārklājas (skat. 1.1. att.).



1.1. att. Fotopigmentu absorbcijas spektri (Young T., 1802)

Vēlāk pētnieks Hermann von Helmholtz papildināja Young izstrādāto teoriju. Helmholtz ierosināja, ka 3 veidu vāļītes reaģē vai nu uz īso viļņu, vidējo viļņu vai garu viļņu redzamās gaismas spektru. Ar krāsu saskaņošanas eksperimenta palīdzību, kurā dalībniekiem bija jāizmaina trīs dažādu gaismas viļņu daudzumi tā, lai tie sakristu ar parauga krāsu, noskaidroja, ka dalībniekiem nepietiek ar 2 gaismas viļņiem, lai atkārtotu parauga krāsu. Pētnieks atklāja,

ka cilvēkiem ar normālu krāsu redzi ir nepieciešami 3 gaismas viļņi, lai radītu dažādas krāsas (Mollon, J. D. , 1982).

Lai gan 3 fotoreceptoru esamību tīklenē apstiprināja vairāk kā 70 gadus pēc trihromātiskās teorijas ierosināšanas. Pētnieki atklāja, ka vāļišu pigmentiem, dažādo aminoskābju dēļ, ir dažāds absorbcijas spektrs. Vāļītes ir atbildīgas gan par krāsu redzi, gan detaļu uztveri(Mollon, J. D. , 1982).

1.1.2. Oponentā teorija

1877. gadā vācu fiziologs Ewald Hering, novērojot krāsu redzi, viņš ievēroja, ka dažas krāsas nevar tikt novērotas vienlaicīgi, piemēram, neviena krāsa nevar būt aprakstīta vienlaicīgi sarkana un zaļa, tā pat kā neviena krāsa nevar būt vienlaicīgi dzeltena un zila. Krāsa var būt vai nu sarkana vai zaļa, bet ne sarkanzaļa. Tas pats attiecas arī uz zilo un dzelteni krāsu. Oponentā krāsu redzes teorija skaidro krāsu pēcefektus, kas ir, ka sarkans stimulē izsauca zaļganu pēcattēlu, bet dzeltens stimulē izsauca zilganu pēcattēlu (Eastman, 1986).

Šī teorija ierosina, ka krāsas tiek apstrādātas bipolāros krāsu kanālos, sarkan-zaļajā krāsu kanālā vai dzelten-zilajā krāsu kanālā. Sarkan-zaļais krāsu uztveres kanāls analizē vai gaismas stimula spektrālais sastāvs vairāk atbilst redzamās gaismas vidējo viļņu spektra daļai vai redzamās gaismas garo viļņu daļai. Dzelten-zilais krāsu uztveres kanāls analizē vai gaismas spektrālais sastāvs vairāk atbilst redzamās gaismas īso vai vidējo viļņu spektra daļai. Herings arī izteica minējumus, ka gaišumu nosaka atsevišķs ahromātiskais kanāls (Schwartz, 1999).

Gan trihromātiskajai, gan oponentajai teorijai bija savi atbalstītāji un oponenti, jo katra par sevi krāsu teorija neizskaidro krāsu uztveres fenomenus. Oponentā teorija guva ievērojamu atzinību, ar to, ka tā var skaidrot krāsu pēcefektus un dihromātisku krāsu redzi, ko īsti nevar izskaidrot ar trihromātisko krāsu teoriju (Schwartz, 1999).

1.1.3. Modernā oponentā teorija

1957.gadā Leo Hurvich un Dorothea Jameson dalījās ar kvantitatīviem datiem, kuri aptiprināja, ka oponentā teorija spēlē svarīgu lomu krāsu redzes uztverē. Šie pētnieki savā pētījumā izmantoja monohromatisku gaismu, piemēram, sarkanu, un dalībniekam bija jāmēģina samazināt sarkanās gaismas daudzumu, pievienojot tam atšķirīga gaismas viļņa garuma gaismu. Pētījuma gaitā novēroja, ka dalībnieki pievienoja noteiktu daudzumu zaļās gaismas, lai izslēgtu sarkano. Varēja secināt, ka, lai izslēgtu sarkano ir jāpievieno zaļais, lai izslēgtu zaļo, sarkanais, lai izslēgtu dzelteni, jāpievieno zilais un lai izslēgtu zilo, dzeltenais. Saskaņā ar šo pētījumu, visas krāsas var būt izskaidrotas ar attiecīgu aktivitāti kādā no krāsu kanāliem: sarkan-zaļajā, dzelten-zilajā, un spilgtuma kanālā (L.M. Hurvich, 1957).

(De Valois, 1966) et.al. atklāja oponentās krāsu šūnas makaku (*Macaca irus*) smadzenēs. Šīs oponentās krāsu šūnas reakcijas polaritāte ir atkarīga no stimula spektrālā sastāva, piemēram, vienai šūnai, ja gaismas viļņa garums ir zem 550nm tad šajā šūnā norisinās tāda kā bremsējošā reakcija, savukārt viļņi ar garumu virs 550nm izraisa šūnā uzbudinājumu.

1.1.4. Modernā krāsu redzes teorija

Modernā krāsu redzes teorija balstās uz zonu krāsu uztveres teoriju, kas pieņem, ka gaismas uztvere fotoreceptoru līmenī var tikt skaidrota ar trihromātisko teoriju, savukārt krāsu analizatoros mehānismus augstākos līmeņos skaidro ar oponento krāsu uztveres teoriju. (Schwartz, 1999).

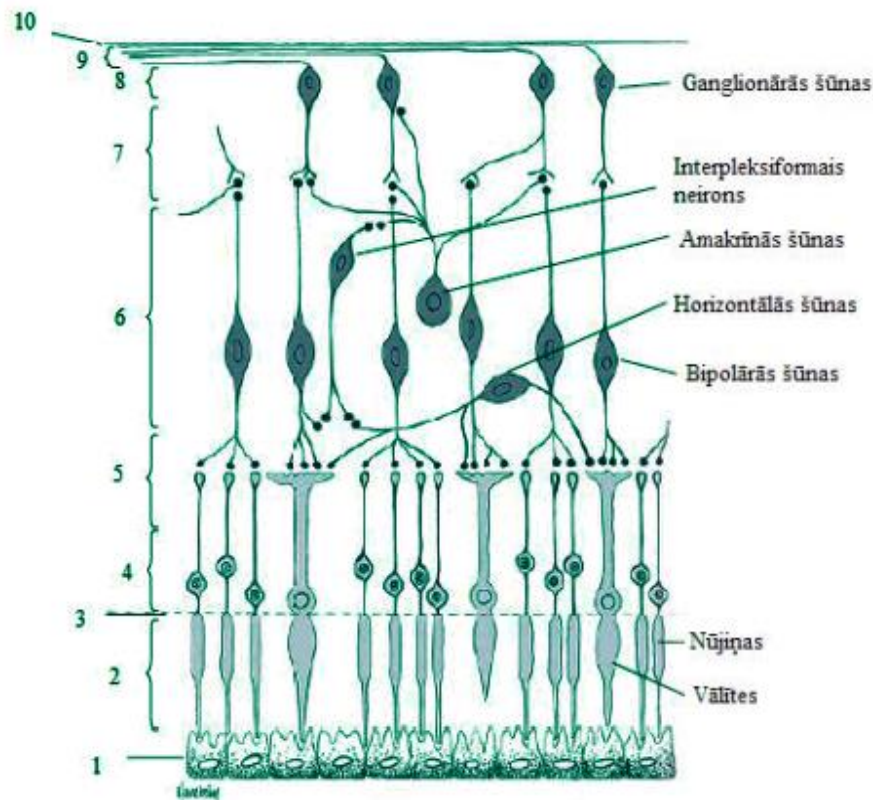
No trihromātiskās teorijas noskaidrots, ka pastāv 3 veidu vāļītes, kuras ir svarīgas, lai izskaidrotu krāsu saskaņošanas (*color matching*) datus. Tomēr šī teorija neizskaidro, kas notiek ar uztverto informāciju tālāk aiz fotoreceptoriem (Schwartz, 1999).

Atklājums par oponentajām krāsu šūnām izskaidro, kas notiek posmā aiz fotoreceptoriem, un apstiprina iepriekš pausto viedokli, ka krāsas tiek kodētas pēc oponentās teorijas principiem, un visi 3 bipolārie krāsu kanāli ir savstarpēji saistīti (De Valois, 1966).

1.2. Makulas pigments un tā ietekme uz krāsu redzi

1.2.1. Makula

Aptuveni 80 % no sensorās uztveres cilvēks izjūt pateicoties tīklenei, tātad ar redzi. Tādēļ ir ļoti svarīgi izprast tīklenes un to sastāvdaļu darbību (Hurt, 2012). Tīklenē atrodas 6 tipu neironu šūnas : fotoreceptori, horizontālās šūnas, bipolārās šūnas, amakrīnās šūnas, interpleksiformas šūnas un gangliju šūnas (skat. 1.2. att.) (Paul L. Kaufman, 2003).



1.2. att. Tīklenes šūnas (Maggs D.J., 2013)

Tīklenes centrā atrodas ovāla tumšāka daļa, makula (*macula lutea*). Tās izmērs ir aptuveni 5,5mm un tā nodrošina augstāko redzes asumu, formu uztveri, krāsu izšķiršanu un arī stereoredzi. Vizuāli makula ir tumšāka kā pārējās tīklenes daļas, jo pigmentšūnas šajā daļā ir garākas un pigmentētākas. Makula ir sadalīta noteiktās struktūrās: foveola, fovea, parafoveas un perifoveas apgabals (Colin E Willoughby, 2010).

Tieši foveolā (*fovea centralis retinae*) tiek nodrošināts augstākais redzes asums, jo šajā apgabalā ir augstākais fotoreceptoru blīvums. Zem pigmentepitēlija atrodas Bruha membrāna. Tās izmērs ir aptuveni 1,5mm (Paul L. Kaufman, 2003).

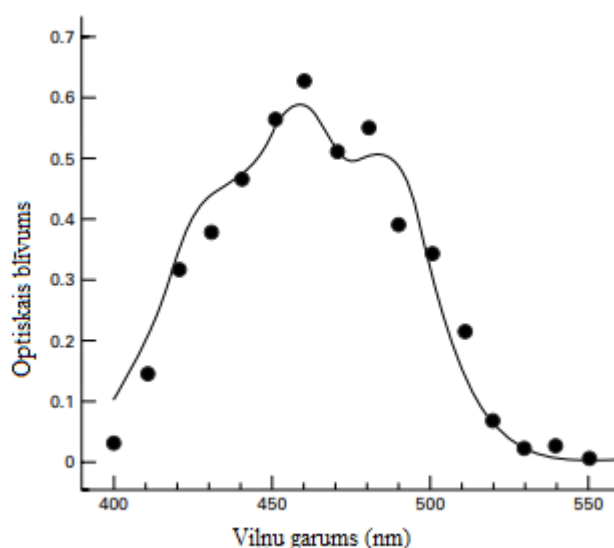
Fovea (*fovea lutea*) ir padziļinājums makulas centrālajā daļā, to sauc arī par dzeltenu plankumu. Šīs daļas izmērs ir aptuveni 1.5mm. Šī zona sastāv no ganglionārajām šūnām vismaz astoņās kārtās un iekšējā tīklainā slāņā. Lielāko daļu no šī slāņa veido Henles šķiedras, kas ir iegareni vāļīšu aksoni. Fovea nodrošina 5,5° no centrālā redzes lauka (Paul L. Kaufman, 2003).

1.2.2. Makulas pigments

1866. gadā Max Schultze pirmo reizi aprakstīja, ka makulas pigments absorbē gaismu redzamās gaismas īso viļņu spektra daļā. Zinātnieks arī izteica minējumus, ka absorbējot zilo gaismu, tai skaitā arī violeto, kura tiek uzskatīta par vienu no visatstarojošākajām gaismām, samazinās hromatiskās aberācijas. Kā arī Max Schultze izteica minējumus par to, ka makulas pigments iespējams aizsargā arī no bīstamās īso viļņu gaismas (John S. Werner, 1986).

1945. gadā Wald apstiprināja to, ka makulas pigmentam ir raksturīgs noteikts karotenoīda absorbcijas spektrs. Un aprakstīja, ka pigments pieder pie ksantofilu grupas, kuri ir atrodami koku lapās (John S. Werner, 1986).

1988. gadā Hendelman kopā ar saviem domubiedriem apstiprināja Bone pētījuma rezultātus, proti, ka makulas pigments sastāv no luteīna un zeaksantīna (S Beatty, 1999). Makulas pigments ir eļļaina dzeltenīga viela, kas sastāv galvenokārt no trim izomeriskajiem karotenoīdiem: luteīna, zeaksantīna un mezo zeaksantīna (John S. Werner, 1986). Šie keratenoīdi visblīvāk sastopami makulas centrālajā daļā, kur dominantais keratenoīds ir zeaksantīns, bet virzienā uz perifēriju zeaksantīna daudzums samazinās straujāk kā luteīna, tā kā perifērajās makulas daļās dominantais keratenoīds ir luteīns (S Beatty, 1999). Makulas pigmenta absorbcijas maksimums ir pie 460nm, tātad tas samazina makulas jutību pret īsajiem gaismas viļņiem. (skat. 1.3.att.) Tas arī izskaidro lielo redzamās gaismas īso viļņu absorbciju makulā.



1.3. att. Makulas pigmenta absorbcijas spektrs (S Beatty, 1999)

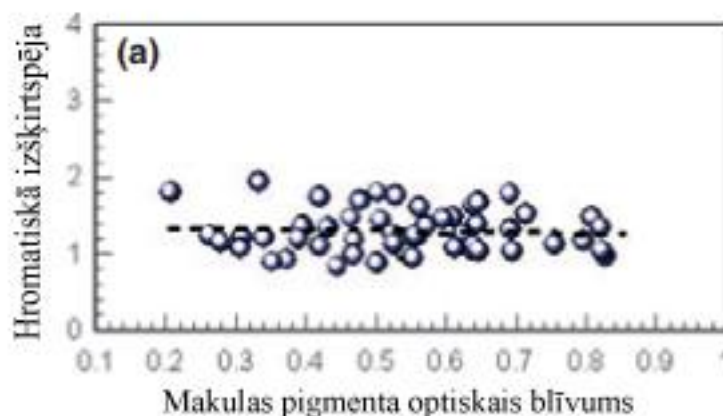
1.2.3. Makulas pigmenta optiskā blīvuma ietekme uz krāsu redzi

Pētījumā, kurā salīdzināja redzes uztveri, skotopisko un fotopisko jutību, kuru noteica ar speciāliem gaismas stimuliem, un makulas pigmenta optisko blīvumu starp 2 grupām, kur pirmajā grupā bija dalībnieki vecumā no 24 līdz 36 gadiem, bet otrā grupā dalībnieki no 60 līdz 84 gadiem, ieguva, ka dalībniekiem no otrās grupas, kuriem makulas pigmenta optiskais blīvums bija lielāks (tuvāks pirmās grupas rādītājiem), redzes uztvere arī bija līdzīgās robežās. Savukārt, otrās grupas dalībniekiem, kuriem makulas pigmenta optiskais blīvums bija zemāks kā pirmās grupas dalībniekiem, varēja novērot arī pasliktinātu redzes uztveri. Lai gan rezultāti liek aizdomāties par makulas pigmenta optiskā blīvuma ietekmi uz redzes uztveri, pētnieki

nekādas likumsakarības neizvirzīja, jo netika novērota statistiski būtiska korelācija starp makulas pigmenta optisko blīvumu un skotopisko, fotopisko jutību (Billy R. Hammond, 1998).

2002. gadā veikts pētījums, kurā piedalījās 92 dalībnieki vecumā no 22-39 gadiem. Dalībniekiem izsniedza uztura bagātinātājus, kas satur luteīnu un zeaksantīnu, kurus uzturā lietoja gadu, un pētījuma noslēdzošajā fāzē konstatēts makulas pigmenta optiskā blīvuma pieaugums. Pārbaudot dalībnieku hromatisko jutību, izmantojot CAD (Color Assessment and Diagnosis) testu, netika konstatēta nekāda korelācija starp makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko jutību. Tas ir īpaši pārsteidzoši, jo senākos pētījumos jau ir pierādīts, ka makulas pigments absorbē daļu redzamās īso viļņu gaismas spektru, līdz ar to arī pētnieki sagaidīja izmaiņas tieši dzelten-zilajā krāsu virzienā (Rodriguez-Carmona M, 2006).

Barbur, J. L., et al. 2010. gadā veica pētījumu, kurā dalībniekiem (vidējais vecums 31.91 ± 13.67) noteica makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko izšķirtspēju ar CAD testu. Pētnieki novēroja, ka nepastāv korelācija starp makulas pigmentu un hromatisko izšķirtspēju dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā (skat. 1.4. attēlu) (Barbur, J. L., 2010)



1.4.att. Saistība starp makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko izšķirtspēju dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā ($R^2 = 0,003$, $p = 0,7$).

1.2.4. Optiskais blīvums

Optiskais blīvums (OD) nosaka cik daudz gaismas tiek absorbēts pigmentā. Optiskais blīvums ir absolūta vērtība no logaritma ar bāzi 10 un vērtība ir gaismas pārvades faktors no optiskās aizkavēšanās, t.i., $OD = -\log_{10}(I_0/I)$ (Light, 1994). Vienkāršāk, optiskais blīvums var būt summa no gaismas absorbcijas, atstarošanas un izkliedēšanas.

1.2.5. Makulas pigmenta optiskais blīvums

Makulas pigmenta optisko blīvumu var noteikt, salīdzinot redzamās gaismas 460nm un 540nm absorbciju makulā, tā kā šīs absorbcijas daudzums ir cieši saistīts ar luteīna un zeaksantīna koncentrāciju noteiktajā makulas daļā. Optiskais blīvums makulas centrā svārstās no 0 līdz 1. Vairākos pētījumos konstatēta likumsakarība, ka dalībniekiem bez veselības

problēmām ir lielāks centrālais makulas pigmenta optiskais blīvums, kā dalībniekiem ar vecumu saistīto makulas deģenerāciju (Stephen Beatty, 2001), (L Ma, 2012).

2007. gadā Īrijā tika veikts pētījums ar 828 veseliem dalībniekiem, kurā tika konstatēta saistība starp uzturu piesātinātu ar luteīnu un zeaksantīnu, un centrālo makulas optisko blīvumu. Šajā pētījumā apstiprinājās, ka lietojot uztura bagātinātājus, kuri satur luteīnu un zeaksantīnu, ir iespējams palielināt centrālo makulas optisko blīvumu. Pētījumā noskaidroti arī dažādi faktori, kuri samazina makulas pigmenta optisko blīvumu. To skaitā bija tabakas izstrādājumu lietošana, neveselīgs uzturs, augsts ķermeņa masas indekss. Makulas pigmenta optiskais blīvums šajā pētījumā svārstījās no 0 līdz 0.88 ar vidējo vērtību 0.30 (Paul S. Bernstein, 2009).

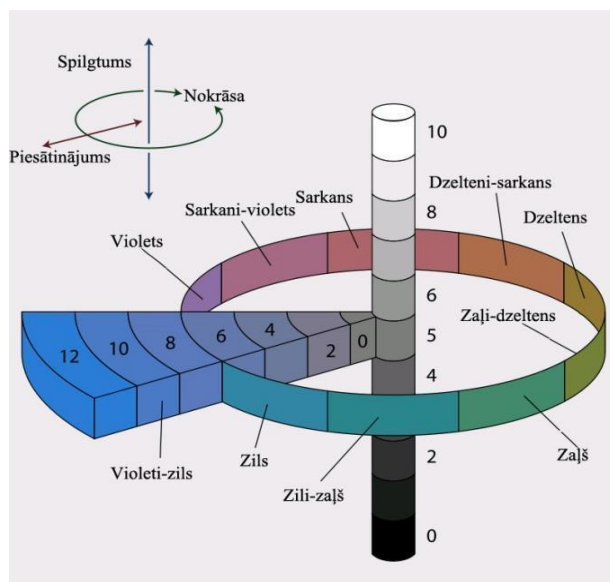
Ir vairāki veidi, kā noteikti makulas optisko blīvumu, bet viens no vispopulārākajiem ir neinvazīva psihofizikāla metode, kura balstās uz heterohromatisku flikera fotometriju un kustību fotometriju. Ir vairāku veidu MPOD ierīces, kuras visas balstās uz vienu principu. Ir dots mērķis, kurš sastāv no 2 alternējošiem LED gaismas avotiem: zilā(465nm) un zaļā(530nm), gaismas avoti atrodas uz balta fona. Makulas pigments absorbē zilo gaismas avotu, kamēr zaļo gaismas avotu makulas pigments absorbē tikai daļēji. Līdz ar to rodas priekšstats, ka mērķis mirgo. Novērojot mirgošanu dalībnieks uzklikšķina uz spiedpogas. Skatoties tieši mērķī ir iespējams noteikt centrālo makulas pigmenta optisko blīvumu. Savukārt novirzot skatienu uz papildmērķi ir iespējams noteikt makulas pigmenta optisko blīvumu perifērajās daļās (Paul S. Bernstein, 2009).

1.3. Krāsu telpas

1.3.1. Munsell krāsu telpa

Ar to vien, ka varam nosaukt krāsas nosaukumu nepietiek, lai varētu identiski atkārtot krāsu. Ja nosauksim kāda priekšmeta krāsu par zaļu, pastāv ļoti maza iespēja, ka kāds iedomāsies tieši to pašu zaļo krāsu, ko iedomājāties mēs.

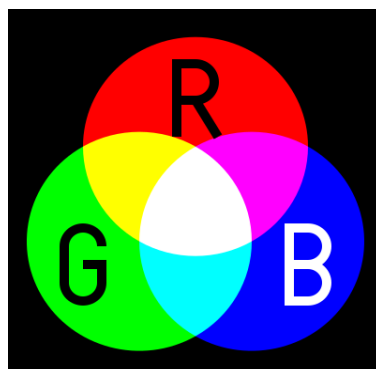
Šīs zaļās krāsas var atšķirties spilgtumā, nokrāsā un piesātinājumā. Munsell izstrādāja principu, kurš atļauj ļoti precīzi aprakstīt krāsu. Munsella krāsu telpā krāsa tiek aprakstīta trīs dimensijās: tonis, piesātinājums un spilgtums. To var attēlot arī cilindriskā formā (R.A. Viscarra Rossel, 2005) (skat. 1.5. att.).



1.5. att. Munsell krāsu telpa (Rus, 2007)

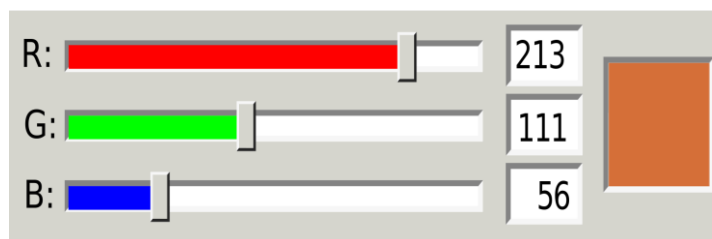
1.3.2. CIE krāsu telpa

Lai varētu izprast CIE krāsu telpu, ir jāsaprot RGB krāsu saskaņošanas sistēma (skat. 1.6. att.). RGB sistēmā ir 3 pieņemtās pamatkrāsas: R - sarkana, B - zila un G - zaļa. Palielinot šo krāsu relatīvo intensitāti (daudzumus) līdz maksimumam iegūst baltu krāsu, savukārt, samazinot šo krāsu relatīvo intensitāti līdz nullei, iegūst melnu krāsu. Kā arī ir šajā krāsu sistēmā ir iespējams atainot jebkuru krāsu, piemēram, sajaucot zaļo un sarkano iegūst dzeltenu krāsu, savukārt mainot sarkanā un zaļā intensitātes ir iespējams iegūt arī oranžu un citas krāsas (Schwartz, 1999).



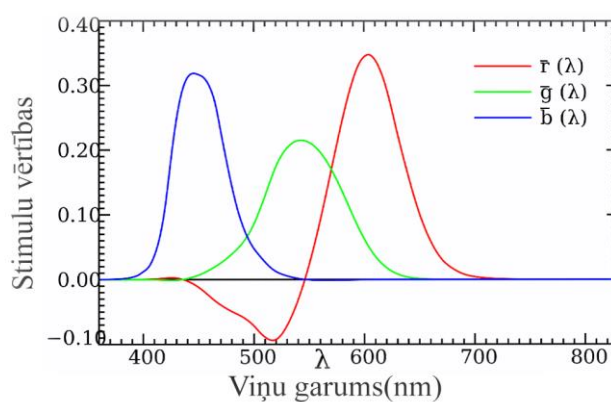
1.6.att. RGB krāsu telpas atainojums (Boughen, 2003).

Kad šo procedūru atkārtoti katram gaismas viļņim (krāsai), mēs iegūstam trīs krāsu saskaņošanas funkcijas. Krāsu saskaņošanas funkcija parāda cik daudz no katras pamatkrāsas ir nepieciešams, lai atkārtotu jebkuru krāsu (skat. 1.7. att.) (Schwartz, 1999) (R.A. Viscarra Rossel, 2005).



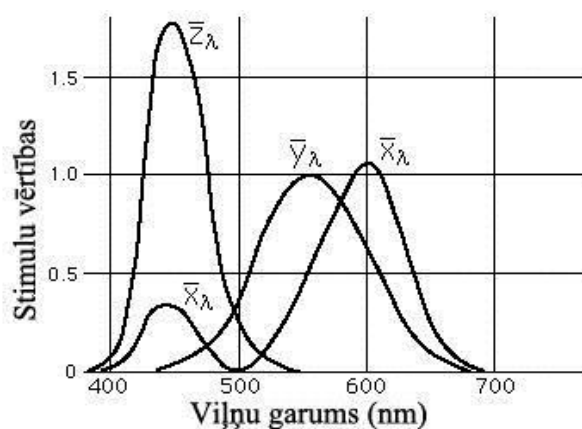
1.7.attēls RGB krāsu saskaņošanas piemērs, kur minimālā krāsas vērtība ir 0 un maksimālā 255 (Nouse, 2010).

Noteiktā spektrālā apgabalā pieskaņošanu nebija iespējams veikt, jo monohromatiskajam stimulam netika piemaisīta sarkanā krāsa (sk. 1.7. attēlu). Tas izpaužas kā sarkanās krāsas, negatīvās vērtības. Tādēļ tika ieviesta CIE sistēma, lai izvairītos no šīs problēmas.



1.8.attēls RGB negatīvā spektra attēlojums (Schwartz, 1999).

CIE sistēmā R,G,B krāsu saskaņošanas funkcija ir matemātiski pārvērsta imaginārās krāsu saskaņošanas funkcijās X,Y,Z. (skat. 1.9. att.) Līdz ar to, jebkura krāsa var tikt iegūta ar pozitīvām imaginārām pamatkrāsu saskaņošanas funkcijām (Schwartz, 1999).

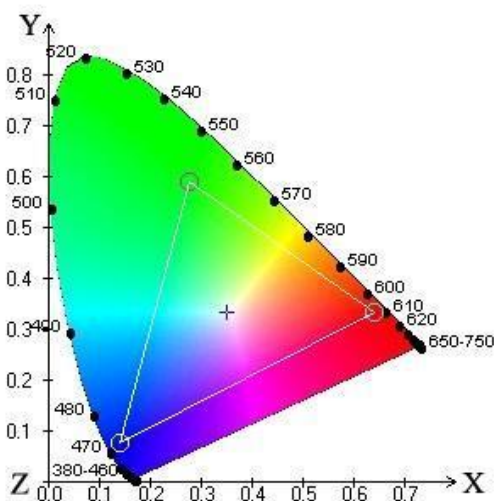


1.9. att. Imaginārās krāsu saskaņošanas funkcijas (Vanessa Ezekowitz, 2009)

CIE hromatiskā diagramma parāda aptuvenos daudzumus no imaginārajām pamatkrāsām, lai saskaņotu jebkuru no redzamajām krāsām. Šo diagrammu (skat. 1.9. attēlu) iegūst pārveidojot stimulu vērtības uz hromatiskajām koordinātām (Schwartz, 1999).

$$\begin{aligned}
 X &= \int P(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda \\
 Z &= \int P(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda \\
 Y &= \int P(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda
 \end{aligned}
 \Rightarrow
 \begin{aligned}
 x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\
 y &= \frac{Y}{X+Y+Z}
 \end{aligned}$$

CIE1931 krāsu telpa ir pirmā krāsu telpa, kura definēja saistības starp redzamās gaismas krāsu viļņiem un cilvēka krāsu redzi. Šī krāsu telpa ir trīs dimensionāla, reālu skaitļu telpa, kas nozīmē, ka šajā telpā ir iespējams attēlot bezgalīgi daudz krāsu (sk.1.10.att.) (Schwartz, 1999).



1.10. att. CIE diagramma (Yurek, 2012)

2. PĒTĪJUMS

2.1. Metodika

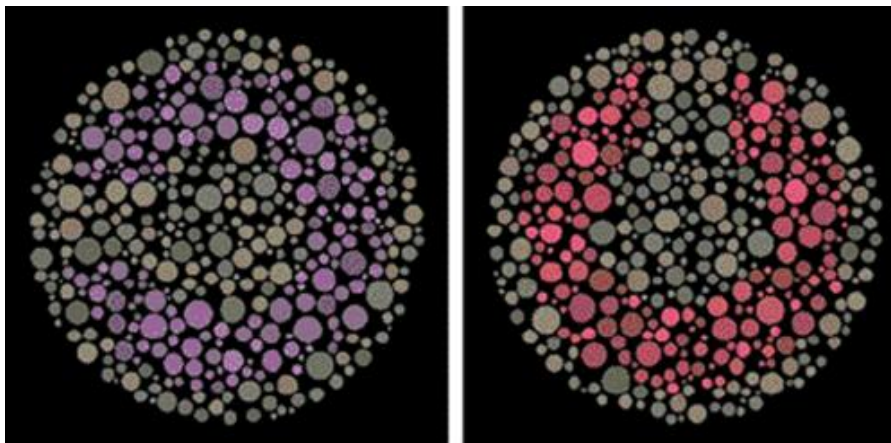
2.1.1. Dalībnieki

Pētījumā piedalījās 29 dalībnieki, vecumā no 18 līdz 29 gadiem (vidējais vecums $22,71 \pm 2,76$ gadi), bez krāsu redzes defektiem. Hromatiskā izšķirtspēja tika noteikta ar CCT (*Cambridge Colour test*) un CAD (*Color assessment and diagnosis*) testu. Abi testi tika veikti monokulāri ar vadošo aci. Pēc hromatiskās izšķirtspējas noteikšanas, tika noteikts makulas pigmenta optiskais blīvums ar MPOD ierīci. Visi mērījumi tika veikti skotopiskos apstākļos.

2.1.2. Ierīces

2.1.2.1. CCT tests

CCT, jeb Kembridžas krāsu testa laikā hromatiskā jutība tiek noteikta CIE1976 (CIE Luv) krāsu telpā. Testa stimuli ir veidoti no maziem dažāda izmēra nejauši izkārtotiem aplīšiem, kuriem atšķiras spožums. Mērķis, kas ir līdzīgs Landolta C tipa optotipam, tiek definēts ar “uzliktu” hromatisko kontrastu. Lai izvērtētu dalībnieku hromatisko jutību, tiek izmantots piespiedu izvēles tests ar 4 iespējamiem variantiem, proti, pēc katras stimula pētījuma dalībniekam jānorāda atvēruma pozīcija testa stimulā. Testa stimula vērtības tiek ģenerētas izmantojot *1 up 2 down* trepju metodi. (sk. 2.1.attēlu).



2.1.att. CCT testa stimulu paraugi

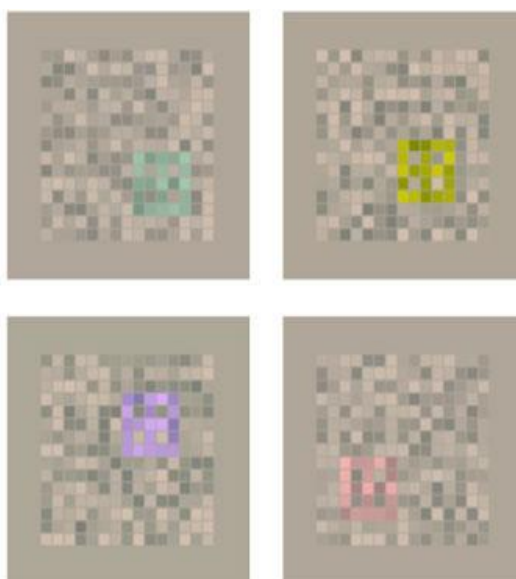
CCT tests iekļauj sevī 2 testus: trivektora testu, kurš ļaut noteikt izšķirtspējas sliekšņus gar Protan, Deutan un Tritan pārklāšanās līnijām, lai dziļāk apskatītu L, M, un S vāļišu darbību. Un elipses testu, kurš ļauj noteikt hromatisko jutību 20 hromatiskajos virzienos.

Šajā pētījumā dalībnieku hromatiskā jutība tika izvērtēta 20 virzienos krāsu telpā, kur katrā no virzieniem tika noskaidrotas hromatiskās jutības sliekšņu vērtības, savukārt no tām tika noskaidrota vidējā hromatiskā jutība noteiktā krāsu virzienā. Tests palaists Metropsis sistēmā,

un attēlots uz "Display++" LCD 32" monitora, kurš atradās 1,5 metru attālumā no dalībnieka. Testa mērķa izmērs bija 5,7° no redzes lauka.

2.1.2.2. CAD tests

CAD testa laikā hromatiskās jutības mērījums notiek 16 hromatiskajos virzienos CIE1931(CIE XYZ) krāsu telpā. Hromatiskās jutības sliekšņu vērtības tiek noteiktas izmantojot testu ar četriem piespiedu izvēles variantiem. Testa stimula vērtības tiek ģenerētas izmantojot *1 up 2 down* trepju metodi. Testa stimula fons sastāv no kvadrātveida laukuma, kuru veido 15*15 ahromātiski lauciņi. Dinamiskā fona lauciņu vērtības tiks mainītas katras 40 līdz 80 ms. Hromatiskais stimuls, kas pārvietojas vienā no četrām diagonālēm, tiek veidots no 5*5 lauciņiem. Dalībnieks norādīja kādā virzienā kustās hromatiskais stimuls (sk.2.2.attēlu).

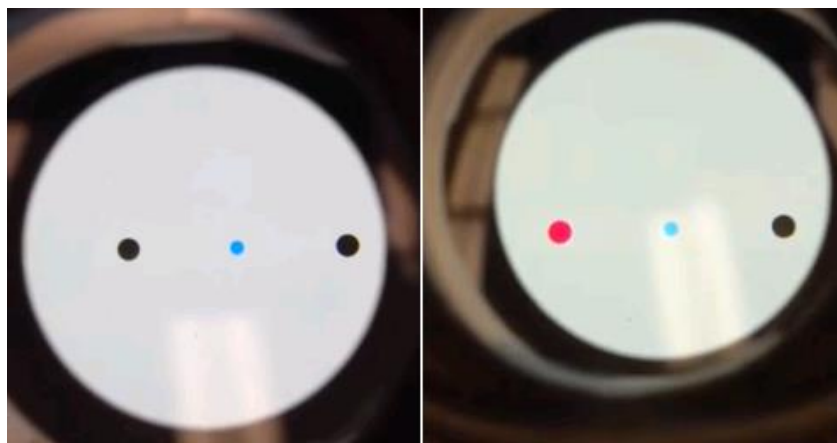


2.2.att. CAD testa stimulu paraugi

Tests tika attēlots uz "mLaCie 324i" LCD 24" monitora, kurš atradās 80 centimetru attālumā no dalībnieka. Testa mērķa izmērs bija 5,7° no redzes lauka.

2.1.2.3. MPOD ierīce

Makulas pigmenta noteikšanai izmantotā MPOD ierīcē izmanto neinvazīvu psihofizikālu metodi, kura balstās uz heterohromatisku flikera fotometriju un kustību fotometriju. Ir dots mērķis, kurš sastāv no 2 alternējošiem LED gaismas avotiem: zilā (465nm) un zaļā (530nm), tie atrodas uz balta fona. Makulas pigments absorbē zilo gaismas avotu, kamēr zaļo gaismas avotu makulas pigments absorbē tikai daļēji. Līdz ar to rodas priekšstats, ka mērķis mirgo. Kad dalībniekam šķiet, ka mērķis nomirgo jāuzspiež poga. Skatoties tieši uz šo mērķi ir iespējams noteikt centrālo makulas pigmenta optisko blīvumu. Savukārt novirzot skatienu no šī mērķa uz papildmērķi ir iespējams nomērīt arī makulas pigmenta optisko blīvumu perifērajās daļās (sk.2.3.attēlu) (Thomas A. Ciulla, 2001).



2.3.att. MPOD ierīces stimulu piemēri. Attēlā pa labi redzamajā situācijā tiek mērīts makulas pigmenta optiskais blīvums makulas centrālajā daļā, bet attēlā pa kreisi, perifērajās daļās .

Ja makulas pigmenta optiskais blīvums tiek noteikts tikai centrālajā daļā, tad aptuvenās vērtības aprēķins balstās un dalībnieka vecumu un izoluminanto punktu makulas centrālajā daļā. Pētījumā tika noteikta makulas pigmenta optiskā blīvuma absolūtā vērtība, kas balstās uz izoluminanto punktu makulas centrālajā daļā un perifērajā daļā.

Makulas pigmenta optisko blīvumu programmatūra automātiski aprēķina pēc vienādojuma:

$$MPOB = k * \log_{10} \left(\frac{Lbc}{Lgc} \right) - k * \log_{10} \left(\frac{Lbp}{Lgp} \right) = k * \log_{10} \left(\frac{Lbc}{Lgc} \right) \left(\frac{Lbp}{Lgp} \right),$$

pieņem, ka

$$Lgc = Lgp$$

tad

$$MPOB = k * \log_{10} \left(\frac{Lbc}{Lbp} \right)$$

Kur Lbc un Lgc ir luminance zilajam un zaļajam gaismas avotam pie minimālās mirgošanas punkta, veicot mērījumu centrālajām daļām, bet Lbp un Lgp ir luminance zilajam un zaļajam gaismas avotam pie minimālās mirgošanas punkta, veicot mērījumu perifērajām daļām. Ierīces korekcijas koeficients k=1,2 (Rob L. P. van der Veen, 2009).

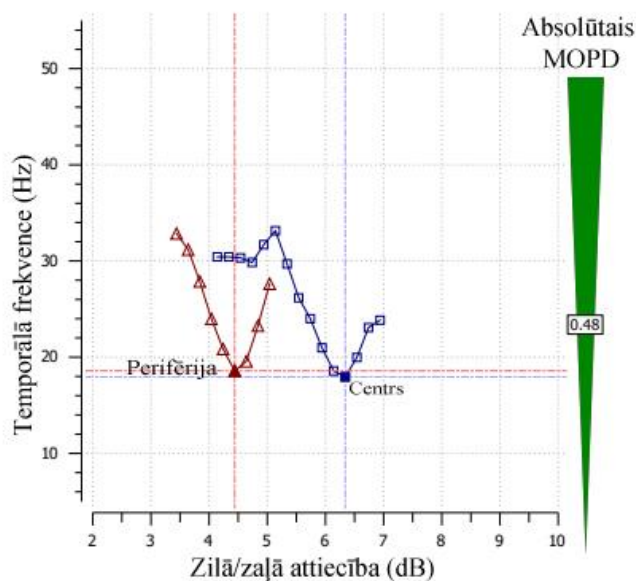
2.2. Rezultāti

Rezultātu apkopošanai un salīdzināšanai, izmantoja ANOVA: *Two Factor With Replication* testu, kurš ir 2 faktoru dispersijas analīzes tests, ar atkārtotiem mērījumiem. 2 faktori pēc kuriem tika sadalīti dati ir hromatiskais virziens, un krāsu redzes testa veids. Izmantots arī T-tests taisnes slīpuma koeficientam, kurš atļauj noteikt vai dotā funkcija ir lineāra.

2.2.1.MPOD testa rezultāti

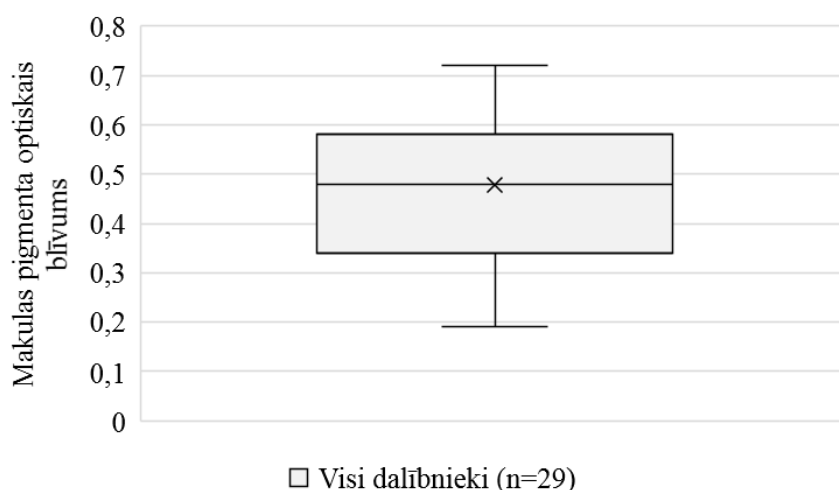
Par MPOD testa rezultātu precizitāti, ticamību liecina programmatūra. Ja rezultāta apskata labajā pusē indikators ir iekrāsots zaļā krāsā, tad dati ir ticami (sk.2.4.attēlu). Ja datu

ticamība ir daļēja, tad indikators būs oranžā krāsā, bet ja dati nav ticami, jeb noraidīti, tad indikators ir sarkans.



2.4.att. Piemērs datiem ar augstu ticamību.

Visiem dalībniekiem tika noteikts absolūtais makulas pigmenta optiskais blīvums. Dati ir ar augstu ticamības pakāpi, jeb visiem mērījumiem indikators ir zaļā krāsā. Grafikā ir parādīts rezultātu izkārtojums. Dalībnieku makulas pigmenta optiskais blīvums svārstās robežās no 0,19 līdz 0,72, ar vidējo vērtību $0,478 \pm 0,14$ (sk.2.5.attēlu). Salīdzinot ar makulas pigmenta optiskā blīvuma noteiktajām normām (Elektron-eye-technology). Ļoti zems makulas pigmenta optiskais blīvums ir 1 dalībniekam, zems 17 dalībniekiem, augsts 12 dalībniekiem, bet nevienam dalībniekam netika konstatēts ļoti augsts makulas pigmenta optiskais blīvums.

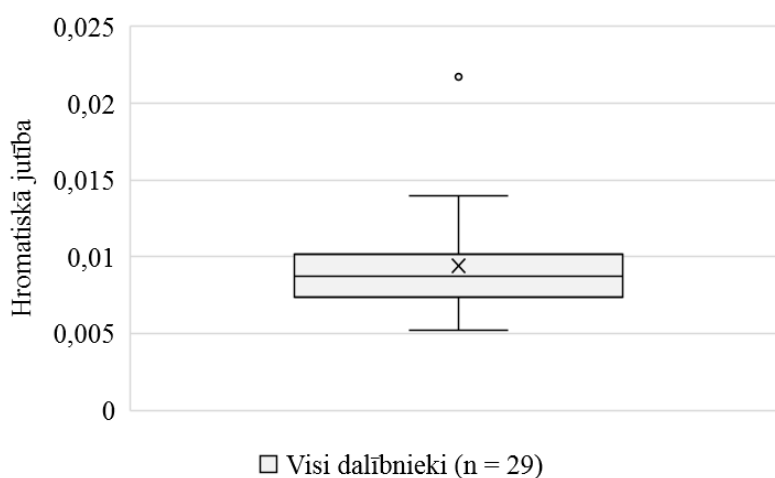


2.5.att. Makulas pigmenta optiskā blīvuma mērījumu rezultāti.

2.2.2.CCT testa rezultāti

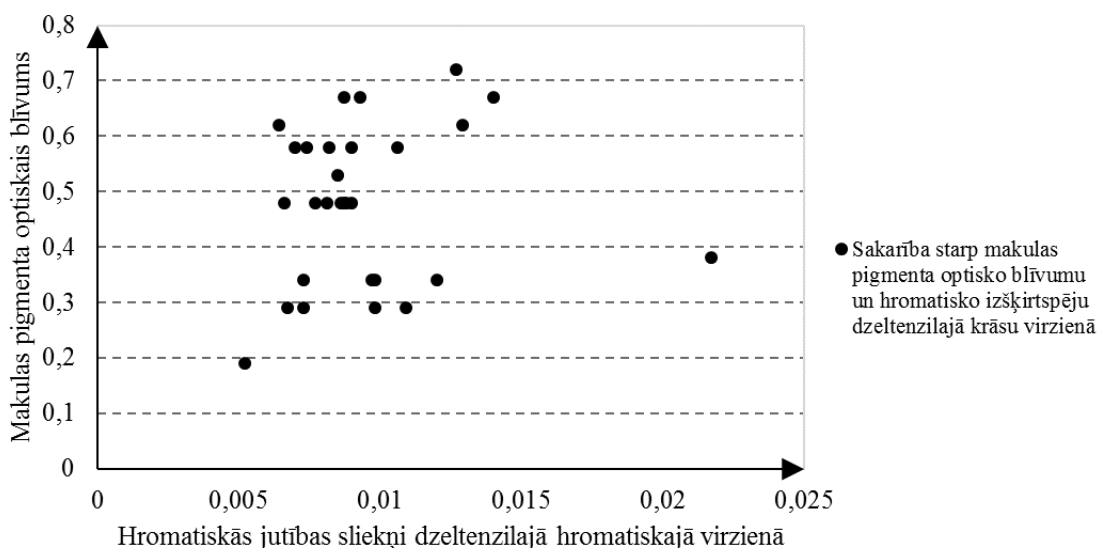
Visiem dalībniekiem noteikta hromatiskā izšķirtspēja ar CCT testu. Dalībniekiem netika konstatēti krāsu redzes defekti, un rezultātā iegūti minimālās hromatiskās izšķirtspējas elipses dati, kurus apstrādājot ar Microsoft Excel, iegūtas aproksimētās hromatiskās izšķirtspējas sliekšņu koordinātas, no kurām noteiktas hromatiskās jutības vērtības dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā, un vēl 8 citos hromatiskajos virzienos (60°, 64°, 140°, 145°, 150°, 165°, 170°, 175°).

Dalībnieku hromatiskā jutība dzelten-zilajā krāsu virzienā CCT testā svārstījās no 0,0052 līdz 0,0217, ar vidējo vērtību $0,094 \pm 0,003$ (sk. 2.6. attēlu).



2.6.att. Visu dalībnieku hromatiskā izšķirtspēja dzelten-zilajā krāsu virzienā noteikta ar CCT testu.

Šīs sliekšņu vērtības salīdzinātas ar makulas pigmenta optisko blīvumu (sk. 2.7. attēlu). Korelācijas koeficients starp makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko izšķirtspēju ir 0,11, veicot t-testu, ar 95% varbūtību, taisnes slīpuma koeficientam (0,0024), iegūtā p – vērtība = 0,56 > 0,05, kas liecina, ka nepastāv statistiski būtiskas lineāras sakarības starp makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko izšķirtspēju dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā.

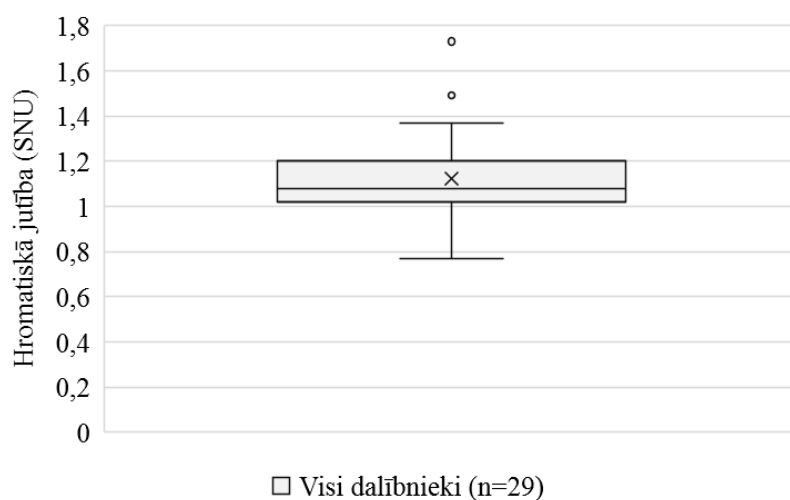


2.7.att. Sakarība starp makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko izšķirtspēju dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā.

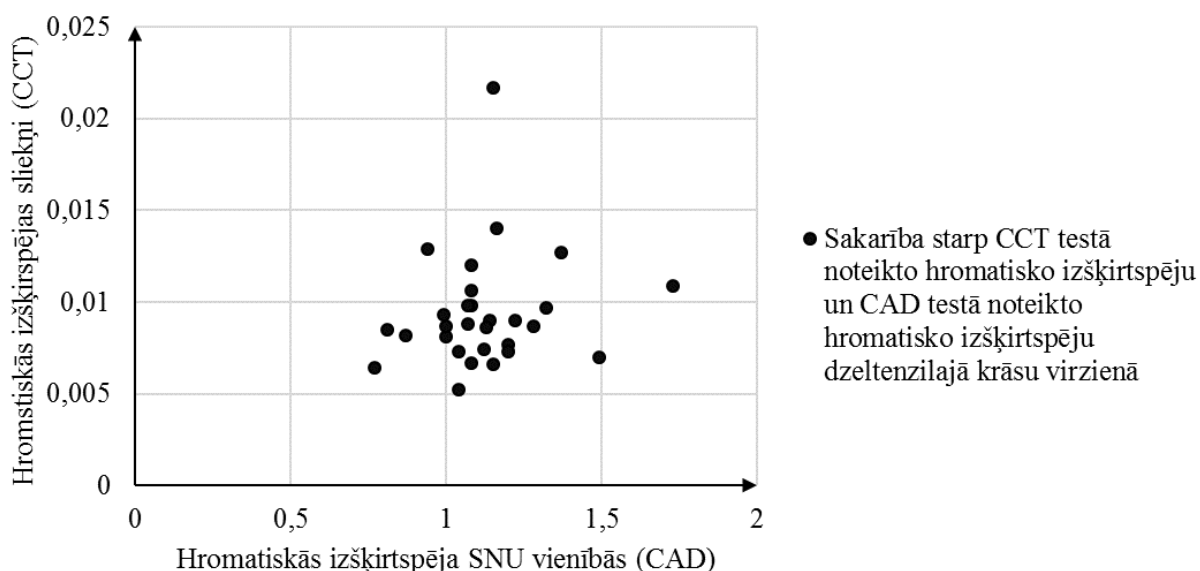
2.2.3.CAD testa rezultāti

Visiem dalībniekiem noteikta hromatiskā jutība arī ar CAD testu. Dalībniekiem netika konstatēti krāsu redzes defekti. Šī testa rezultātā tika iegūti minimālās hromatiskās izšķirtspējas sliekšņu koordinātas 16 hromatiskajos virzienos, kuras izmanto aprēķinos, lai iegūtu 16 hromatiskās izšķirtspējas sliekšņu vērtības. Kā arī testa rezultātos ir noteikti dzelten-zilā un zaļi-sarkanā hromatiskā virziena sliekšņu vērtības SNU vienībās, kas ir konkrētā dalībnieka hromatiskā izšķirtspējā šajā virzienā, pret populācijas vidējo.

Dalībnieku hromatiskā jutība dzelten-zilajā krāsu virzienā CAD testā svārstījās no 0,77(SNU) līdz 1,73(SNU), ar vidējo vērtību 1,12(SNU) (sk. 2.8. attēlu).



2.8.att. Visu dalībnieku hromatiskā izšķirtspēja dzelten-zilajā krāsu virzienā noteikta ar CAD testu.



2.10.att. Sakarība starp CAD testā noteikto hromatisko izšķirtspēju dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā un CCT testā noteikto hromatisko izšķirtspēju dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā.

2.2.5.CAD testa un CCT testa salīdzinājums

Lai salīdzinātu CCT un CAD testa rezultātus, CAD testā noskaidrotās 16 hromatiskās jutības sliekšņu vērtības tika pārrēķinātas no CIEXY un CIELUV krāsu telpu. Izmantojot CCT testā iegūtās minimālās hromatiskās izšķirtspējas elipses parametrus (īsākais un garākais elipses rādiuss, nolieces leņķis, centra (ahromātiskā punkta) koordinātas), tika noteiktas hromatiskās jutības sliekšņu vērtības 16 hromatiskajos virzienos CIELUV krāsu telpā.

Hromatiskās izšķirtspējas vērtības salīdzinātas katrā no 16 hromatiskajiem virzieniem (skat. 1.pielikums). Veikta analīze hromatiskajai izšķirtspējai, kura noteikta ar CCT un CAD testu, katrā no izmantotajiem hromatiskajiem virzieniem. Tika noteikts korelācijas koeficients, lineārās sakarības slīpuma koeficients, un veikts t – tests taisnes slīpuma koeficientam, lai pārlicinātos vai nav lineāras sakarības starp CCT un CAD testa rezultātiem (skat. 2.1. tabulu). 6 no 16 virzieniem ir novērojama lineāra sakarība starp CCT un CAD testa rezultātiem (tabulā norādīti ar iekrāsojumu). Lai gan novērotas sakarības starp CCT un CAD testa rezultātiem, nevaram apstiprināt, ka CCT un CAD testi ir vai nav ekvivalenti.

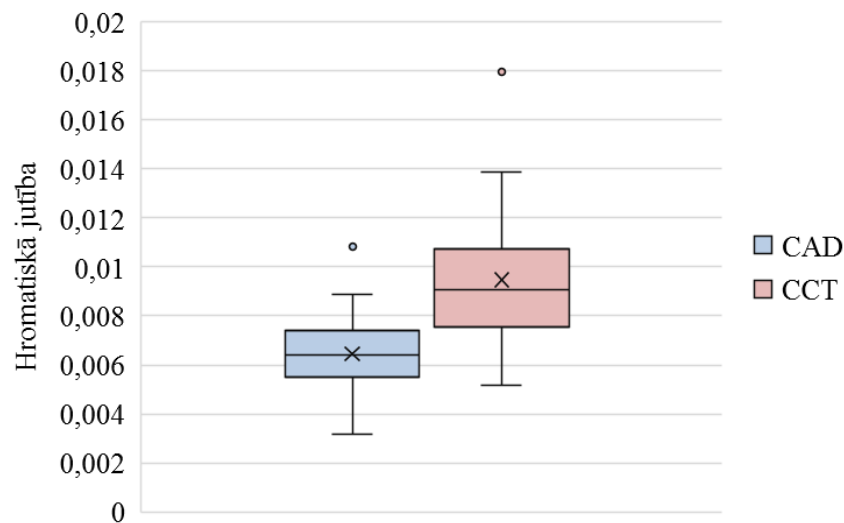
2.1.tabula

CCT un CAD testu saistība

Virziens(°)	Korelācijas koeficients	Lineārās sakarības slīpuma koeficients	p-vērtība (95% ticamības līmeni)
60	0,17	0,1	0,37
64	0,1	0,04	0,59
140	0,2	0,05	0,3
145	0,51	0,16	0,05
150	0,32	0,07	0,09

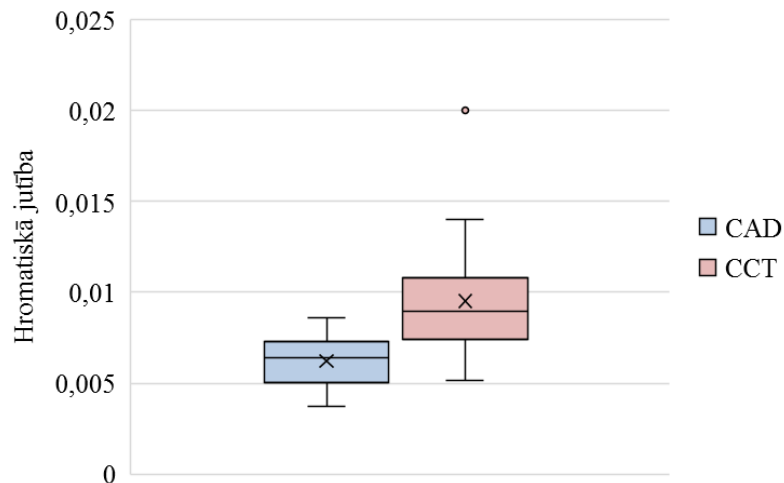
165	0,51	0,33	0,04
170	0,47	0,25	0,01
175	0,42	0,15	0,03
240	0,18	0,07	0,34
244	0,3	0,22	0,11
320	0,53	0,12	0,003
325	0,41	0,11	0,03
330	0,45	0,11	0,01
345	0,3	0,51	0,12
350	0,43	0,18	0,12
355	0,49	0,59	0,07

Pēc konkrētu hromatisko sliekšņu vērtību salīdzināšanas, tika apskatītas arī CCT un CAD testu rezultātu izkliedes katrā no 16 hromatiskajiem virzieniem (skat. 2. pielikums). 60° hromatiskajā virzienā ar CAD testu noteiktā hromatiskā izšķirtspēja svārstās robežās no 0,0031 līdz 0,0108, ar vidējo vērtību 0,0065 un mediānu 0,0064, CCT testā noteiktā hromatiskā izšķirtspēja svārstās robežās no 0,0052 līdz 0,0180, ar vidējo vērtību 0,0095 un mediānu 0,0092 (sk. 2.11. attēlu).



2.11.att. Hromatiskās jutības vērtības 60° hromatiskajā virzienā.

64° hromatiskajā virzienā ar CAD testu noteiktā hromatiskā izšķirtspēja svārstās robežās no 0,0038 līdz 0,0086, ar vidējo vērtību 0,0062 un mediānu 0,0064, CCT testā noteiktā hromatiskā izšķirtspēja svārstās robežās no 0,0052 līdz 0,0200, ar vidējo vērtību 0,0095 un mediānu 0,0093 (sk. 2.12. attēlu). Noteikti šie kritēriji arī atlikušajos 14 hromatiskajos virzienos (sk. pielikums 2).



2.12.att. Hromatiskās jutības vērtības 64° hromatiskajā virzienā.

Izmantojot *Anova: Two Factor With Replication* testu, noteikts vai rezultātu izkliedes dažādos hromatiskajos virzienos ir statistiski nozīmīgi atšķirīgi, un vai CAD un CCT testu rezultāti statistiski nozīmīgi atšķirīgi 16 hromatiskajos virzienos. Pēc Anova testa rezultātiem redzams, ka rezultātu izkliedes, pie dažādiem hromatiskajiem virzieniem, ir statistiski būtiski atšķirīgi ar varbūtību 95%, p-vērtība: $p = 3,11E^{-27} < 0,05$, un faktiskā Fišera vērtība $F=11,94 > F\text{ crit}=1,68$. Kā arī iespējams secināt, ka rezultāti no CCT testa un rezultāti no CAD testa ir statistiski būtiski atšķirīgi ar varbūtību 95%, p-vērtība: $p = 1,64E^{-62} < 0,05$, un faktiskā Fišera vērtība $F=326,76 > F\text{ crit}=3,85$. Var arī secināt, ka nevienam no virzieniem nav statistiski būtiskas saistības ar kādu no krāsu redzes testa dizainiem, pie varbūtības 95%, p-vērtība: $p = 0,9 > 0,05$, un faktiskā Fišera vērtība $F=0,56 < F\text{ crit}=1,68$.

SECINĀJUMI

1. Makulas pigmenta optiskajam blīvumam nav statistiski būtiskas ietekmes uz hromatisko izšķirtspēju, kura noteikta ar CAD un CCT testiem, dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā dalībniekiem vecuma grupā no 20 līdz 30 gadiem.

2. Rezultāti no CAD un CCT testiem neuzrādīja stipru savstarpēju lineāru sakarību visos hromatiskajos virzienos, un rezultātu izkliedes pie dažādiem hromatiskajiem virzieniem ir statistiski būtiski atšķirīgas ar CAD un CCT testiem.

NOBEIGUMS

Pētījumā uzstādītā hipotēze apstiprinās: Makulas pigmenta optiskajam blīvumam nav būtiskas ietekmes uz hromatisko izšķirtspēju dzelten-zilajā hromatiskajā virzienā. Ir pierādīts, ka makulas pigments absorbē noteiktu daļu īso viļņu redzamās gaismas spektru (Billy R. Hammond, 1998). Bet arī šajā pētījumā, līdzīgi kā *Barbur, J. L., et al*, veiktajā pētījumā, nenovēroja statistiski būtisku korelāciju starp makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko izšķirtspēju. Turpmākos pētījumos ieteiktu palielināt dalībnieku skaitu, lai tiešām pārlicinātos, ka nav nekādas sakarības starp makulas pigmenta optisko blīvumu un hromatisko izšķirtspēju dzelten-zilajā krāsu virzienā.

Mūsdienās ir divi būtiski atšķirīgi datorizēto krāsu redzes testu dizains CCT un CAD, bija svarīgi noskaidrot vai hromatiskās izšķirtspējas vērtības būtiski atšķirsies nosakot tās ar dažādiem testiem. Hromatiskās izšķirtspējas vērtības un to izkliedes būtiski atšķīrās nosakot tās ar CAD un CCT testu, kā arī hromatiskās izšķirtspējas vērtību izkliedes būtiski atšķīrās starp hromatiskajiem virzieniem. Pētījumā novēroja, ka kādos noteiktos hromatiskajos virzienos CCT un CAD testu rezultāti ir ar statistiski nozīmīgu korelāciju, uzskatu, ka būtu vērtīgi papildināt šo pētījuma daļu, lai pārlicinātos vai testi var tikt uzskatīti par ekvivalentiem, kādai noteiktai vecuma grupai.

PATEICĪBAS

Vēlos pateikt paldies savam darba vadītājam Renāram Trukšam, par piedāvāto interesanto darba tēmu, pacietību, atvēlēto laiku, ieteikumiem, konsultācijām un palīdzību darba tapšanā.

Liels paldies visiem pētījuma dalībniekiem, kuri piedalījās eksperimentā un atvēlēja laiku testu izpildei. Liels paldies par sapratni un lielo atbalstu manai ģimenei un draugiem.

Paldies Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļai par nepieciešamo iekārtu nodrošināšanu.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

Jeffrey Whitehead, M., Julie A. Mares, P., & Ronald P. Danis, M. (2006). Macular pigment. Pieejams: <https://jamanetwork.com/journals/jamaophthalmology/fullarticle/417803>

Barbur, J. L., Konstantakopoulou, E., Rodriguez-Carmona, M., Harlow, J. A., Robson, A. G., & Moreland, J. D. (2010). *The Macular Assessment Profile test - a new VDU-based technique for measuring the spatial distribution of the macular pigment, lens density and rapid flicker sensitivity*. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 30(5), 470–483. Pieejams: doi:10.1111/j.1475-1313.2010.00748.x

Billy R. Hammond, J. R. (1998). *Preservation of Visual Sensitivity of Older Subjects: Association with Macular Pigment Density*. Pieejams: <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2181228>

Boughen, N. (2003). *LightWave 3D 7.5 Lighting*. Wordware Publishing, Inc. Pieejams: https://books.google.lv/books?id=Xsq4JiSssMoC&pg=PA216&dq=additive-color&redir_esc=y#v=onepage&q=additive-color&f=false

Colin E Willoughby, D. P. (2010). Anatomy and physiology of the human eye: effects of mucopolysaccharidoses disease on structure and function – a review. *Clinical and Experimental Ophthalmology* (lpp. 2-11).

De Valois, e. (1966). *Analysis of Response Patterns of LGN Cells*. Pieejams: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=josa-56-7-966>

Eastman, R. J. (1986). *Opponent Process Theory and Syntax*. Pieejams: <http://dx.doi.org/10.1559/152304086783887208>

Hurt, J. (2012). *Your senses are your raw information learning portals*. Pieejams: <https://velvetchainsaw.com/2012/05/23/your-senses-your-rawinformation-learning-portals/>

Jeremy Nathans, D. T. (1986). *Molecular Genetics of Human Color Vision*. Pieejams: <http://science.sciencemag.org/content/232/4747/193.short>

John S. Werner, S. K. (1986. gada 28. Maijs). *AGING AND HUMAN MACULAR PIGMENT DENSITY*. Pieejams: https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/1837/file/kliegl_etal_1987.pdf

L.M. Hurvich, D. J. (1957). *An opponent-process theory of color vision*. Pieejams: <http://psycnet.apa.org/record/1959-02846-001>

L Ma, M. e. (2012). *Effect of Lutein and Zeaxanthin on Macular Pigment and Visual Function in Patients with Early Age-related Macular Degeneration*. Pieejams: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161642012005453>

Light, L. B. (1994). Light, L. B., Huebner, J. S., & Vergenz, R. A. . *Journal of Chemical Education*. Pieejams: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed071p105>

Maggs D.J., M. P. (2013). *Slatter's fundamentals of veterinary ophthalmology*. Pieejams: <http://rodsncones.blogspot.com/2014/05/anatomy-layers-of-eye.html>

Mollon, J. D. (1982). *Color Vision*. *Annual Review of Psychology*, 33(1), 41–85. Pieejams: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.ps.33.020182.000353>

Nouse, N. (2010. gada 18. Jūnijs). Pieejams: https://en.wikipedia.org/wiki/File:RGB_sliders.svg

Paul L. Kaufman, A. A. (2003). *Adler's Physiology of the eye*, Tenth edition. USA: Mosby.

Paul S. Bernstein, F. C. (2009). *The value of measurement of macular carotenoid pigment optical densities*. Pieejams:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00426989>

R.A. Viscarra Rossel, B. M. (2005). *Colour space models for soil science*. Pieejams: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706105002314>

Rob L. P. van der Veen, Tos T. J. M. Berendschot1, Fred Hendrikse1, David Carden, Maria Makridaki and Ian J. Murray. A new desktop instrument for measuring macular pigment optical density based on a novel technique for setting flicker thresholds, *Ophthalmic Physiol Opt*. 2009, vol 29, p.127–137

Rodriguez-Carmona M, K. J. (2006). *The effects of supplementation with lutein and/or zeaxanthin on human macular pigment density and colour vision*. Pieejams: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2006.00386.x>

Rus, J. (2007). *The Munsell color system*. Pieejams: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Munsell-system.svg>

S Beatty, M. B.-H. (1999). *Macular pigment and age related macular degeneration*. Pieejams: <https://bjo.bmj.com/content/bjophthalmol/83/7/867.full.pdf>

Schwartz, S. H. (1999). *Visual Perception*. Stamford: Appleton&Lange.

Vanessaezekowitz. (2009). *CIE 1931 XYZ Color Matching Functions.svg*. Pieejams: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE_1931_XYZ_Color_Matching_Functions.svg

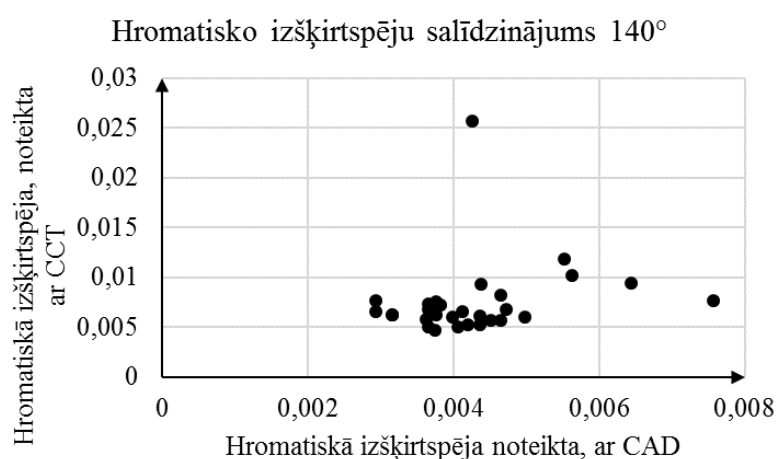
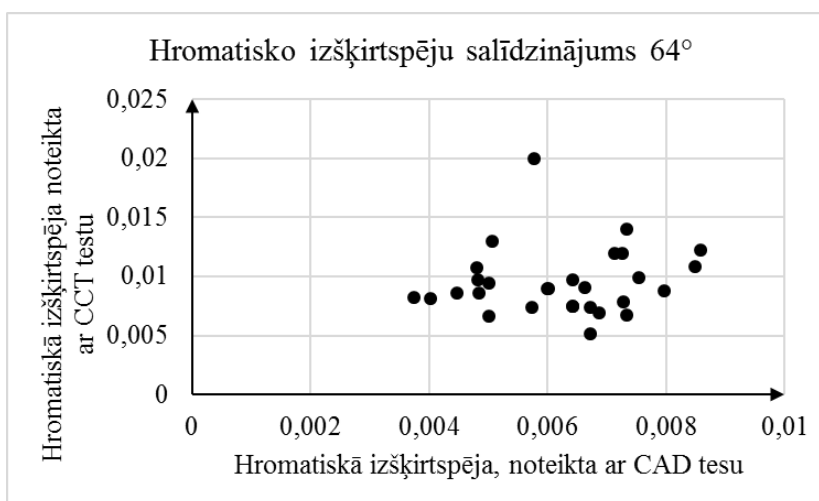
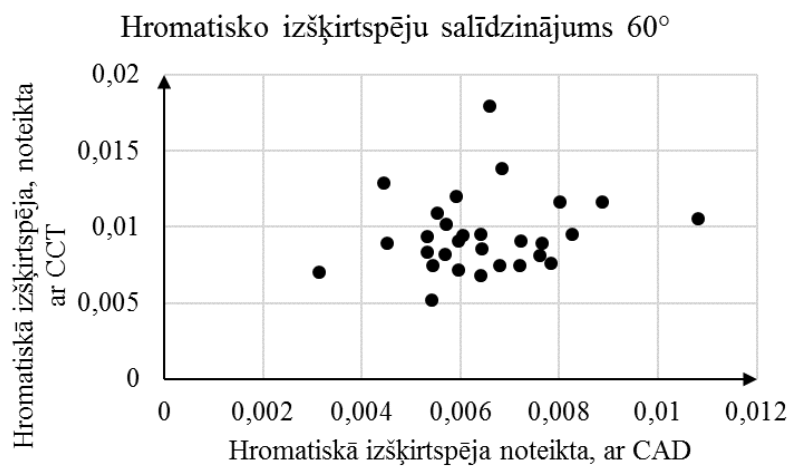
Elektron-eye-technology, *What is considered normal MPOD value?* Pieejams: <https://www.elektron-eye-technology.com/products/mps-ii/mps-ii-technical-profile/#faq>

Young, T. (1802). *Trihromatic colour theory*. Pieejams: http://changingminds.org/explanations/perception/visual/trichromatic_colour.htm

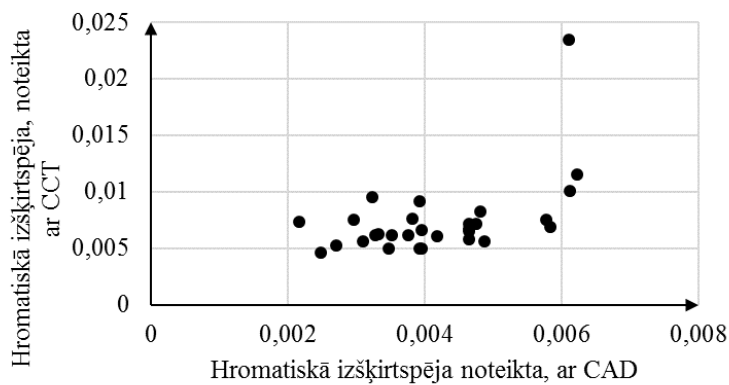
Yurek, J. (2012). *COLOR SPACE CONFUSION*. Pieejams: <http://www.nanosysinc.com/dot-color-archive/2012/08/14/color-space-confusion>

1. PIELIKUMS

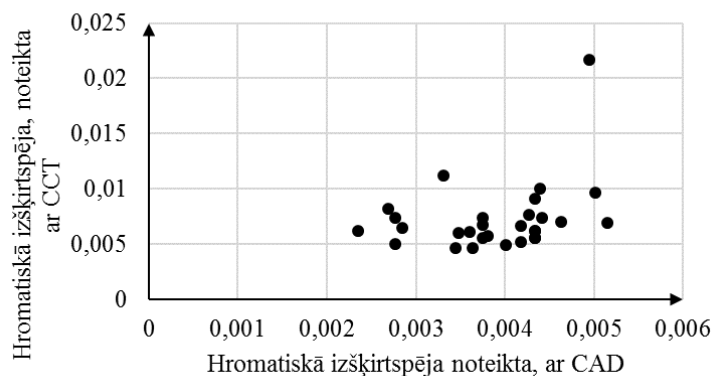
CAD testā un CCT testā noteikto hromatisko izšķirtspēju vērtību saistība katrā no 16 hromatiskajiem virzieniem.



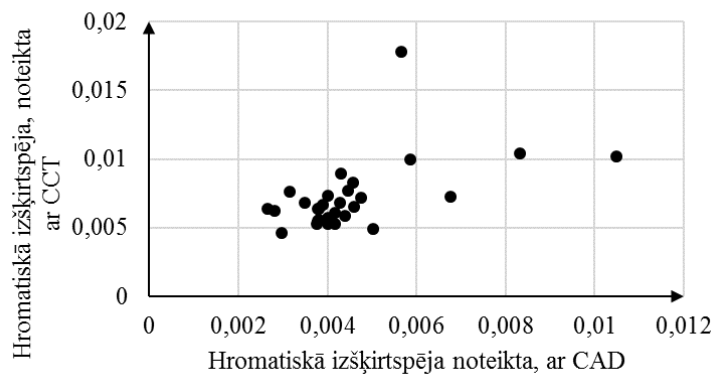
Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 145°



Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 150°

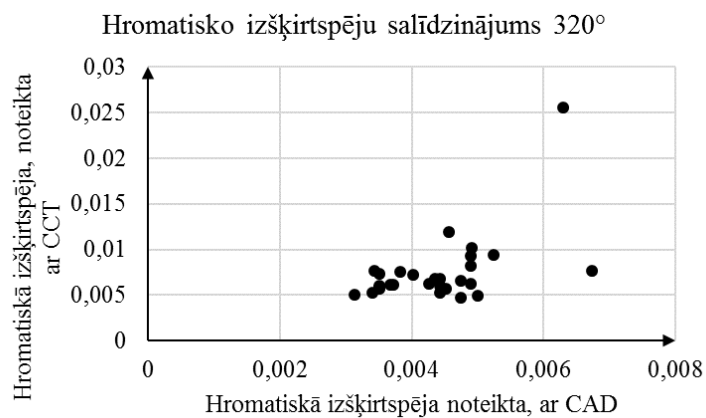
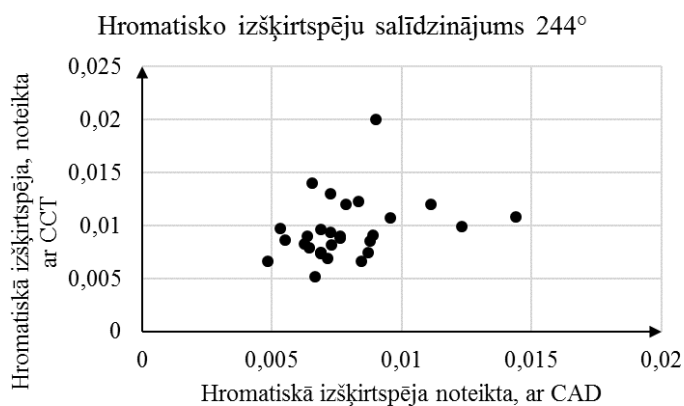
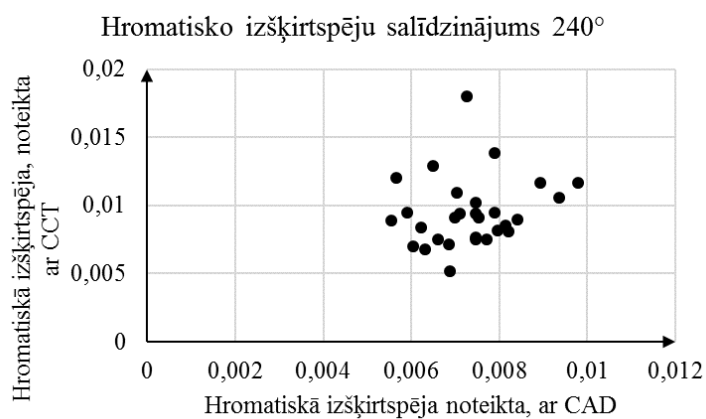
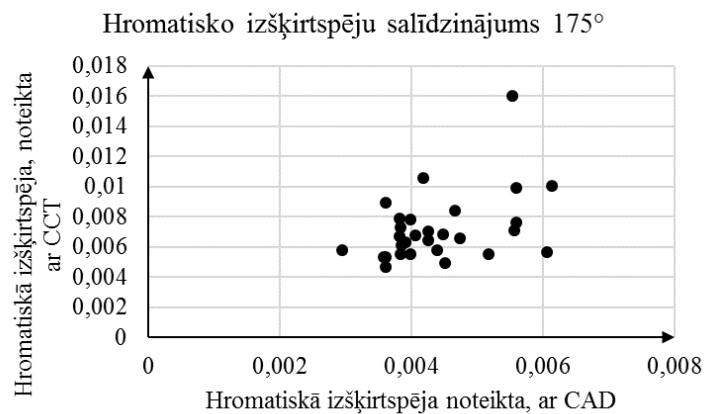


Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 165°

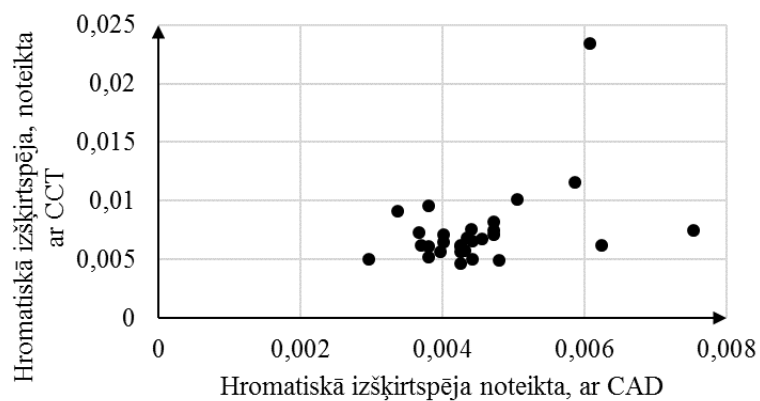


Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 170°

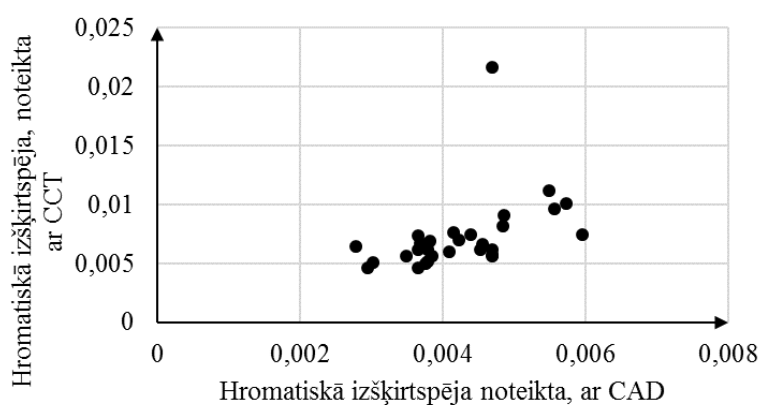




Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 325°



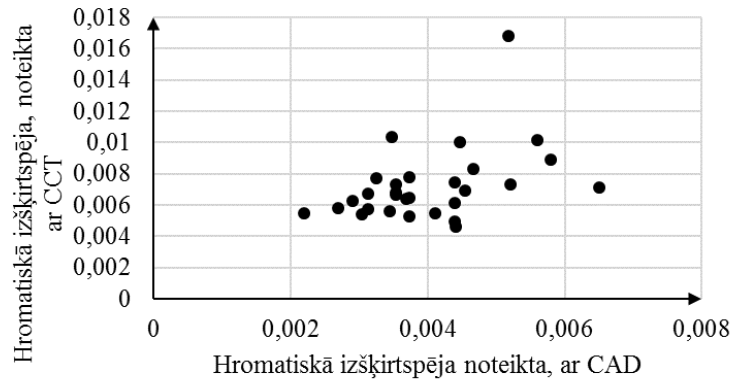
Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 330°



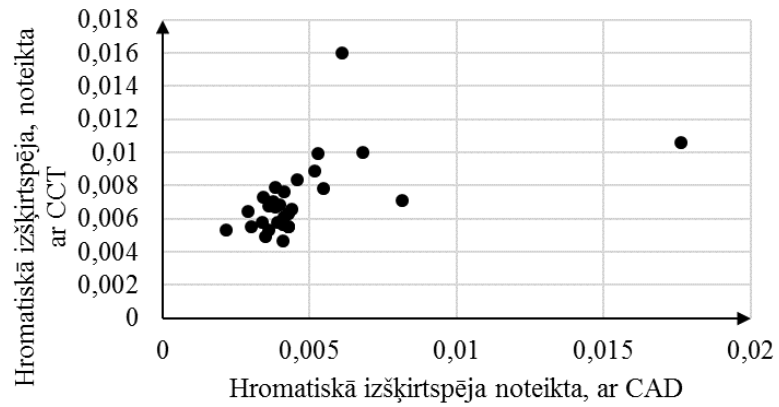
Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 345°



Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 350°

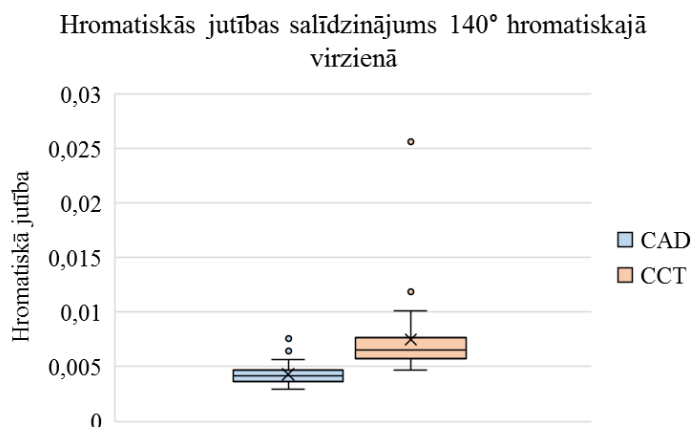
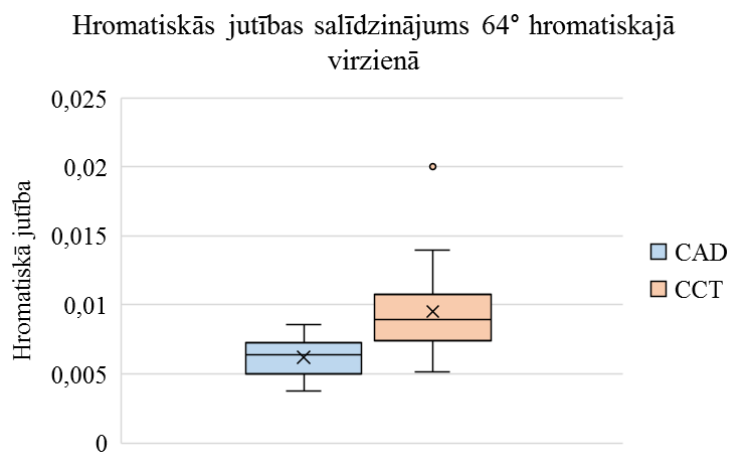
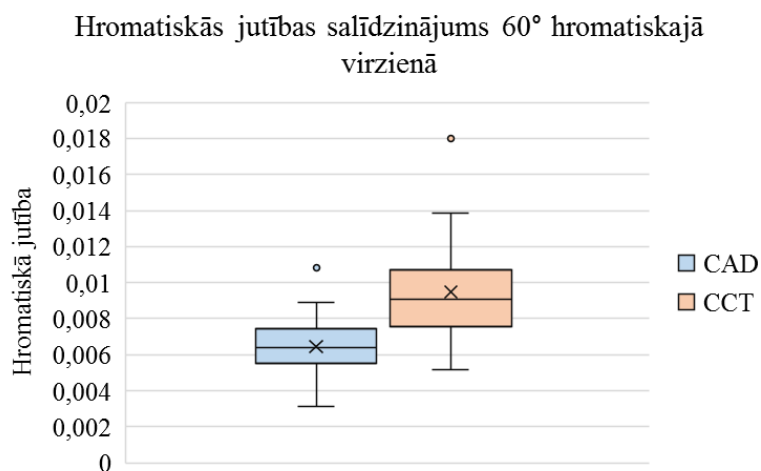


Hromatisko izšķirtspēju salīdzinājums 355°

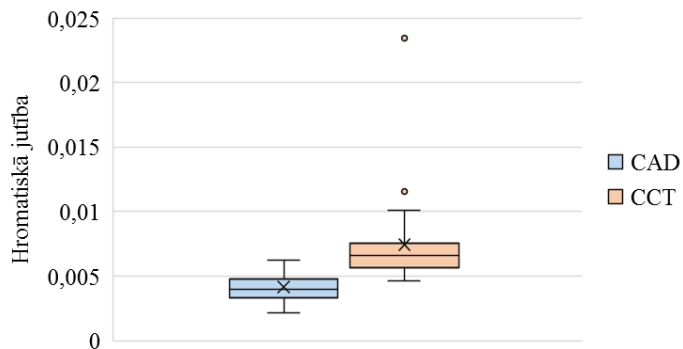


2. PIELIKUMS

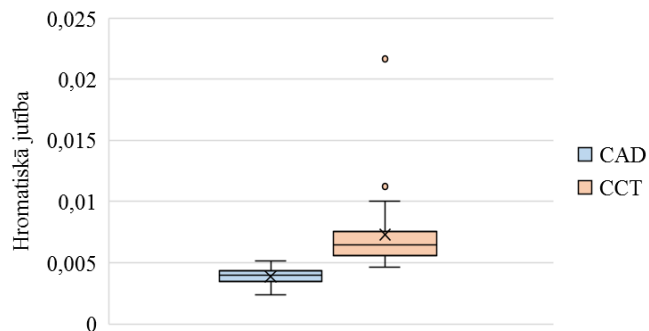
CAD testā un CCT testā noteikto hromatisko izšķirtspēju vērtību izkliede katrā no 16 hromatiskajiem virzieniem.



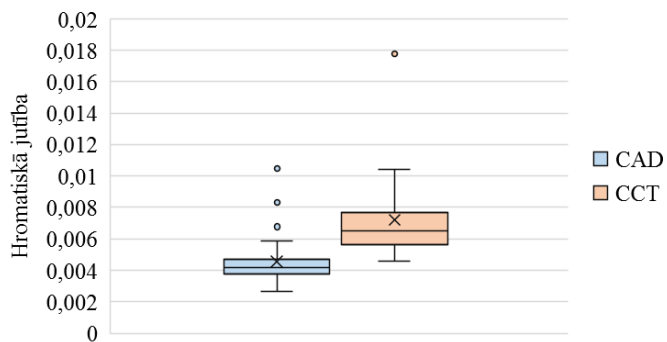
Hromatiskās jutības salīdzinājums 145° hromatiskajā virzienā



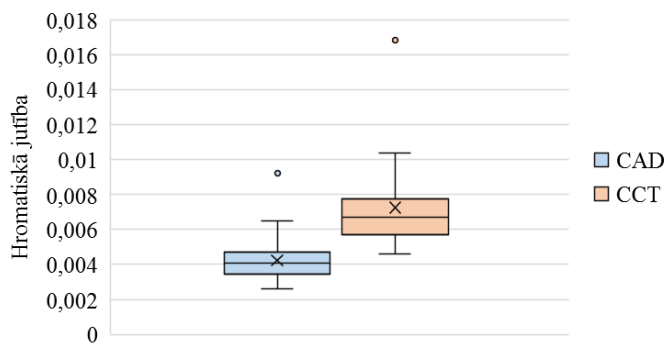
Hromatiskās jutības salīdzinājums 150° hromatiskajā virzienā



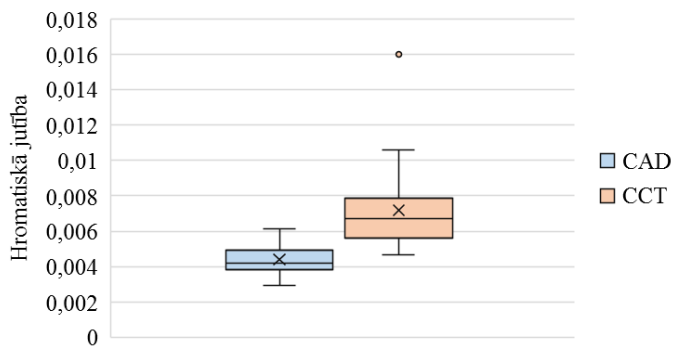
Hromatiskās jutības salīdzinājums 165° hromatiskajā virzienā



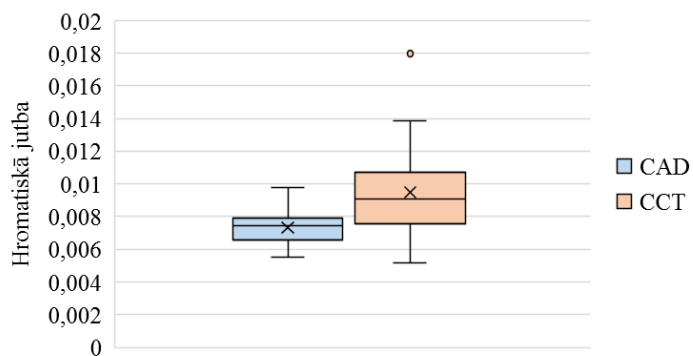
Hromatiskās jutības salīdzinājums 170° hromatiskajā virzienā



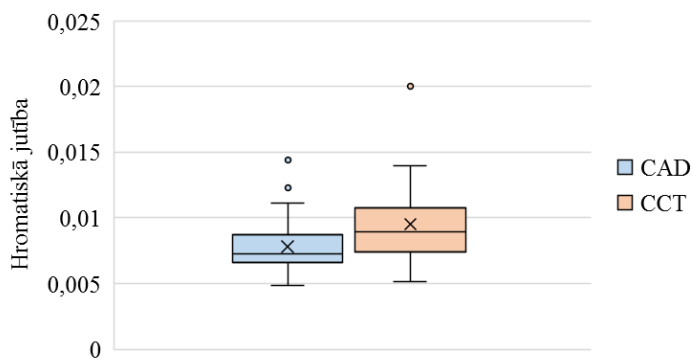
Hromatiskās jutības salīdzinājums 175° hromatiskajā virzienā



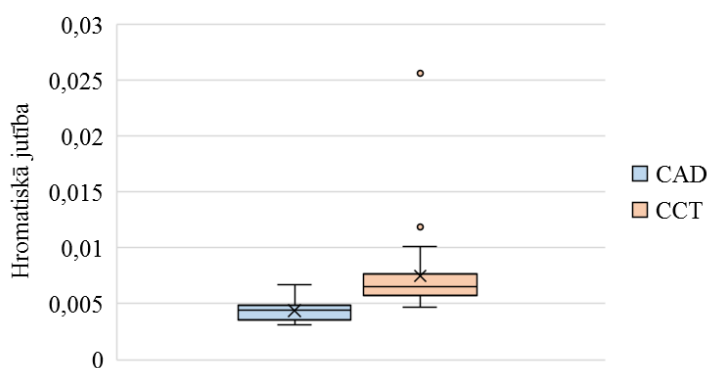
Hromatiskās jutības salīdzinājums 240° hromatiskajā virzienā



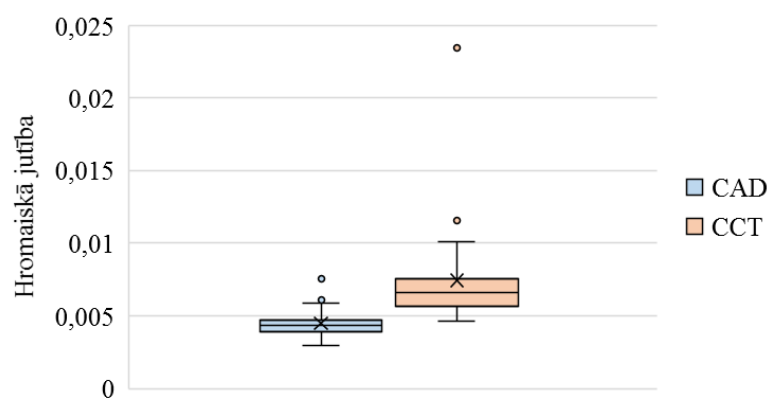
Hromatiskās jutības salīdzinājums 244° hromatiskajā virzienā



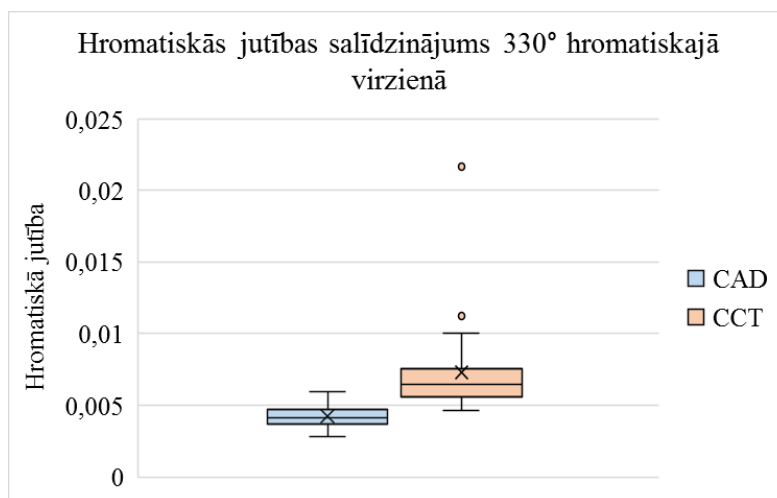
Hromatiskās jutības salīdzinājums 320° hromatiskajā virzienā



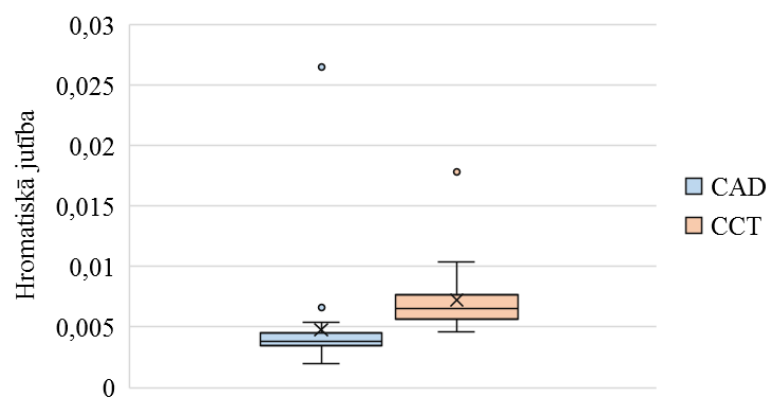
Hromatiskās jutības salīdzinājums 325° hromatiskajā virzienā



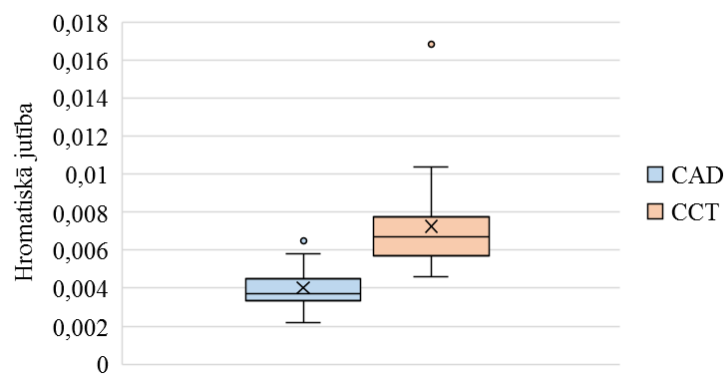
Hromatiskās jutības salīdzinājums 330° hromatiskajā virzienā



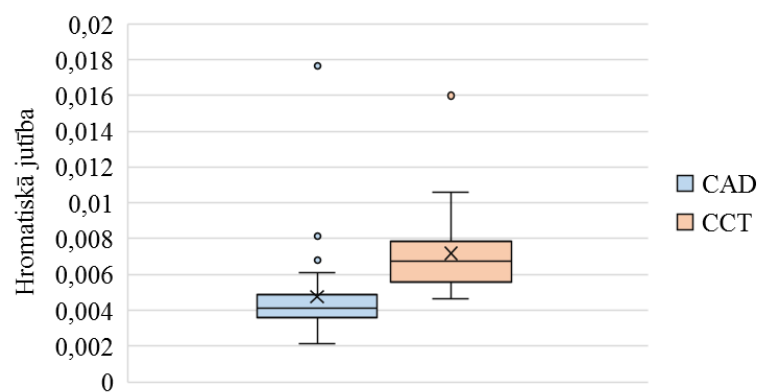
Hromatiskās jutības salīdzinājums 345° hromatiskajā virzienā



Hromatiskās jutības salīdzinājums 350° hromatiskajā virzienā



Hromatiskās jutības salīdzinājums 355° hromatiskajā virzienā



Bakalaura darbs „Makulas pigmenta optiskā blīvuma ietekme uz hromatisko izšķirtspēju ” izstrādāts Latvijas Universitātes Fizikas, matemātikas un optometrijas fakultātē.

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

Autore: Klinta Kronberga Stud.apl.Nr. kz16017

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: lektors, Prof.mag. Renārs Trukša

Recenzents: (Pēteris Cikmačs, docents, Dr.phys.)

Darbs iesniegts Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā _____

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Dzintra Holsta

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījumu komisijas sēdē

_____ protokola Nr. _____

Komisijas sekretārs: _____