



LATVIJAS UNIVERSITĀTE
FIZIKAS UN MATEMĀTIKAS FAKULTĀTE

Gatis Ikaunieks

Promocijas darba kopsavilkums

REDZE PAAUGSTINĀTAS GAISMAS
IZKLIEDĒS APSTĀKĻOS

Doktora zinātniskā grāda iegūšanai fizikā
Apakšnozare: medicīniskā fizika

Rīga, 2010

Darbs ir izstrādāts no 2004. līdz 2010. gadam
Latvijas Universitātes Fizikas un matemātikas fakultātes
Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā

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

Recenzenti:

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

Dr. biol. **Uldis Teibe**, Rīgas Stradiņa universitātē

Prof. Dr. Aleksandr Bulatov, Kauņas Medicīnas universitātē

Promocijas padomes priekšsēdētājs: *Dr. habil. phys.* **Ivars Tāle**

Darbs tiks aizstāvēts 2010. gada 21. jūnijā plkt. 11.00 LU Cietvielu
fizikas institūta konferenču zālē, Ķengaraga 8.

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

Darbs ir izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu.



© Latvijas Universitāte, 2010

© Gatis Ikaunieks, 2010

ISBN 978-9984-45-203-6

Anotācija

Pilnvērtīga autovadītāju redzes kvalitātes novērtēšana joprojām ir aktuāls jautājums redzes aprūpē. Pašlaik galvenie parametri redzes funkciju novērtēšanai ir redzes asums, redzes lauks un kontrastredze. Šajā darbā ir apskatīts vēl viens svarīgs redzes kvalitātes parametrs – acī izkliedētās gaismas (saukta arī par acī „noklīdušo” gaismu) pakāpe.

Darbā ir pētīts, kā paaugstināts acī „noklīdušās” gaismas līmenis, kuru rada acs fizioloģiskie vai apkārtējās vides faktori (migla), ietekmē dažādu krāsu (sarkanās, zaļās vai zilās) stimulu uztveri. Tika noteikts, vai paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļus, kurus rada katarakta vai migla, var simulēt ar šķidro kristālu plāksnīti PDLC (*polymer–dispersed liquid crystal*). Darbā tika pārbaudīts, vai literatūrā atrodamie rezultāti, kuri uzrāda redzes funkciju uzlabojumu, skatoties caur dzeltenās krāsas filtriem, ir saistāmi ar optiskiem efektiem (īso gaismas viļņu absorbēšanu un gaismas izkliedes mazināšanu) vai neirāliem (izmaiņas stimula spožuma uztverē u.c.). Vēl tika apskatīts, kā acij priekšā novietota neliela izmēra apertūra izmaina acī „noklīdušo” gaismu.

Mērījumi tika veikti, izmantojot trīs metodes – redzes asuma psihofizikālos mērījumus dažādos apgaismojuma apstākļos, elektrofizioloģijas metodi redzes izsauktie potenciāli VEP (*visual evoked potentials*) un tiešo kompensācijas metodi – psihofizikālu metodi acī „noklīdušās” gaismas daudzuma noteikšanai.

Redzes asuma un VEP mērījumi gan parastos, gan paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļos uzrādīja vissliktākos rezultātus zilās krāsas stimuliem, salīdzinot ar sarkanās un zaļās krāsas stimuliem. Rezultāti parādīja, ka krāsainu stimulu uztveri paaugstinātos gaismas izkliedes apstākļos pārsvarā ietekmē neirālie faktori, ne optiskie.

Izmantojot PDLC plāksnīti, ir iespējams radīt tādu pašu „noklīdušās” gaismas daudzumu kā biezas miglas vai kataraktas gadījumā. PDLC plāksnīte šādu apstākļu simulācijai ir pielietojama tikai vienkrāsainu stimulu gadījumā, jo uzrāda spektrālo atkarību izkliedētajai gaismai. Miglas un augstas pakāpes kataraktas gadījumā acī „noklīdušajai” gaismai nav spektrālās atkarības.

„Noklīdušās” gaismas mērījumi ar tiešo kompensācijas metodi parādīja, ka dzeltenais filtrs nesamazina gaismas izkliedi acī.

Rezultāti ar neliela izmēra apertūru, novietotu priekšā acij, parādīja, ka šādā veidā ir iespējams novērtēt caur acs sieniņām izgājušās gaismas daudzumu.

Saturs

Darba mērķi.....	5
Darba uzdevumi.....	5
1. Ievads.....	6
1.1. Acī „noklīdušā” gaismā.....	7
1.2. Acī „noklīdušās” gaismas noteikšanas galvenās metodes.....	9
1.2.1. Acī „noklīdušās” gaismas līmeņa novērtēšana ar kontrastjutības un redzes asuma testiem.....	10
1.2.2. Tiešā kompensācijas metode.....	10
1.3. Acī „noklīdušās” gaismas spektrālā atkarība.....	12
2. Darbā izmantotās metodes un stimuli.....	13
2.1. Metodes „noklīdušās” gaismas novērtēšanai acī.....	13
2.1.1. Metode redzes asuma noteikšanai parastos un paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļos.....	13
2.1.2. Elektrofizioloģijas metode redzes izsauktie potenciāli.....	14
2.1.3. Stimuli tiešajā kompensācijas metodē.....	16
2.2. Paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļu radīšana.....	18
2.3. Acī „noklīdušās” gaismas mērījumi, skatoties caur dzeltenu filtru vai neliela izmēra apertūru.....	20
3. Rezultāti un to analīze.....	23
3.1. Redzes asuma mērījumu rezultāti miglā.....	23
3.2. Redzes asuma mērījumi ar PDLC plāksnīti.....	24
3.3. VEP mērījumu rezultāti.....	26
3.4. Acī „noklīdušās” gaismas spektrālās atkarības mērījumi ar tiešo kompensācijas metodi.....	28
3.5. Gaismas izkliedes spektrālā atkarība mākslīgajā miglā.....	29
3.6. PDLC plāksnītes pielietojums paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļu simulācijai.....	31
3.7. Acī „noklīdušās” gaismas izmaiņas, skatoties caur dzeltenās krāsas filtriem.....	35
3.8. Cauri acs sklērai un varavīksnenei izgājušās gaismas daudzuma novērtēšana.....	37
4. Secinājumi.....	38
5. Publikācijas.....	39
Tēzes starptautiskās konferencēs.....	40
Literatūra.....	42
Pateicības.....	46

Darba mērķi

Noteikt redzes sliekšņu izmaiņas hromatiskiem stimuliem atkarībā no acī „noklīdušās” gaismas fona līmeņa, kuru rada acs fizioloģiskie vai apkārtējās vides faktori (migla). Simulēt līdzīgus apstākļus ar gaismas filtru palīdzību. Izpētīt iespējas mazināt acī „noklīdušās” gaismas ietekmi uz redzi.

Darba uzdevumi

1. Izveidot iekārtas un izstrādāt metodiku acī „noklīdušās” gaismas mērīšanai.
2. Noteikt acī „noklīdušās” gaismas spektrālo atkarību normālos apstākļos, mākslīgajā miglā un skatoties caur gaismu izkliedējošiem filtriem.
3. Noteikt šķidro kristālu PDLC plāksnītes (*polymer – dispersed liquid crystal*) ietekmi uz redzi.
4. Novērtēt iespējas lietot PDLC plāksnīti miglas vai dažādas pakāpes kataraktas simulēšanā.
5. Izpētīt, kā izmainās acī „noklīdušās” gaismas līmenis, ierobežojot izkliedi ar maza izmēra apertūru vai skatoties caur dzelteniem filtriem.

1. Ievads

Redzes aprūpes nozarē joprojām ir aktuāls jautājums par pilnvērtīgu redzes kvalitātes novērtējumu. Šī problēma ir svarīga autovadītāju redzes standartu izstrādē, sūdzību novērtēšanā pēc acs refraktīvās ķirurģijas operācijām, kā arī vājredzīgu cilvēku redzes funkciju uzlabošanā. Daži no būtiskākajiem kvalitatīvas redzes rādītājiem ir:

- acs telpiskā izšķirtspēja jeb redzes asums;
- redzes lauks;
- kontrastjutība.

Redzes aprūpes speciālistiem bieži vien redzes asums ir galvenais parametrs, pēc kura tiek novērtēta pacienta redze (*Williams et. al.*, 2008). Tomēr ne vienmēr šis parametrs ir svarīgākais ikdienas uzdevumu veikšanā saistībā ar redzi. Kā rāda pētījumi, tad, piemēram, pārvietošanās telpā ir stipri apgrūtināta pie samazināta redzes lauka vai zemas kontrastjutības, neskatoties uz to, ka redzes asums ir saglabājies relatīvi labs (*Marron et. al.*, 1982).

Redzes lauka mērījumi parasti tiek veikti vecākiem pacientiem, jo uz vecumu palielinās risks iegūt glaukomu – slimību, pie kuras pakāpeniski sašaurinās redzes lauks. Redzes asums un redzes lauks 1992. gadā Eiropas Komisijas apstiprinātajos autovadītāju redzes pārbaudes standartos bija vieni no galvenajiem parametriem redzes funkciju novērtēšanā (*Rijn*, 2005). Izstrādājot jaunākus standartus, tika diskutēts arī par kontrastjutības iekļaušanu autovadītāju redzes pārbaudē, jo redzes asuma un redzes lauka testi nedod pilnvērtīgu acs optiskās kvalitātes novērtējumu.

Kontrastjutība ir apgriezts lielums kontrastam, kurš raksturo atšķirību starp stimula un fona spožumu. Jo subjekts spēj saskatīt zemāka kontrasta stimulus, jo viņam ir labāka kontrastjutība (*Kaufman et. al.*, 2003). Viens no gadījumiem, kad pacienta sūdzības vislabāk ir raksturojamas ar kontrastjutības pasliktināšanos, ir pie agrīnas kataraktas (acs lēcas apduļķošanās). Redzes asums un redzes lauks pie nelielas pakāpes kataraktas parasti būtiski nav izmainīts, bet pacientiem parādās grūtības saskatīt objektus ar zemu kontrastu, tādējādi apgrūtinot dažādu ikdienas uzdevumu veikšanu (*Elliott et. al.*, 1996).

Lai arī kontrastjutība ir svarīgs redzes parametrs, tomēr tās iekļaušanu standarta redzes pārbaudes procedūrās apgrūtinātas, ka ir izstrādāti dažādi atšķirīgi testi tās pārbaudei, kā arī tas, ka kontrastjutība

vecākiem pacientiem standarta apgaismojuma apstākļos var būt tuvu normas robežām, bet ir stipri pazemināta, kad pacienta redzes lauka perifērijā ir kāds spēcīgs gaismas avots. Līdz ar to arī kontrastjutības testu veikšana standartapstākļos ne vienmēr dod pilnvērtīgu redzes kvalitātes novērtējumu. Kontrastjutības pazemināšanās sānu gaismu klātbūtnē ir saistīta ar gaismas izkliedi acī. Šādi traucējoši gaismas avoti šoferiem ir pretim braucošo automašīnu gaismas, kuras naktī īslaicīgi apgrūtina ceļa saskatīšanu, kā arī var radīt apžilbinājumu. Šo iemeslu dēļ tiek diskutēts arī par gaismas izkiedes noteikšanas testu nozīmīgumu redzes pārbaudē, sevišķi autovadītājiem (*Rijn, 2005; Aslam et. al., 2007*).

1.1. Acī „noklīdusī” gaisma

Teorētiski gaismai acī būtu jānonāk tikai caur zīlīti un jāfokusējas uz tīklenes. Tomēr ne visa acī nonākusī gaisma piedalās attēla veidošanā uz tīklenes. Daļa gaismas veido traucējošu fonu, kurš pasliktina attēla uztveri. Iepriekšējā nodaļā šī traucējošā gaisma tika nosaukta kā acī izkiedētā gaisma, tomēr to veido ne tikai izkiedētā gaisma, bet arī no tīklenes atstarotā un caur acs sieniņām izgājušī gaisma (*Stiles, 1929*). Šī iemesla dēļ literatūrā apzīmējumu „izkiedētā gaisma” lieto reti. Biežāk saistībā ar gaismas izkliedi acī tiek lietoti sekojoši apzīmējumi:

- acī „noklīdusī” gaisma (*retinal straylight*);
- redzes funkcijas pasliktinošā žilbšana (*disability glare*).

Šajā darbā pārsvarā tiks lietots apzīmējums „noklīdusī” gaisma. Otrs apzīmējums literatūrā tiek lietots tāpēc, ka redzes funkcijas pasliktinošā žilbšana ir kā sekas paaugstinātai gaismas izkiedei acī (*Aslam et. al., 2007; Franssen et. al., 2007*). Vēl ir arī diskomfortu izraisošā žilbšana, pie kuras redzes funkcijas nav pazeminātas, bet ir subjektīvas sūdzības par apgaismojuma apstākļiem (*Vos, 2003*). Šis žilbšanas veids nav saistīts ar gaismas izkliedi acī, tāpēc darbā apskatīts netika.

Acī „noklīdušo” gaismu var radīt gan acs fizioloģiskie un optiskie (entoptiskie) faktori, gan ārējie – ar aci nesaistīti (ektopiskie) faktori. Galvenie „noklīdušo” gaismu veidojošie entoptiskie faktori ir:

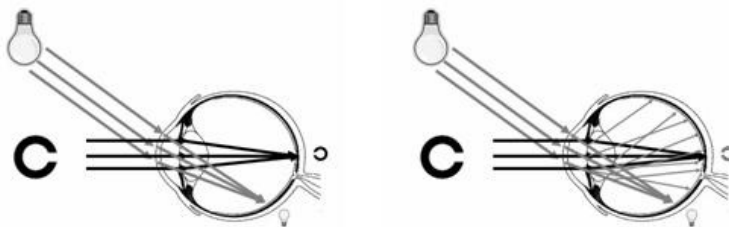
- Gaismas izkiede un atstarošanās acs lēcā, radzenē un tīklenē (*Vos, 2003*). Jauniem cilvēkiem parasti visi šie trīs faktori dod

aptuveni vienādu ieguldījumu gaismas izkliedes radīšanā, bet uz vecumu pieaug acs lēcas radītā gaismas izkliede (kataraktas veidošanās) (Aslam et. al., 2007).

- Caur acs ārējo apvalku sklēru un varavīksneni izgājusī gaisma. Šis faktors ir spēcīgāks acīs ar mazu pigmenta daudzumu (cilvēkiem ar gaišu acu krāsu) (van den Berg et.al., 1991).

Ektopiskie faktori var būt, piemēram, netīrs automašīnas vējstikls, migla, saskrāpētas briļļu lēcas u.c. (Vos, 2003; de Wit et. al., 2003).

Attēlā 1.1. ir parādīta tipiska situācija, kurā „noklīdusī” gaisma traucē uztvert objektu. Attēlā pa kreisi ir parādīts, kā acī bez gaismas izkliedes veidojas fiksējamā objekta (Landolta optotips „C”) un perifērijā esoša gaismas avota attēls uz tīklenes. Attēlā pa labi parādīts, ka gaismas izkliedes rezultātā tīklenes centrā nonāk ne tikai gaisma no fiksējamā objekta, bet arī no perifērijā esošā gaismas avota. Izklīdētās gaismas radītais fons apgrūtinā fiksējamā objekta uztveri, jo samazinās objekta attēla kontrasts, kā arī var būt pastiprināta žilbšana.



1.1. attēls. Attēla veidošanās optiski ideālā acī (pa kreisi) un acī ar gaismas izkliedi (pa labi), kad redzes lauka perifērijā ir spožs gaismas avots. Otrajā gadījumā fiksējamā objekta uztvere ir apgrūtināta.

Uztvertā attēla kontrasta samazināšanos „noklīdušās” gaismas klātbūtnē var parādīt ar matemātiskiem vienādojumiem. Viena no formulām kontrasta C aprēķināšanai ir Vēbera formula:

$$C = \frac{(L_o - L_f)}{L_f} \quad (1.1.),$$

kur L_o – objekta spožums; L_f – fona spožums.

„Noklīdusī” gaisma no perifērijā esošās lampas izgaismo visu tīkleni, tādējādi padarot spožāku gan novērojamo objektu, gan tā fonu. Līdz ar to, lai aprēķinātu uztvertā objekta kontrastu acī „noklīdušās” gaismas klātbūtnē, ir jāpieskaita vienāda spožuma vērtība gan objekta spožumam, gan fona spožumam:

$$C' = \frac{(L_o + L_i) - (L_f + L_i)}{(L_f + L_i)} = \frac{(L_o - L_f)}{(L_f + L_i)} \quad (1.2.),$$

kur C' – kontrasts „noklīdušās” gaismas klātbūtnē, L_i – „noklīdušās” gaismas radītais spožuma pieaugums tīklenē (Narisada *et. al.*, 2004). Izteiksmes (1.1) un (1.2) parāda, ka gaismas izkliedes gadījumā uz tīkles esošā attēla kontrasts vienmēr ir zemāks nekā bez „noklīdušās” gaismas fona.

1.2. Acī „noklīdušās” gaismas noteikšanas galvenās metodes

Klīnikā visbiežāk izmantotās metodes saistībā ar gaismas izkliedes novērtēšanu acī var iedalīt divās grupās:

- metodes, kurās mēra kontrastjutības vai redzes asuma pasliktinājumu perifēro gaismas avotu klātbūtnē;
- metodes, kurās nosaka „noklīdušās” gaismas daudzumu tīkles centrālajā daļā. Viena no šādām metodēm ir tiešā kompensācijas metode (Berg, 1986).

Bez divām pieminētajām metožu grupām ir arī citas mazāk populāras metodes, kuras klīnikā ir iespējams izmantot „noklīdušās” gaismas noteikšanai, taču praktiski netiek izmantotas. Šajā darbā tika pārbaudīta iespēja pielietot VEP metodi acī izkliedētās gaismas novērtēšanai. Tā kā šai metodei nav izstrādāts vienots standarts, šīs metodes apraksts ir tikai praktiskajā daļā

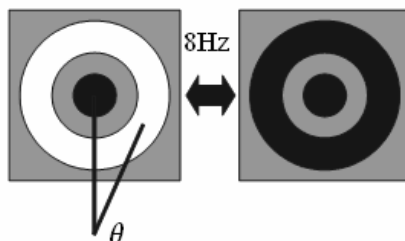
1.2.1. Acī „noklīdušās” gaismas līmeņa novērtēšana ar kontrastjutības un redzes asuma testiem

Testi, balstīti uz pirmās grupas metodēm, klīnikā parādījās ātrāk nekā otrās grupas metodes. Šajos testos tiek izmantotas redzes asuma vai kontrastjutības tabulas, kurām blakus ir novietoti pret pacientu vērsti gaismas avoti (*Beckman et.al.*, 1992; *Rijn et.al.*, 2005). Tests tiek veikts ar izslēgtiem un ieslēgtiem sānu gaismu avotiem. Vadoties no tā, cik atšķirīgi ir testa rezultāti, iegūti ar ieslēgtām un izslēgtām sānu gaismām, tiek novērtēta izkliedētās gaismas radītās žilbšanas ietekme uz redzi. Galvenais šo metožu trūkums ir tas, ka rezultātus ietekmē ne tikai acs optiskie faktori, bet arī neirālie. Kā pierādījums šim apgalvojumam ir dažu autoru rezultāti, kuri atsevišķos gadījumos uzrādīja redzes funkciju uzlabojumu pie ieslēgtām sānu gaismām (*Waard et. al.*, 1992), kaut gan pēc acs optiskajām īpašībām būtu sagaidāms pretējs efekts.

Otrās grupas metodes ir balstītas uz pavisam citu principu. Tā kā darba izstrādē pārsvarā tika izmantota viena no šādām metodēm – tiešā kompensācijas metode, tad šī metode tiks apskatīta smalkāk.

1.2.2. Tiešā kompensācijas metode

Lai arī pētījumi par gaismas izkliedi acī zinātniskā literatūrā ir parādījušies jau sen (*Holladay*, 1926; *Stiles*, 1929), klīnikā pieejama rūpnieciski ražota aparatūra, kura mēra gaismas izkļedes daudzumu acī, ir parādījusies salīdzinoši nesen (*Berg*, 1986; *Franssen et. al.*, 2006). Viena no acī izkliedētās gaismas noteikšanas metodēm ir tiešā kompensācijas metode. Šajā metodē tiek noteikts pacienta „noklīdušās” gaismas līmenis tīklenē (*Berg*, 1986). Mērījuma laikā subjektam tiek rādīts mirgojošs gredzens (**att. 1.2.**). Mirgošanas frekvence ir ~8 Hz.



1.2. attēls. Laikā mainīgs stimuls tiešajā kompensācijas metodē. Stimuls sastāv no mirgojoša gredzena, kurš rada izkliedēto gaismu acī, un testa stimula – riņķa, kurš atrodas gredzena centrā. Pa kreisi attēlā ir *on* fāze, pa labi *off* fāze.

Subjektam ir jāfiksē skatiens gredzena centrā. Kad gredzens ir izgaismots (*on* fāze), gaismas izkļiedes rezultātā daļa gredzena gaismas nonāk arī tīklenes centrā, padarot fiksējamā objekta attēlu šķietami gaišāku, līdzīgi kā **att. 1.1.** parādītajā situācijā. Līdz ar to, gredzenam mirgojot, subjekts novēro arī šķietamu gaismas mirgošanu gredzena centrā. Ja centrālo testa stimulu izgaismo ar gaismu, kura mirgo pretējā fāzē kā gredzens, tad ir iespējams atrast tādu mirgojošās gaismas daudzumu centrālajā laukā, kura izkompensē gredzena radīto šķietamo mirgošanu centrā. Šajā gadījumā subjekts gaismas mirgošanu centrā vairs nenovēro. Subjekta uzdevums mērījuma laikā ir fiksēt skatienu gredzena centrā un atrast tādu centrālā gredzena spožuma līmeni L , kurš izkompensētu gredzena radīto šķietamo mirgošanu centrā. Tiešajā kompensācijas metodē „noklīdusī” gaisma tiek aprēķināta pēc Starptautiskās komisijas apgaismojumu standartu izstrādei (*Commission internationale de l'éclairage CIE*) izstrādātā ieteikuma (Vos, 1984). Pēc šī standarta „noklīdušās” gaismas parametru s var aprēķināt pēc formulas:

$$s = \frac{\theta^2 L}{E} \quad (1.3),$$

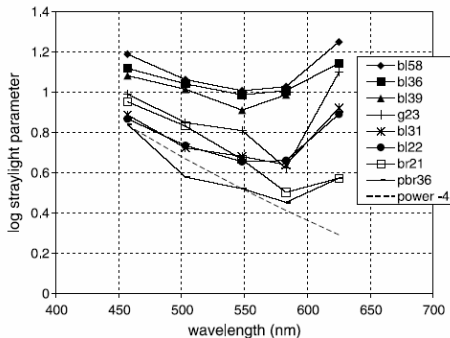
kur L – testa stimula kompensējošais spožums, pievienots *off* fāzē; θ – leņķiskais attālums (grādos) no gredzena vidus līdz testa stimula centram (sk. **att. 1.2.**); E – gredzena radītais apgaismojums acs plaknē.

Šai metodei ir izstrādāts uzlabots variants – salīdzinošā kompensācijas metode (*Franssen et. al., 2006*). Jaunā metode nodrošina lielāku rezultātu ticamību, kas ir būtisks faktors klīniskajiem

mērījumiem. Vienkāršākā principa dēļ šajā darbā pamatā tika izmantota tiešā kompensācijas metode.

1.3. Acī „noklīdušās” gaismas spektrālā atkarība

Literatūrā ir atrodami daudzi raksti saistībā ar gaismas izkliedes acī spektrālo atkarību. Pētījumi uzrāda atšķirīgus rezultātus. Dažos rakstos ir atrodams, ka acī ir Mi veida izkliede, kura nav atkarīga no gaismas viļņa garuma (krāsas) (Wooten *et al.*, 1987; Whitaker *et al.*, 1993). Jaunāki pētījumi parādīja, ka jauniem cilvēkiem ar lielu pigmenta daudzumu acī (ar brūnām acu varavīksnenēm) gaismas izkliede ir atkarīga no gaismas viļņa garuma un ir tuva Releja tipa izkļedei ($\propto \lambda^{-4}$). (Coppens *et al.*, 2006). Pie garākajiem gaismas viļņiem (sarkanās gaismas) izkliede acī ir lielāka nekā būtu sagaidāms no Releja izkļedes modeļa (sk. att. 1.3.). Šis pieaugums ir saistīts ar to, ka garākie gaismas viļņi vairāk iziet cauri acs ārējām apvalkam sklērai un varavīksnēnei nekā īsākie gaismas viļņi. Vislielākais izkļedes pieaugums sarkanajai gaismai ir cilvēkiem ar gaišu acu krāsu (maz pigmentētām acīm). Uz vecumu gaismas izkliede pieaug un tās spektrālā atkarība samazinās (Coppens *et al.*, 2006).



1.3. attēls. Acī „noklīdušās” gaismas spektrālā atkarība. Dati sagrupēti pēc subjektu vecuma un acu krāsas (bl – zila; gr – pelēka; br – brūna, pbr – tumši brūna). (Coppens *et al.*, 2006).

Iepriekšējie pētījumi ir saistīti ar entoptisko faktoru radīto gaismas izkliedi acī. Mūs šajā darbā interesēja, kāda ir miglas radītās „noklīdušās” gaismas spektrālā atkarība. Teorētiski būtu sagaidāms, ka

miglā izkliede ir vienāda visiem gaismas viļņa garumiem, jo miglā esošo ūdens pilienu izmērs ir stipri lielāks par gaismas viļņa garumu (Friedlander, 2000; Mainster *et.al.*, 2003). Tomēr jāņem vērā, ka kopējo acī „noklīdušās” gaismas daudzumu veido gan entoptiskie, gan ektopiskie gaismas izkļiedes avoti (Vos, 2003). No tā izriet, ka acī „noklīdušās” gaismas spektrālo atkarību ietekmē ne tikai miglas gaismas izkļiedes īpašības, bet arī acs optiskās īpašības. Iepriekš minētie dati parādīja, ka acs radītajai gaismas izkļiedei ir spektrālā atkarība. Līdz ar to acī izkļiedētai gaismai spektrālā atkarība varētu saglabāties arī tad, kad mērījumi tiek veikti miglā.

2. Darbā izmantotās metodes un stimuli

2.1. Metodes „noklīdušās” gaismas novērtēšanai acī

Lai noteiktu izkļiedētās gaismas daudzumu acī, kā arī lai novērtētu tās ietekmi uz redzes funkcijām, darba gaitā tika izmantotas 3 metodes:

- redzes asuma psihofizikālie mērījumi parastos un paaugstinātas gaismas izkļiedes apstākļos;
- elektrofizioloģijas metode redzes izsauktie potenciāli (*visual evoked potentials* VEP);
- tiešā kompensācijas metode (*van den Berg*, 1986).

2.1.1. Metode redzes asuma noteikšanai parastos un paaugstinātas gaismas izkļiedes apstākļos

Darba izstrādes sākuma posmā intraokulārās gaismas izkļiedes novērtēšanai tika izmantoti redzes asuma mērījumi, kuri tika veikti normālos un paaugstinātas gaismas izkļiedes apstākļos. Šādi mērījumi darbā tika izvēlēti divu iemeslu dēļ. Pirmkārt, līdzīgs princips izkļiedētās gaismas daudzuma novērtēšanai acī tiek izmantots arī klīnikā (*Rijn et al.*, 2006). Otrkārt, LU Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā šāda metode intraokulārās gaismas izkļiedes pētīšanai ir izmantota jau iepriekš (*Ozolinsh et al.*, 2004).

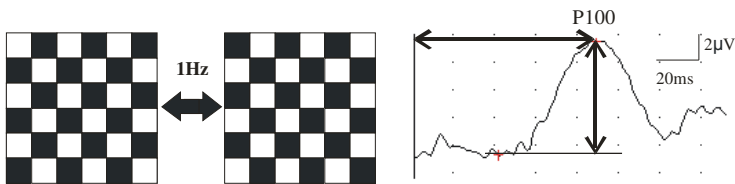
Redzes asuma mērijumos kā stimuls tika izmantots Landolta gredzens, kurš tika rādīts uz datora ekrāna, izmantojot speciāli veidotas datorprogrammas, kā arī datorprogrammu „*Freiburg Visual Acuity Test*” (Bach, 2007). Subjekta uzdevums mērijumu laikā bija skatīties uz ekrānu un ar klaviatūras palīdzību sniegt atbildi, uz kuru pusi ir vērsts Landolta gredzena atvērums. Redzes asuma sliekšņa noteikšanai tika izmantota trepjveida un piespiedu izvēles psihofizikālās metodes.

Tā kā viens no darba uzdevumiem bija novērtēt gaismas izkliedes acī spektrālo atkarību, tad tika izmantoti ne tikai melnbalti redzes stimuli, bet arī krāsaini. Vienā no veiktajiem pētījumiem (Ozolinsh *et al.*, 2006) tika izmantots stimuls, kurš sastāvēja no balta fona un attiecīgi sarkana, zaļa, zila vai dzeltena Landolta gredzena (Ar Vēbera kontrastu attiecīgi 0.84; 0.30; 0.89 un 0.14). Darba attālums bija 6m. Paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļu radīšanai tika izmantota dažādas redzamības mākslīgā migla.

Citā no veiktajiem pētījumiem (Ikaunieks *et al.*, 2008 (2)) tika izmantoti melni Landolta gredzeni, kuri tika rādīti uz vienādi spoža sarkana, zaļa vai zila fona (Vēbera kontrasts 0.85). Šajā pētījumā attālums līdz testam bija 4 m. Gaismas izkliedes radīšanai tika izmantota šķidro kristālu plāksnīte PDLC, kura tika novietota priekšā acij.

2.1.2. Elektrofizioloģijas metode redzes izsauktie potenciāli

Metode redzes izsauktie potenciāli (*visual evoked potentials* VEP) ir viena no redzes elektrofizioloģijas metodēm, kuru izmanto redzes sistēmas darbības novērtēšanā gan klīnikā, gan pētnieciskiem nolūkiem. Metodes pamatā ir ar redzes sistēmas saistītu biosignālu reģistrēšana smadzenēs, piestiprinot elektrodus ar speciālas pastas palīdzību noteiktās vietās pie galvas. Mērijuma brīdī subjektam tiek rādīts laikā periodiski mainīgs redzes stimuls (**att. 2.1.**). Analizējot iegūto smadzeņu aktivitātes līkni (**att. 2.1.**), ir iespējams novērtēt redzes sistēmas darbību. Galvenie parametri, pēc kuriem tiek analizēta līkne, ir laika brīdis (latence) no stimula parādīšanas līdz atbildei smadzenēs un atbildes stiprums – amplitūda. Par atbildi uz **att. 2.1.** redzamo stimulu uzskata līknes pirmo uz augšu vērsto vilni, kuru apzīmē ar P100. Pie redzes sistēmas traucējumiem būtu sagaidāms, ka latence kļūst garāka un amplitūda samazinās.



2.1. attēls. Kreisajā pusē ir parādīts laikā mainīgs periodisks stimul, kuru visbiežāk izmanto VEP metodē. Darbā tika izmantoti stimuli, kuros baltie lauciņi tika aizstāti ar sarkaniem, zaļiem vai ziliem lauciņiem. Labajā pusē ir parādīta redzes sistēmas atbilde uz šo stimulu. Horizontālā bulta norāda viļņa P100 latenci, bet vertikālā – amplitūdu.

Literatūrā ir atrodami pētījumi par VEP metodes izmantošanu intraokulārās gaismas izkliedes novērtēšanā (*Tetsuka et al.*, 1992, *Hidajat et al.*, 2000). VEP metodes priekšrocība ir tāda, ka tā ir objektīva metode un tajā var analizēt divus reģistrētās līknes parametrus – latenci un amplitūdu. Katrs no šiem parametriem ir jutīgs uz atšķirīgām izmaiņām uztvertajā stimulā.

Arī šī darba izstrādē „noklīdušās” gaismas līmeņa novērtēšanai un tās spektrālās atkarības noteikšanai tika izmantota VEP metode. Biosignāla reģistrēšanai tika izmantoti Ag/AgCl elektrodi. Tie tika piestiprināti pie galvas, vadoties pēc starptautiskās sistēmas „10-20”. Aktīvais elektrods tika novietots pakauša daļā tuvu primārajai redzes garozai (pozīcija Oz). Referentais elektrods tika novietots pozīcijā Cz, bet zemes elektrods pie auss. Impedance visiem elektrodiem bija zemāka par 10 kΩ. Kā redzes stimul tika izmantots reversējošs “šaha” lauciņš. Tā krāsas bija sarkana – melna, zaļa – melna vai zili – melna. Sarkanās, zaļās un zilās krāsas spožums bija 22 cd/m². Šaha lauciņa viena kvadrāta lielums bija 1 grāds un reversēšanas frekvence 1Hz. Visa stimula lielums bija 20 grādi. Katrai iegūtajai līknei tika noteikta pirmā pozitīvā viļņa (P100) latence un amplitūda.

2.1.3. Stimuli tiešajā kompensācijas metodē

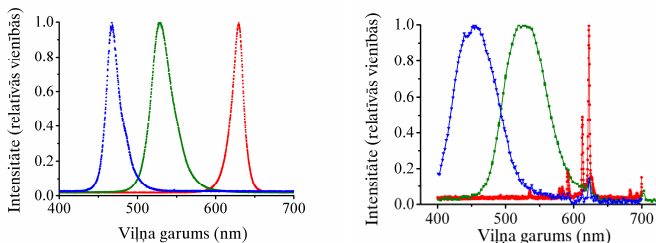
Šajā darbā viena no galvenajām metodēm “noklīdušās” gaismas novērtēšanai bija tiešā kompensācijas metode. Tās pamatprincipi ir aprakstīti nodaļā “Tiešā kompensācijas metode”.

Darba izstrādes procesā tika izmantoti vairāki tiešās kompensācijas metodes stimuli:

- stimul, kuri tika rādīti uz datora ekrāna;
- no gaismu emitējošām diodēm izveidoti stimuli.

Pirmā stimula (sk **att. 2.2.**) radīšanai tika izmantota speciāli izveidota datorprogramma. Gredzena krāsa bija sarkana, zaļa vai zila. Krāsu koordinātes xy pēc CIE sistēmas bija 0.16, 0.12 zilai krāsai, 0.30, 0.59 zaļai krāsai un 0.59, 0.36 sarkanai krāsai (Minolta CS-100). Dominējošie gaismas viļņa garumi attiecīgi bija 471 nm, 546 nm un 604 nm. Tādas pašas krāsas tika izmantotas arī redzes asuma un VEP mērījumos. Stimuli tika rādīti uz CTX PR960F 19" monitora. Attālums līdz ekrānam mērījumu laikā bija 0.6 m. Kompensējošo gaismas daudzumu subjekts piemeklēja ar klaviatūras palīdzību.

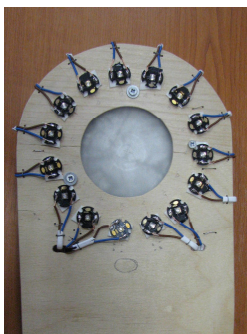
Datora ekrāna izstarotā gaisma dod plaša spektra sarkano, zaļo un zilo gaismu nevis monohromatisku gaismu. Otrs uz datora ekrāna rādīta stimula trūkums ir zems zilās gaismas spožums, tāpēc mērījumos ar šo gaismu subjektiem bija grūti piemeklēt kompensējošo gaismu. Šo iemeslu dēļ tika izmantots arī no sarkanām, zaļām un zilām gaismas diodēm veidots stimul. Diožu gaisma arī nebija monohromātiska, tomēr to izstarotā gaisma bija šaurākā viļņu diapozonā nekā no datora ekrāna izstarotā gaisma (**att. 2.2.**).



2.2. attēls. Starojuma spektri zilās, sarkanās un zaļās gaismas diodēm (pa kreisi) un CRT monitora krāsu kanāliem (pa labi).

Kopumā darba izstrādes procesā tika izmantoti divi stimuli, veidoti no gaismas diodēm. Viens no stimuliem tika izmantots mērījumu veikšanai tuvās distancēs (~0.6 m), otrs – tālumā (~5 m). Tā kā abu stimulu darbības princips bija vienāds, bet atšķīrās tikai to izmēri, tad smalkāk tiks apskatīts tikai viens izveidotais stimuluss.

Izveidotais diožu stimuluss sastāvēja no plāksnes, kurai tika piestiprinātas sarkanas, zaļas un zilās diodes (**att. 2.3.**). Diožu veidotā riņķa rādiuss attiecībā pret novērotāju bija 5.5 grādi. Riņķa vidū tika nostiprināts 14 mm biezs organiskā stikla disks. Disks tika izmantots kā testa stimuluss tiešajā kompensācijas metodē. Tā malās tika izurbti 9 caurumi, kuros ar vienādiem intervāliem tika ievietotas 3 sarkanas, zaļas un zilās diodes. Kad diodes tika ieslēgtas, gaismas iekšējās atstarošanas un laušanas rezultātā disks tika vienmērīgi izgaismots. Diska izmērs bija 1.2 grādi.



2.3. attēls. No gaismas diodēm izveidotais stimuluss tiešajā kompensācijas metodē.

Izklaidētā gaisma tika noteikta pēc tiešās kompensācijas metodes principa (*van den Berg*, 1986) (sk nodaļu „Tiešā kompensācijas metode”). Perifērās diodes mirgoja ar frekvenci ~ 16 Hz. Subjekta uzdevums bija atrast tādu pretējā fāzē mirgojošo diska spožumu, kurš kompensēja perifēro diožu radīto šķietamo mirgošanu centrā. Centrālā stimula spožums tika regulēts, izmantojot barošanas bloku ar maināmu izejošo strāvas stiprumu. Mērījumi tika veikti atsevišķi sarkanai, zaļai un zilai gaismai. Kompensējošās gaismas spožums un gredzena radītais apgaismojums tika aprēķināts no kalibrācijas līknēm. Stimula kalibrācija tika veikta, izmantojot hromometru Minolta CS-100 un luksometru *Meterman LM631*.

2.2. Paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļu radīšana

Paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļu radīšanai tika izmantoti divi ektopiski gaismas izkliedes avoti:

- mākslīgā migla;
- gaismu izkļiedējoša šķidro kristālu plāksnīte (*polymer – dispersed liquid crystal* PDLC).

Daļa mērījumu tika veikta mākslīgās miglas kamerā, kura atradās Klermonā–Ferānā, Francijā. Migla tika radīta, periodiski izsmidzinot kamerā smalkus ūdens pilienus. Miglas blīvums kamerā bija vienmērīgs un ūdens daļiņu izmērs bija $\sim 4 \mu\text{m}$ (Colomb *et al.*, 2008). Mainot laika intervālu starp ūdens izsmidzināšanas reizēm, bija iespējams iegūt dažāda blīvuma (redzamības pakāpes V) miglu. Pētījumos tika izmantota migla ar redzamību robežās no 7 līdz 25m. Šādi zemas redzamības miglas apstākļi tika izvēlēti tāpēc, ka bieža mākslīgā migla bija laikā stabilāka par zemas pakāpes miglu.

Mākslīgās miglas blīvuma kontrolēšanai tika izmantota ierīce transmisometrs, kurš sastāvēja no gaismas avota un uztvērēja. Ierīce noteica atmosfērisko caurlaidības faktoru T , kurš tiek definēts kā attiecība starp gaismas plūsmu Φ_o , kura nāk no gaismas avota, un caur miglu izgājušās gaismas plūsmu Φ (Colomb *et al.*, 2008). Caurlaidības faktoru T apraksta *Bouguer–Lambert* likums:

$$T = \frac{\Phi}{\Phi_o} = e^{-\sigma_t d} \quad (2.1),$$

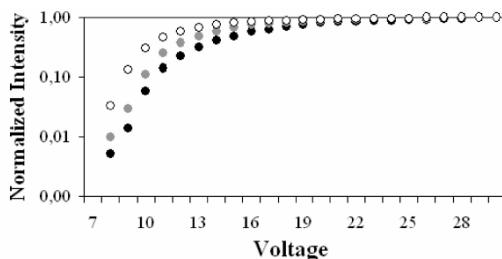
kur σ_t – ekstinkcijas jeb vājināšanās koeficients, d – attālums no gaismas avota līdz uztvērējam. Parasti miglas blīvumu raksturo ar citu parametru – redzamību V . Tā tiek definēta kā attālums, kurā melnam objektam uz balta fona atmosfērisko faktoru dēļ Vēbera kontrasts C ir vienāds ar kontrasta sliekšņa vērtību. Pieņemot, ka cilvēkam kontrasta sliekšņa vērtība ir 0.05, redzamību V var aprēķināt pēc *Koschmieder* vienādojuma (Hinds, 1999):

$$V = -\frac{\ln 0.05}{\sigma_t} = \frac{3}{\sigma_t} \quad (2.2).$$

Daļa gaismas izkliedes mērījumu tika veikti, izmantojot šķidro kristālu filtru PDLC (*polymer-dispersed liquid crystal*). Šī materiāla priekšrocība ir tāda, ka, pievadot tam maiņspriegumu, var mainīt plāksnītes caurlaidību un cauri izgājušās gaismas izkliedes pakāpi. Viens no darba mērķiem bija novērtēt PDLC plāksnītes pielietošanas iespējas paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļu radīšanai – miglas vai kataraktas simulācijai. Ar agrīnas kataraktas radītām redzes sūdzībām saskaras gados vecāki cilvēki. Atrodot piemērotu materiālu kataraktas simulācijai, būtu vieglāk pētīt un demonstrēt kataraktas ietekmi uz redzi, tādējādi labāk izprotot šādu pacientu sūdzības par redzes kvalitāti (*de Wit et al.*, 2006). Migla un agrīnas kataraktas veidošanās ir būtiski faktori, kuri var ietekmēt ceļu satiksmes drošību (*Cavallo et al.*, 2001; *Owsley et al.*, 2002). Līdz ar to šādu apstākļu simulācija palīdzētu vieglāk pētīt autovadītāju redzi paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļos.

PDLC filtrs sastāvēja no divām stikla plāksnītēm, starp kurām atradās 10 mikronus biezs polimēra (PN393 MerckKgaA) slānis ar pāris mikrometru lieliem šķidrā kristāla (BL035 MerckKgaA) pilieniem. Polimēram laušanas koeficients bija $n=1.473$ (589 nm), bet šķidrajam kristālam laušanas koeficients bija $n_o=1.528$. Pievadot plāksnītēm maiņspriegumu, bija iespējams mainīt cauri plāksnītēm izgājušās gaismas izkliedes pakāpi. Ja plāksnītēm nav pievadīts maiņspriegums, šķidrie kristāli plāksnītēs ir vērsti dažādos virzienos. Atšķirīgie laušanas koeficienti polimēram un šķidro kristālu daļiņām rada gaismas izkliedi. Pievadot plāksnītēm maiņspriegumu, kristāli tika orientēti vienā virzienā un to gaismas caurlaidība palielinās (*Ozolinsh et al.*, 2004).

PDLC filtra gaismas caurlaidība sarkanai (635 nm), zaļai (532 nm) un zilai (473 nm) gaismai ir parādīta **att. 2.4**. PDLC filtra gaismas izkliedes spektrālā atkarība samazinās, ja tiek palielināta filtra caurlaidība (pievadīts lielāks spriegums).



2.4. attēls. PDLC filtra gaismas caurlaidība atkarībā no tam pievadītā sprieguma sarkanai (635 nm, baltie aplī), zaļai (532 nm, pelēkie aplī) un zilai (473 nm, melnie aplī) gaismai (*Bueno et al.*, 2008).

2.3. Acī „noklīdušās” gaismas mērījumi, skatoties caur dzeltenu filtru vai neliela izmēra apertūru

Literatūrā atrodamie dati parāda, ka redzes kontrastjutību ir iespējams uzlabot ar dzeltenu filtru palīdzību, sevišķi mezopiskos (krēslas) apstākļos (*Pérez – Carrasco et al.*, 2005). Kā viens no iemesliem šim uzlabojumam tiek minēts dzeltenu lēcu spektrālās caurlaidības īpašības. Dzeltenie filtri aiztur īsos gaismas viļņus (zilo gaismu), kuri tiek izkliedēti visvairāk. Tādejādi, pēc dažu autoru domām, dzeltenie filtri samazina gaismas izkliedi acī un uzlabo attēla optisko kvalitāti (*Miller*, 1974).

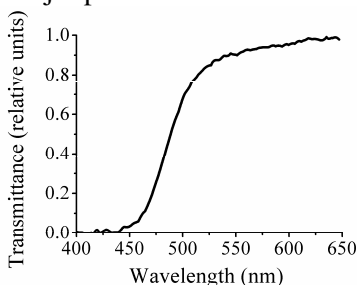
Citi autori uzskata, ka šķietamā kontrastjutības palielināšanās nav saistīta ar lēcas radītajiem optiskajiem faktoriem, bet neirālajiem faktoriem – dzeltenais filtrs šķietami pastiprina uztvertā objekta gaišumu, tādejādi uzlabojot uztvertā attēla kontrastu (*Kelly*, 1990; *Rabin et al.*, 1996). Šis efekts spēcīgāks ir krēslas apstākļos. Kā pamatojums šādam šķietamam kontrasta uzlabojumam tiek minēts zīlītes diametra palielināšanās, uzliekot dzeltenās brilles, kā arī krāsu oponento ceļu darbība. Tomēr pilnīgi skaidras atbildes uz šo jautājumu nav (*Rabin et al.*, 1996).

Viens no mūsu mērķiem bija noskaidrot, vai, skatoties caur dzeltenu filtru, samazinās acī „noklīdušās” gaismas pakāpe.

Vispirms mēs noteicām dzeltenā filtra ietekmi uz kontrastjutību normālos (fotopiskos) un pazeminātos (mezopiskos) apgaismojuma apstākļos. Fona spožums attiecīgi bija 60 cd/m² un 0.35 cd/m². Pētījumā

piedalījās 27 subjekti vecumā no 21 līdz 29 gadiem. Kontrastjutības noteikšanai tika izmantota *Pelli – Robson* tabula. Lai novērtētu filtra krāsas ietekmi uz kontrastjutību, mērījumi tikai veikti arī ar neitrālu (pelēku) filtru, kura gaismas caurlaidība bija nedaudz lielāka kā dzeltenajam filtram (attiecīgi 73 % un 67 %).

Gaismas izkliedes mērījumi tika veikti ar tiešo kompensācijas metodi, izmantojot diožu stimulus. Mērījumi tika veikti zilai, zaļai un sarkanai gaismai ar un bez dzeltenā filtra. Dzeltenais filtrs tika izveidots, notonējot plastikāta lēcu (materiāls *CR39*). Filtra gaismas caurlaidība bija 67 %. Spektrālā caurlaidība ir parādīta **att. 2.5**. Pētījumā piedalījās 4 subjekti vecumā no 21 līdz 28 gadiem. Mērījumi tika veikti vienai acij, dzelteno filtru ievietojot provas rāmī. Otra acs tika aizklāta.

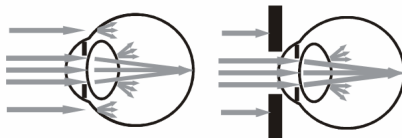


2.5. attēls. Dzeltenā filtra spektrālā caurlaidība (relatīvās vienībās) atkarībā no gaismas viļņa garuma.

Kā jau minēts iepriekš, cilvēkiem ar gaišu varavīksnenes krāsu „noklīdušās” gaismas daudzums acī parasti ir lielāks nekā tāda paša vecuma tumšacainiem cilvēkiem. Jo mazāk pigmentēta acs, jo vairāk gaismas iziet cauri sklērai un varavīksnenei. Šī iemesla dēļ, nosakot pacientam izkliedētās gaismas daudzumu acī, būtu jānovērtē pacienta acs pigmentācijas pakāpe (acu krāsa). Informācija par pacienta acu krāsu ļauj labāk noteikt, vai paaugstinātā gaismas izkliede acī ir saistīta ar patoloģiskām izmaiņām piem., lēcas apduļķojumiem, vai pazeminātu pigmenta daudzumu. Citi autori ir izveidojuši skalu, kura sastāv no dažādu krāsu varavīksnenes fotogrāfijām (*Franssen et al.*, 2008). Pēc šīs skalas var novērtēt, kurai no varavīksnenes fotogrāfijām vislīdzīgākā ir pacienta varavīksnenes krāsa, tādā veidā novērtējot pacienta acs pigmentācijas pakāpi.

Mūsu mērķis bija pārbaudīt, vai cauri acs sieniņām izgājušās gaismas daudzumu ir iespējams novērtēt, novietojot acij priekšā oklūderu ar 5mm lielu apertūru. Apertūra gaismai acī ļautu nokļūt tikai

caur zīlīti un bloķētu to gaismu, kura acī nonāk caur sklēru un varavīksneni (**att. 2.6.**). Līdz ar to būtu sagaidāms, ka apertūra visvairāk samazinās gaismas izkliedi acī sarkanai gaismai, salīdzinot ar zaļo un zilo gaismu. Ja rezultāti šo pieņēmumu apstiprinās, tad pēc iegūtā samazinājuma sarkanai gaismai būs iespējams novērtēt caur acs sieniņām izgājušās gaismas daudzumu.



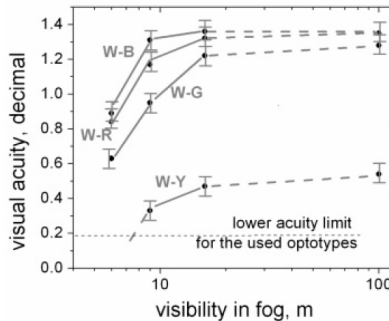
2.6. attēls. Attēlā pa kreisi ir parādīta izkliedētās gaismas veidošanās acī, gaismai izkliedējoties acs optiskajās vidēs (lēcā u.c.) un izejot cauri acs sieniņai (sklērai). Attēlā pa kreisi parādīts, ka neliela izmēra apertūra aiztur to gaismu, kura iziet cauri sklērai, līdz ar to būtu sagaidāms, ka gaismas izkliede acī samazināsies.

Gaismas izkļiedes parametra s mērījumos ar acij priekšā novietotu apertūru piedalījās 8 subjekti vecumā no 21 līdz 28 gadiem. Oklūders ar apertūru tā centrā tika ievietots proves rāmī. Mērījumi tika veikti tikai labajai acij, otru aci aizklājot. Apertūras diametrs 5mm tika izvēlēts tāpēc, lai uztvertā attēla kvalitāti neietekmētu difrakcijas veidošanās acī. Pēc citu autoru pētījumiem ir zināms, ka difrakcija būtiski pasliktina redzes asumu, ja zīlītes diametrs ir mazākas par 3 mm (*Rabets, 1998*).

3. Rezultāti un to analīze

3.1. Redzes asuma mērījumu rezultāti miglā

Attēlā 3.1. ir parādītas redzes asuma izmaiņas dažādu krāsu Landolta gredzeniem C uz balta fona atkarībā no miglas blīvuma. Šajā eksperimentā piedalījās divi subjekti ar normālu (izkorigētu) redzi.



3.1. attēls. Redzes asums decimālās vienībās sarkanam (W–R), zaļam (W–G), zilam (W–B) un dzeltenam (W–Y) Landolta gredzena stimulam uz balta fona atkarībā no miglas redzamības. Dati pie redzamības 100m ir iegūti bez mākslīgās miglas (Ozolinsh *et al.*, 2006).

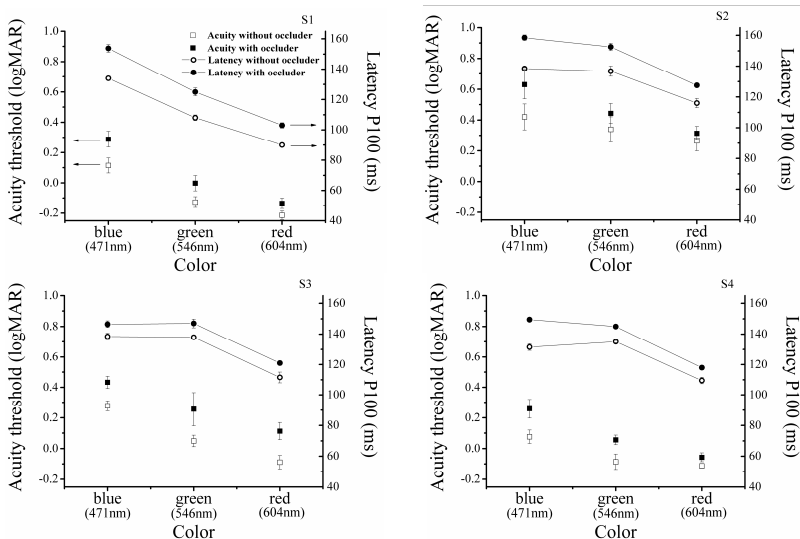
Redzes asums miglā vislielākais bija zilajam Landolta gredzenam uz balta fona, bet vismazākais – dzeltenajam stimulam. Viens no iemesliem šādiem rezultātiem ir atšķirīgie stimulu spožuma kontrasti. Landolta gredzenu spožumi tika izvēlēti pēc sarkanās (R kanāls), zaļās (G) un zilās (B) krāsas daudzuma ekrāna izstarotajā baltajā gaismā. No ekrāna RGB kanāliem visspožākais bija G, bet vistumšākais B kanāls. Baltā – zilā stimula gadījumā balto fonu veido visi trīs kanāli, bet optotipu – tikai zilais kanāls. Līdz ar to vislielākais kontrasts un vislabākais iegūtais redzes asums bija baltajam – zilajam stimulam. Balti–dzeltenā stimula gadījumā svarīgākais ir B kanāls, jo dzelteno krāsu veido R un G kanāli, bet fonu – visi trīs kanāli. Šim stimulam bija viszemākais kontrasts.

Ja pieņem, ka īsie gaismas viļņi miglā tiek izkļiedēta vairāk nekā garākie viļņi, kā tas ir novērojams atmosfērā (Godish, 2004), tad būtu

sagaidāmi tādi rezultāti, kādi tika iegūti – vissliktāk tiktu uztverts baltais – dzeltenais stimul, bet vislabāk baltais – zilais. Līdz ar to iegūtie rezultāti neizslēdz iespēju, ka krāsainu stimuli tiek uztverti atšķirīgi ne tikai neirālu faktoru dēļ (atšķirīgā acs jutība uz dažādiem gaismas viļņa garumiem, atšķirīgais stimulu kontrasts u.c.), bet arī optisku (gaismas izkliede). Tomēr rezultāti nesniedz pietiekami skaidru atbildi par intraokulārās gaismas izklijes spektrālo atkarību miglā.

3.2. Redzes asuma mērījumi ar PDLC plāksnīti

Nākamais mērījums (Ikaunieks *et al.*, 2008 (2)) tika veikts, izmantojot vienāda kontrasta krāsainus stimulus – melnu Landolta optotipu uz sarkana, zaļa vai zila fona (Vēbera kontrasts 0.85). Šādi stimuli tika izraudzīti tāpēc, lai mazinātu tādu neirālo faktoru ietekmi uz stimulu uztveri, kā atšķirīgs kontrasts un dažāds kopējais stimula spožums. Gaismas izklijes radīšanai šajā eksperimentā tika izmantota šķidro kristālu plāksnīte PDLC (gaismas caurlaidība 0.4). Plāksnīte tika novietota priekšā labajai acij. Kreisā acs mērījuma laikā bija aizklāta. Pētījumā piedalījās 4 subjekti vecumā no 21–28 gadiem (S1, S2, S3 un S4). Iegūtie rezultāti ir parādīti **att. 3.2.**



3.2. attēls. Subjektiem S1, S2, S3 un S4 nomērītais redzes asums logMAR vienībās un latence P100 (ar taisnēm savienotie punkti) atkarībā no stimula fona krāsas (zilās, zaļās vai sarkanās) redzes asuma mērījumos un rūtīņu krāsas VEP mērījumos. Katrai stimula krāsai ir norādīts dominējošais viļņa garums. Mērījumi tika veikti ar (melnie punkti) un bez PDLC plāksnītes (Ikaunieks *et al.*, 2008 (2)).

Redzes asums normālos laboratorijas apstākļos (bez paaugstinātas gaismas izkliedes) vislabākais bija sarkanajam stimulam, bet vissliktākais zilajam Landolta gredzenam. Visiem subjektiem, izņemot subjektu S4, rezultāti starp dažādu krāsu stimuliem bija statistiski nozīmīgi atšķirīgi. Subjektam S4 redzes asuma rezultāti sarkanajam un zilajam stimulam nebija būtiski atšķirīgi.

Mērījumi ar gaismu izkliedējošo plāksnīti visiem stimuliem uzrādīja zemāku redzes asumu, salīdzinot ar normāliem apstākļiem. Tikai vienam subjektam (S4) rezultāti sarkanajam stimulam ar un bez plāksnītes nebija statistiski atšķirīgi. Trijiem subjektiem (S1, S2 un S4) vislielākais redzes asuma samazinājums, veicot mērījumus ar PDLC plāksnīti, bija zilajai krāsai, bet vismazākais – sarkanajai. Subjektam S3 redzes asuma samazinājums mērījumos ar plāksnīti bija aptuveni vienāds visu trīs krāsu stimuliem.

Kopumā rezultāti parāda, ka redzes asumu krāsainiem stimuliem lielā mērā ietekmē neirālie faktori nevis optiskie. Lai arī normālos

laboratorijas apstākļos visu trīs krāsaino stimulu kontrasts un vidējais spožums bija vienāds, rezultāti starp dažādu krāsu stimuliem bija atšķirīgi. Šīs atšķirības lielā mērā var skaidrot ar dažāda izmēra tīklenes receptīvajiem laukiem, kā arī ar dažādiem krāsu analīzes neirālajiem ceļiem redzes sistēmā. Zilās – dzeltenās krāsas receptīvie lauki ir lielāki nekā zaļās – sarkanās krāsas, līdz ar to zilās – dzeltenās krāsas stimulu telpiskā izšķiršana ir sliktāka (Schwartz, 2004).

Abi veiktie pētījumi ar dažādu krāsu redzes asuma stimuliem parāda, ka šādos mērījumos ir grūti atdalīt neirālo faktoru ietekmi uz rezultātiem no optisko faktoru ietekmes. Līdz ar to, izmantojot redzes asuma mērījumus krāsainiem stimuliem, nevar iegūt viennozīmīgu atbildi par gaismas izkliedes spektrālo atkarību miglā un citos paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļos.

3.3. VEP mērījumu rezultāti

Iegūtās redzes izsaukto potenciālu VEP atbildes uz sarkaniem – melniem, zaļiem – melniem un ziliem – melniem stimuliem ir redzamas **att. 3.2.** VEP līknēm tika analizētas P100 latences. Amplitūdas analizētas netika, jo tās neuzrādīja būtisku atšķirību mērījumos ar un bez PDLC plāksnītes. Galvenais iemesls, kāpēc amplitūdas nebija būtiski atšķirīgas, bija zemā signāla / trokšņu attiecība, kuras dēļ bija grūti precīzi noteikt amplitūdas lielumu.

Normālos apstākļos visīsākā P100 latence visiem subjektiem bija sarkani–melnajam stimulam. Subjektiem S2, S3 un S4 latences zaļajam un zilajam stimulam nebija statistiski atšķirīgas. Izņēmums bija tikai subjekts S1, kuram P100 latence zilajai krāsai bija lielāka nekā zaļajai.

Veicot mērījumus ar gaismu izkliedējošo plāksnīti PDLC, P100 latences pieauga visu trīs krāsu stimuliem. Līdzīgi kā mērījumos bez filtra, visīsākās latences bija sarkanajam stimulam. Subjektiem S1, S2 un S4 mērījumos ar filtru visgarākās latences bija zilajam stimulam. Subjekts S4 neuzrādīja būtiskas atšķirības starp zilās un zaļās krāsas stimulu atbildēm. Salīdzinot latenču izmaiņas starp mērījumiem ar un bez PDLC plāksnītes, subjektiem S1, S2 un S4 vislielākās izmaiņas bija zilajam stimulam, bet vismazākās sarkanajam stimulam. Subjekts S3 uzrādīja aptuveni vienādas izmaiņas visu trīs krāsu stimuliem.

Salīdzinot P100 latenču rezultātus ar tiem pašiem subjektiem veiktajiem redzes asuma rezultātiem, subjektiem S1 un S2 mēs atradām labu korelāciju starp abiem mērījumiem ($R^2 > 0.79$). Pārējiem subjektiem determinācijas koeficients R^2 bija zemāks.

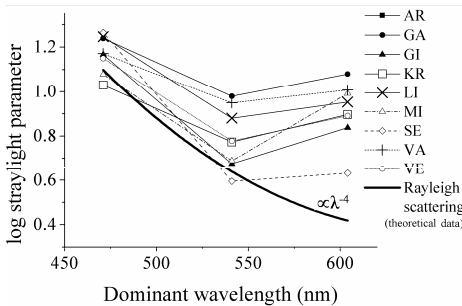
VEP rezultāti starp subjektiem ir atšķirīgāki nekā redzes asuma rezultāti. Iemesls šīm atšķirībām varētu būt tas, ka VEP rezultātus ietekmē dažādi stimula parametri, kā arī katra subjekta anatomiskās un fizioloģiskās redzes ceļa īpatnības (Arden *et al.*, 1977). Citu autoru pētījumos (Hidajat *et al.*, 2000) tika parādīts, ka gaismas izkliedes radītā žilbšana vairāk ietekmē VEP amplitūdu nevis latenci. Šie dati nesaskan ar mūsu rezultātiem, kuri gaismas izkliedes ietekmē uzrādīja būtiskas izmaiņas VEP latencēs. Hidajat *et al.* pētījumā acī „noklīdušās” gaismas radīšanai tika izmantoti ap stimulu novietoti gaismas avoti. Kā jau minēts iepriekš (sk. nod. 1.2.1. „Acī „noklīdušās” gaismas daudzuma novērtēšana pēc kontrastjutības un redzes asuma testiem”), šāda metode izkliedētās gaismas radīšanai ne vienmēr ir korekta, jo bez optiskajiem faktoriem tiek ietekmēti arī redzes sistēmas neirālie faktori (van den Berg, 1994). Mūsu pētījuma acī izkliedētās gaismas līmenis tika palielināts pēc cita principa: izmantojot gaismu izkliedējošu plāksnīti.

Kopumā VEP metode neuzrāda būtiskas priekšrocības attiecībā pret redzes asuma pārbaudi. Abās metodēs pilnībā nevar izslēgt neirālo faktoru ietekmi uz stimulu uztveri. Turklāt VEP metodē rezultātu precīzu iegūšanu var traucēt zems signāla/trokšņa līmenis.

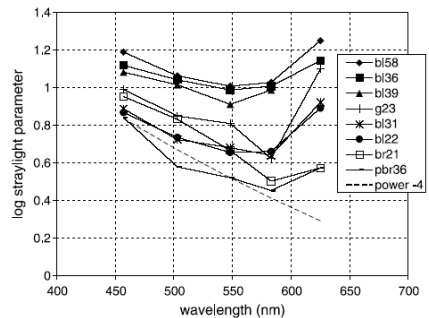
Tomēr samērā labā korelācija starp redzes asuma un VEP metožu rezultātiem ļauj secināt, ka VEP metode krāsainiem stimuliem ir izmantojama, lai novērtētu redzes asumu krāsainiem stimuliem paaugstinātās gaismas izkliedes apstākļos. Gaismas izkliedes spektrālās atkarības mērījumiem šīs metodes izmantošanas iespējas arī ir ļoti ierobežotas.

3.4. Acī „noklīdušās” gaismas spektrālās atkarības mērījumi ar tiešo kompensācijas metodi

Lai noteiktu acī „noklīdušās” gaismas spektrālo atkarību, tika veikti mērījumi ar tiešo kompensācijas metodi, izmantojot zilas (dominējošais viļņa garums 471 nm), zaļas (546 nm) un sarkanās (604 nm) gaismas diodes. Iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar citu autoru datiem (**att. 3.3.**). Pētījumā piedalījās 9 subjekti vecumā no 21 līdz 28 gadiem.



Ikaunieks *et al.*, 2009 (2)



Coppens *et al.*, 2006

3.3. attēls. Acī „noklīdušās” gaismas parametrs s 9 subjektiem atkarībā no stimula krāsas (pa kreisi). Uz x ass ir norādīts katras krāsas dominējošais viļņa garums. Dilstošā melnā līkne rāda, kādai teorētiski būtu jābūt izkliedes spektrālajai atkarībai, ja tā būtu Releja veida izkliede ($\propto \lambda^{-4}$). Pa labi citu autoru dati, sagrupēti pēc subjektu vecuma un acu krāsas (bl – zila; gr – pelēka; br – brūna, pbr – tumši brūna).

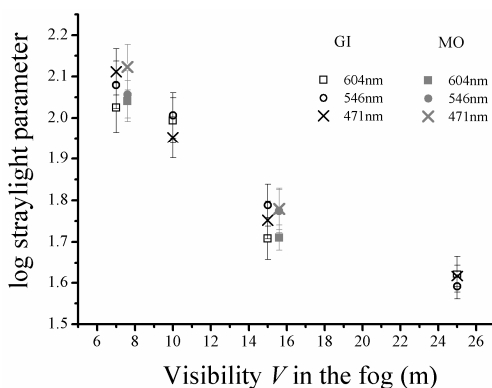
Vislielākā izkliede bija īsajiem gaismas viļņa garumiem (zilajai gaismai), bet vismazākā vidējiem viļņiem (zaļajai gaismai). Salīdzinot datus ar teorētisko Releja izkliedes spektrālo atkarību, vislielākā atšķirība bija garākajiem gaismas viļņiem (sarkanajai gaismai). Tāda pati spektrālās atkarības tendence līdzīgām vecuma grupām bija arī Coppens *et al.* pētījumā. Gan diožu stimula (**att. 2.2.**), gan uz datora ekrāna rādīto stimulu izstarotā gaisma bija plata spektra. Coppens *et al.* pētījumā tika izmantota monohromatiska gaisma. Tomēr, neskatoties uz šo atšķirību, gaismas izkliedes spektrālā atkarība kopumā atbilst Coppens *et al.* datiem, iegūtiem tāda paša vecuma subjektiem. Mūsu

pētījumā subjekti pēc acu krāsas grupēti netika, jo šī parametra ietekmes novērtēšana uz intraokulārās gaismas izkliedi nebija izvirzīts kā viens no darba uzdevumiem.

Tā kā ar izveidotajiem tiešās kompensācijas stimuliem bija iespējams iegūt rezultātus, kuri bija līdzīgi literatūrā atrodamajiem, turpmākajos pētījumos pārsvarā tika izmantota tiešā kompensācijas metode. Šajā metodē izmantotais princips tiek minēts arī kā viens no perspektīvākajām „noklīdušās” gaismas noteikšanai acī (*van Rijn et al.*, 2005).

3.5. Gaismas izklijes spektrālā atkarība mākslīgajā miglā

Acī „noklīdušās” gaismas spektrālā atkarība un standartdeviācijas dažādu krāsu stimuliem miglas apstākļos ir parādīta **att. 3.4**. Mērījumā piedalījās 29 un 59 gadus veci subjekti GI un MO.



3.4. attēls. Divu subjektu acī „noklīdušās” gaismas parametra s log vērtības atkarībā no miglas redzamības V . Mērījumi tika veikti trīs krāsu stimuliem – zilam (471 nm), zaļam (546 nm) un sarkanam (604 nm). Subjektam MO mērījumi tikai veikti tikai pie miglas redzamības V 7 un 15m. Šī subjekta dati uzskatāmības dēļ ir nobīdīti 0.6 vienības pa x asi (*Ikaunieks et al.*, 2009 (1)).

Samazinoties miglas caurlaidībai V , gaismas izkliede palielinājās visu trīs krāsu stimuliem. Izklijes vērtības dažādu krāsu stimuliem pie nomērītajām miglas redzamības pakāpēm statistiski nozīmīgi neatšķīrās, tādējādi neuzrādot acī “noklīdušās” gaismas spektrālo atkarību miglas

apstākļos. Šādi rezultāti bija sagaidāmi, ņemot vērā miglas pilienu relatīvi lielo izmēru $\sim 4\mu\text{m}$ (Colomb *et al.*, 2008).

Subjektam GI mērījumi tika veikti miglā ar redzamību 7, 10, 15 un 25m, bet subjektam MO mērījumi tika veikti pie miglas redzamības 7 un 15m. Salīdzinot acī “noklīdušās” gaismas datus starp subjektiem, statistiska nozīmīga atšķirība neparādījās.

Subjektiem GI un MO acī “noklīdusi” gaisma (entoptiskā izkliede) tika noteikta arī ar komerciāli pieejamu testu. Rezultāti uzrādīja atšķirīgus gaismas izkļiedes līmeņus acī, kas arī būtu sagaidāms atšķirīgā subjektu vecuma dēļ. Palielinoties vecumam, gaismas izkliede pieaug (sk. **att. 1.3**).

Kā minēts jau iepriekš, tad kopējo „noklīdušās” gaismas daudzumu acī nosaka gan entoptiskie s_{ent} , gan ektopiskie faktori s_{ekt} (Vos, 2003). Kopējo „noklīdušās” gaismas daudzumu acī s var izteikt kā:

$$S = S_{ent} + S_{ekt} \quad (3.1).$$

Tā kā s_{ent} abiem subjektiem bija atšķirīgs, bet s_{ekt} vienāds, tad bija sagaidāms, ka subjekti varētu uzrādīt atšķirīgas acī „noklīdušās” gaismas s vērtības miglas apstākļos, sevišķi pie lielas redzamības miglas. Tomēr s vērtības abiem subjektiem pie nomērītajiem miglas blīvumiem bija līdzīgas. Viens no faktoriem, kura dēļ atšķirības neuzrādījās, varētu būt metodes precizitāte, kura sevišķi samazinājās pie lieliem miglas blīvumiem. Tomēr būtiskāks faktors ir tas, ka ektopiskā izkliede ir vairākkārt lielāka par entoptisko (**1. tabula**), līdz ar to entoptiskai izkliedei nav nozīmīga loma acī „noklīdušās” gaismas veidošanā biezas miglas apstākļos.

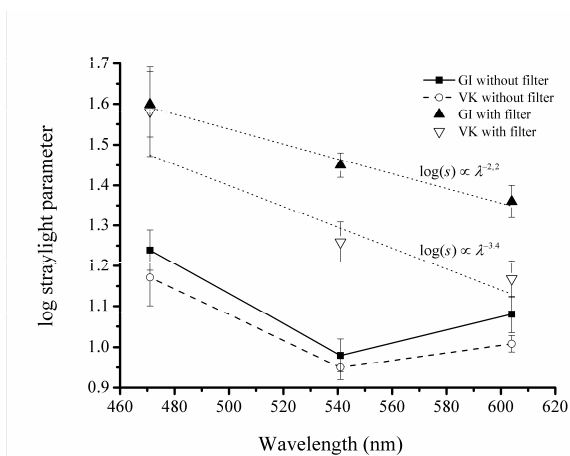
Šo faktoru var arī pamatot ar miglas optiskajām īpašībām attiecībā uz gaismas izkliedi. Nomērītā gaismas izkļiedes parametra s atkarība no miglas redzamības V ir tuvu eksponenciālai funkcijai ($R^2 > 0.85$). Ja parametru s galvenokārt ietekmē miglas optiskās īpašības, tad šāda šo divu lielumu saistība būtu sagaidāma no vienādojumiem (2.1) un (2.2). Izsakot ekstinkcijas koeficientu σ_i no vienādojuma (2.2) un ievietojot to vienādojumā (2.1), iegūst formulu:

$$T = e^{-\left(\frac{3}{V}\right)^d} \quad (3.2),$$

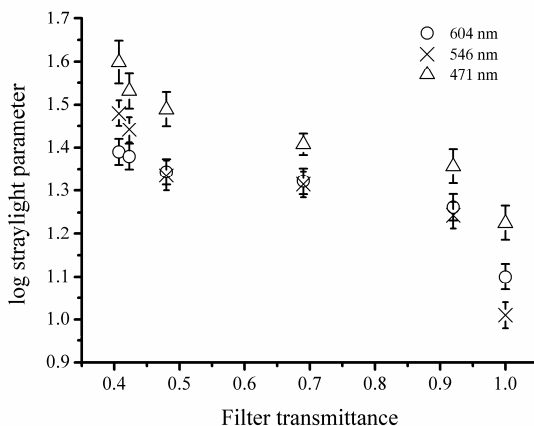
kura rāda miglas redzamības V saistību ar transmisijas faktoru T . Attālums d starp gaismas avotu un sensoru miglas kamerā bija nemainīgs – 5m (tāds pats, kā attālums, kurā tika veikti gaismas izkliedes mērījumi). Izteiksme (3.2) rāda, ka saistība starp redzamību miglā V un transmisijas faktoru T pamatā ir eksponenciāla. Tā kā subjektīvi nomērītais gaismas izkliedes parametrs s atkarībā no miglas redzamības V arī mainās eksponenciāli, tad var apgalvot, ka gaismas izkliedes parametru s biezas miglas apstākļos galvenokārt ietekmē gaismas izkliede miglā un entoptiskajai izklidei ir neliela ietekme uz kopējo izklieģētās gaismas daudzumu acī.

3.6. PDLC plāksnītes pielietojums paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļu simulācijai

Gaismas izkliede acī ar un bez PDLC filtra zilai, zaļai un sarkanai gaismai ir parādīta **att. 3.5**. Kā stimuls tika izmantots uz CRT datora ekrāna mirgojošs riņķis. Abiem subjektiem (GI un VK), kuriem tika veikti mērījumi, vislielākā izkliede mērījumos ar un bez filtra bija zilajai gaismai. Gaismas izkliedes mērījumos bez filtra statistiski nozīmīgi lielākas vērtības bija sarkanai gaismai nekā zaļai. Šie rezultāti sakrīt ar iepriekš mūsu veiktajiem (Ikaunieks *et al.*, 2008 (2)) un literatūrā atrodamajiem mērījumiem (Coppens *et al.*, 2006). Mērījumos ar acij priekšā novietotu PDLC plāksnīti (gaismas caurlaidība 0.4) abi subjekti uzrādīja lielāku gaismas izkliedi zaļai gaismai nekā sarkanai. Subjektam GI tika veikti papildus „noklīdušās” gaismas mērījumi, mainot PDLC plāksnītes gaismas caurlaidību. Rezultāti visu trīs krāsu stimuliem ir redzami **att. 3.6**. Mērījumi pie gaismas caurlaidības 1.0 tika veikti bez filtra. Pie visiem filtra caurlaidības līmeņiem vislielākā gaismas izkliede acī bija zilai gaismai. Sarkanās un zaļās gaismas izkliedes attiecība dažādiem plāksnītes caurlaidības līmeņiem bija atšķirīga. Pie augstas plāksnītes caurlaidības (mazas gaismas izkliedes) „noklīdušās” gaismas parametrs s sarkanai gaismai (s_{sark}) bija lielāks kā zaļajai ($s_{zaļš}$). Pie zemiem plāksnītes caurlaidības līmeņiem izkliede zaļai gaismai pieauga relatīvi ātrāk nekā sarkanai gaismai un $s_{zaļš} > s_{sark}$.



3.5. attēls. Divu subjektu (GI un VK) acī „noklīdušās” gaismas parametra s log vērtības ar („with filter”) un bez PDLC filtra. Mērījumi tika veikti zilai (471 nm), zaļai (546 nm) un sarkanai gaismai (604 nm) (Ikaunieks *et al.*, 2009 (1)).



3.6. attēls. Viena subjekta GI acī „noklīdušās” gaismas parametra s log vērtības dažādās krāsas gaismai atkarībā no PDLC filtra caurlaidības (noteikta pie 530 nm). Dati pie caurlaidības 1.0 tika iegūti, veicot mērījumus bez filtra (Ikaunieks *et al.*, 2009 (1)).

Galvenajie kritēriji, pēc kuriem tika novērtētas iespējas simulēt dažādus paaugstinātas gaismas izkliedes apstākļus (miglu, kataraktu) ar PDLC plāksnīti, bija gaismas izkliedes līmenis un tā spektrālā atkarība. Tika izveidota tabula (**tabula 1**), kurā ir apkopota informācija par acī

„noklīdušās” gaismas izkliedes līmeņiem un spektrālajām atkarībām dažādos apstākļos.

Ar PDLC plāksnīti iegūtie psihofizikālie mērījumu rezultāti uzrādīja izkliedes parametra s vērtības līdz $1.6 \log$ vienībām, kā arī būtisku spektrālo atkarību (**att. 3.5.**). Arī fizikālie gaismas izkliedes mērījumi PDLC plāksnītei uzrādīja spektrālo atkarību (**att. 2.4.**) (*Ozolinsh et al.*, 2004; *Bueno et al.*, 2008). Gaismas spektrālā atkarība PDLC plāksnītē ir vājāka kā jauna cilvēka acī esošā izkliede, kura ir tuvu Releja izklidei ($\propto \lambda^{-4}$). Šādi rezultāti būtu sagaidāmi no gaismu izkliedējošo daļiņu izmēriem cilvēka acī un PDLC plāksnītē. Daļiņu izmēri PDLC filtrā ir lielāki par vienu mikrometru. Jauna cilvēka acs lēcā esošā α -kristālīnu rādus ir ~ 10 nm (*van den Berg*, 1997). Aproximējot ar PDLC plāksnīti iegūtos spektrālās atkarības rezultātus ar pakāpes funkciju $s \propto \lambda^m$, iegūst, ka subjektam GI $m = -2.2$, bet subjektam VK $m = -3.4$ (**att. 3.5.**). Pie lielas pakāpes kataraktas vai biežā miglā gaismas izklidei nav spektrālās atkarības (**tabula 1**), līdz ar to PDLC plāksnīte nav izmantojama šādu apstākļu simulācijai daudzkrāsainu stimulu gadījumā.

Tomēr gaismas izkliedes līmenis un tā spektrālā atkarība nav vienīgais parametrs, pēc kura var spriest par redzes kvalitāti noteiktos apkārtējās vides apstākļos. Lai atrastu piemērotu gaismas izkliedes filtru kataraktas simulācijai, ir svarīgi arī novērtēt filtra ietekmi uz kontrastu un redzes asumu (*de Wit et al.*, 2006). Mūsu iepriekšējie mērījumi (*Ikaunieks et al.*, 2008 (1); *Ikaunieks et al.*, 2008 (2)) parādīja, ka decimālais redzes asums, skatoties caur filtru uz augsta kontrasta Landolta gredzeniem, var sasniegt vērtību ~ 1.4 ($-0.15 \log$ vienībās). Šāds redzes asuma līmenis ir pieņemams agrīnas kataraktas simulācijai (*de Wit et al.*, 2006). Līdzīgu redzes asumu (~ 1.3 decimālās vienībās) ir iespējams sasniegt miglā ar redzamību $V=15m$ (*Ozolinsh et al.*, 2006). Līdz ar to ahromātisku stimulu gadījumā PDLC plāksnīte ir piemērota, lai simulētu kataraktas vai biežas miglas apstākļus.

Tabula 1. Acī “noklīdušās” gaismas vērtības un spektrālā atkarība dažādos apstākļos (Ikaunieks *et al.*, 2009 (1))

	Log(s)	Gaismas izkliedes spektrālās atkarības raksturojums
29 gadus vecs subjekts GI	1.08–1.24	Maksimālā izkliede zilajai gaismai, minimālā – zaļajai (No īsajiem līdz vidējiem gaismas viļņiem intraokulārā izkliede ir tuvu Releja izklidei (pakāpē -4))
Mākslīgā migla (redzamība 7–25m)	1.60–2.10	Spektrālās atkarības nav.
Gaismu izkliedējošs filtrs PDLC (caurlaidība 0.4)	1.36–1.60	Palielinoties gaismas viļņa garumam, izkliede acī samazinās pakāpē -2.2 (subjektam GI) un -3.4 (subjektam VK)
Vecuma radītā gaismas izkliede acī bez patoloģijām*	< 1.20	Tuvu jauna cilvēka acij bez patoloģijām
Kortikālā katarakta†	1.36	Spektrālā atkarība nav vai ir neliela, un tai ir tendence samazināties, palielinoties gaismas izkliedes daudzumam (rezultāti no acs lēcas <i>in vitro</i> pētījumiem)‡
Nukleārā katarakta†	1.53	
Post–subkapsulārā katarakta†	1.68	

*Dati no *Coppens et al.*, 2006.

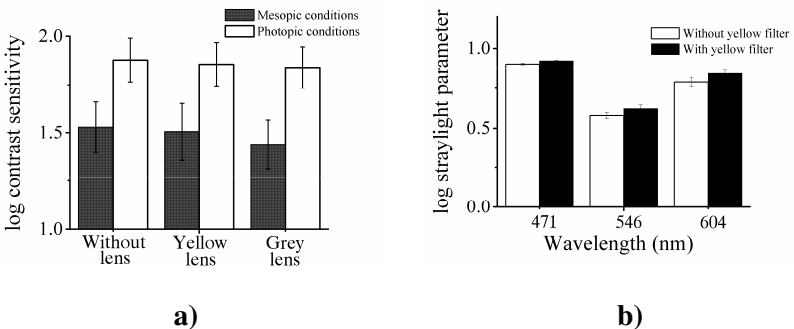
† Dati no *de Waard et al.*, 1992.

‡ Dati no *Costello et al.*, 2007; *Thaung et al.*, 2002; *van den Berg et al.*, 1997.

3.7. Acī „noklīdušās” gaismas izmaiņas, skatoties caur dzeltenās krāsas filtriem

27 subjektu vidējās kontrastjutības vērtības mezopiskos un fotopiskos apgaismojuma apstākļos ir parādītas att. 3.6.a Abos apgaismojuma apstākļos dzeltenais filtrs neuzrādīja statistiski atšķirīgu kontrastjutību, salīdzinot ar vērtībām, iegūtām bez filtra. Mezopiskos (krēslas) apstākļos kontrastjutība, skatoties caur pelēkām lēcām, bija statistiski nozīmīgi zemāka nekā skatoties caur dzeltenu lēcu. Zema apgaismojuma mērījumos subjektiem tika arī vaicāts, kurā no trijiem mērījuma apstākļiem viņiem stimuli šķita visvieglāk uztverami. 56% subjektu atbildēja, ka vispatīkamāk viņiem ir skatīties, kad acij priekšā ir novietots dzeltenais filtrs. Līdz ar to mūsu rezultāti daļēji apstiprina citu autoru rezultātus (Kelly, 1990), ka zema apgaismojuma apstākļos dzeltenais filtrs var nedaudz uzlabot attēlu uztveri.

Viena subjekta acī izkliedētās gaismas parametra s vērtības normālos apstākļos un skatoties cauri dzeltenajiem filtriem, ir parādītas att. 3.6.b.



3.6. attēls.

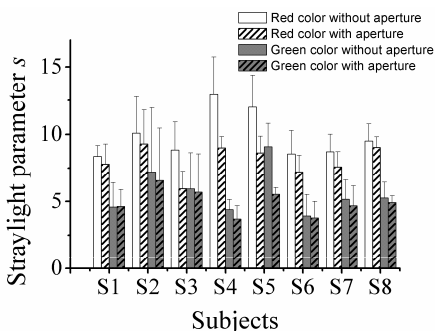
a) 27 subjektu vidējās kontrastjutības vērtības log vienībās mezopiskos (melnās kolonnas) un fotopiskos apgaismojuma apstākļos. Mērījumi vispirms tika veikti bez acij priekšā novietota filtra, tad skatoties caur dzeltenu filtru (gaismas caurlaidība 67%) un pēc tam caur pelēko filtru (gaismas caurlaidība 73%). Katram mērījumam ir uzrādīta standartdeviācija (Slica *et al.*, 2010).

b) Gaismas izkliedes parametra s vērtības log vienībās zilam (471 nm), zaļam (546 nm) un sarkanam (604 nm) stimulam, veicot mērījumus bez (baltās kolonnas) un ar dzeltenu filtru (melnās kolonnas). Katram mērījumam ir uzrādīta standartdeviācija (Ikaunieks *et al.*, 2009 (2)).

Visu trīs krāsu stimuliem s vērtības bija statistiski nozīmīgi lielākas ar dzelteni filtru nekā bez tā. Tādi paši rezultāti bija arī pārējiem subjektiem. Mūsu papildus veiktie pētījumi parādīja, ka tonēta briļļu lēca rada spēcīgāku acī „noklīdušo” gaismu nekā netonēta lēca (Stepanovs *et al.*, 2010). Līdzīgi dati ir atrodamī literatūrā par tonētām sporta kontaktlēcām (dzeltenām un pelēki – zaļām), kuras rada lielāku gaismas izkliedi nekā netonētas kontaktlēcas (Cerviño *et al.*, 2008). No šiem datiem var secināt, ka lēcas tonējums (arī dzeltens) gaismas izkliedi palielina, nevis samazina. Šis nosacījums izpildās arī pie izkliedētas zilās gaismas, kuru dzeltenais filtrs absorbē visvairāk. Līdz ar to literatūrā minētais kontrastjutības uzlabojums krēslas apstākļos ar dzeltenajiem filtriem nav saistīts ar gaismas izkļiedes samazināšanos, bet neirālajiem procesiem redzes sistēmā. Pie līdzīgiem secinājumiem savos pētījumos ir nonākuši arī citi autori (Kelly, 1990; Rabin *et al.*, 1996), kuros vairāk tika pētīti neirālie faktori (šķietamā stimula spožuma uztvere), ne optiskie.

3.8. Cauri acs sklērai un varavīksnenei izgājušās gaismas daudzuma novērtēšana

Izkliedētā gaismas parametra s vērtības sarkanai un zaļai krāsai, iegūtas ar un bez 5mm apertūras, ir parādītas att. 3.7. Katram mērījuma rezultātam ir norādīta standartdeviācija. Kā bija sagaidāms, tad kopumā lielākais izkliedes samazinājums, pieliekot priekšā acij apertūru, bija sarkanai krāsai, jo oklūders samazināja to gaismas daudzumu, kura izgāja cauri sklērai.



3.7. attēls. Acī „noklīdušās” gaismas parametra s vērtības sarkanai (baltās kolonnas) un zaļai gaismai (pelēkās kolonnas) normālos apstākļos un skatoties caur 5mm apertūru (sarkanai gaismai – balti melnās kol.; zaļajai –pelēki melnās kol.) (Ikaunieks *et al.*, 2009 (2)).

Statistiskā analīze (*t-Test: Pared Two Sample for Means*) parāda, ka subjektu gaismas izkliede sarkanai gaismai, pieliekot acij priekšā apertūru, būtiski samazinās ($p < 0.004$). Zaļās gaismas gadījumā statistiski nozīmīga atšķirība starp izkliedes mērījumiem, veiktiem ar un bez apertūras, neparādās. Līdz ar to neliela izmēra apertūru ir iespējams izmantot caur acs sklēru izgājušās gaismas daudzuma novērtēšanai. Ir nepieciešami papildus mērījumi, veikti ar lielāku precizitāti, lai novērtētu šādu mērījumu izmantošanas iespējas acs pigmentācijas pakāpes noteikšanai klīnikā.

4. Secinājumi

1. Izmantojot trīs metodes – redzes asuma psihofizikālos mērījumus dažādos apgaismojuma apstākļos, elektrofizioloģijas metodi redzes izsauktie potenciāli (VEP) un tiešo kompensācijas metodi – ir noteikta acī „noklīdušās” gaismas ietekme uz krāsainu (sarkanu, zaļu un zilu) stimulu uztveri. Acī „noklīdusī” gaisma visvairāk pasliktina zilās krāsas stimulu uztveri. Krāsainu stimulu uztverē gan parastos, gan paaugstinātos gaismas izkliedes apstākļos neirālo faktoru ietekme ir lielāka par optisko faktoru.
2. Subjektiem, jaunākiem par 30 gadiem, acī „noklīdušajai” gaismai spektrālā atkarība ir tuvu Releja izkliedei ($\propto \lambda^{-4}$) ar pieaugumu garo viļņu diapazonā.
3. Ir parādīts, ka biežā miglā (redzamība $V=7-25\text{m}$) gaismas izkliede neuzrāda spektrālo atkarību acī „noklīdušajai” gaismai. Entoptiskā izkliede, kuru veido acs optiskie faktori, šādos apstākļos ir būtiski mazāka ($\text{Log}(s) \approx 1.10$) par miglas radīto (ektopisko) izkliedi ($\text{Log}(s) \approx 1.80$).
4. Ar darbā izmantoto PDLC plāksnīti ir iespējams radīt tādu pašu „noklīdušās” gaismas līmeni kā biezas miglas vai kataraktas gadījumā. PDLC plāksnīte šādu apstākļu simulācijai ir pielietojama tikai ahromātiskiem stimuliem, jo uzrāda spektrālo atkarību izkliedētajai gaismai.
5. Parādīts, ka subjektiem, jaunākiem par 30 gadiem, dzeltenais filtrs nesamazina acī „noklīdušās” gaismas līmeni.
6. Parādīts, ka samazinot caur sklēru izgājušās gaismas daudzumu, novietojot acij priekšā nelielas apertūras oklūderu (diam. 5mm), intraokulārā izkliede sarkanai gaismai samazinās vairāk nekā zaļai gaismai. Diafragmēšana ir izmantojama, lai noteiktu caur acs sklēru izgājušās gaismas daudzumu un acs pigmentācijas pakāpi.

5. Publikācijas

1. Ozolinsh, M., Colomb, M., Ikaunieks, G. and Karitans, V. (2006). Color stimuli perception in presence of light scattering. *Visual Neuroscience*. 23, 597–601.
2. Bueno, J. M., Ozolinsh, M. and Ikaunieks G. (2008). Scattering and depolarization in a polymer dispersed liquid crystal cell. *Ferroelectrics* 370, 18–28.
3. Ikaunieks, G., Colomb, M. and Ozolinsh, M. (2009). Light scattering in artificial fog and simulated with light scattering filter. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 29, 351–356.
4. Ikaunieks G., Ozolinsh M., Stepanovs A., Lejiete V. and Reva N. (2009). Factors influencing light scattering in the eye. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 46, 37–42.
5. Ikaunieks, G. and Ozolinsh, M. (2008). Effect of light scattering simulation in the eye on different color stimuli perception. *IFMB Proceedings*, 20, 367–370.
6. Ikaunieks, G. and Ozolinsh, M. (2008). Factors affecting intraocular light scattering from different color straylight sources. *Proc. SPIE*, Vol. 7142, p. 71421A.1–71421A.6; DOI:10.1117/12.815622.

Tēzes starptautiskās konferencēs

1. „**Developments in Optics and Communications**”, Riga, April 23–25, 2010. Influence of tinted spectacle lenses on intraocular stray light. Stepanovs A., Ikaunieks G., Ozola K. and Ozolinsh M., *Abstract book*, Riga, 2010, p. 18
2. „**Developments in Optics and Communications**”, Riga, April 23–25, 2010. Effect of yellow filters on vision. Slica S. and Ikaunieks G., *Abstract book*, Riga, 2010, p. 30
3. „**Developments in Optics and Communications**”, Riga, April 24–26, 2009., Effect of optical and physiological factors on light scattering in the eye. Ikaunieks G., Ozolinsh M., Stepanovs A., Lejiete V. and Reva N., *Abstract book*, Riga, 2009, p. 40
4. „**14-th Nordic – Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics**”, Riga, June 9–13, 2008. Effect of light scattering simulation in the eye on different color stimuli perception. Ikaunieks G. and Ozolinsh M., *Abstract book*, Riga, 2008, p. 100
5. „**The 6-th International Conference on Advanced Optical Materials and Devices**”, Riga, August 24–27. 2008. Factors affecting intraocular light scattering from different color straylight sources. Ikaunieks G. and Ozolinsh M., *Abstract book*, Riga, 2008, p. 89
6. „**4-th European Meeting in Visual & Physiological Optics**”, August 31 – September 2, 2008. Heraklion, Greece. Intraocular light scattering from different color straylight sources. Ikaunieks G. and Ozolinsh M., *Abstract book*, Greece, 2008, p. 40
7. „**30-th European Conference on Visual Perception**”, Arezzo, Italy, August 27–31.2007. Light-scattering effect on colour-pattern VEP response. Ikaunieks G., Ozolinsh M. and Fomins S., *Perception. ECVP Abstract Supplement*, Vol. 36, Great Britain, 2007, p.39
8. „**Developments in Optics and Communications**”, Riga, April 27–29, 2007. Retinal straylight measurements with different wavelength light. Ikaunieks G, Lejiete V. and Ozolinsh M., *Abstract book*, Riga, 2007, p. 16.

9. „**29-th European Conference on Visual Perception**”, St-Petersburg, Russia, August 20–25. 2006. Light scattering effect on central and peripheral visual acuity. Ikaunieks G. and Ozolinsh M., *Perception. ECVF Abstract Supplement*, Vol. 35, Great Britain, 2006, p. 129
10. „**29-th European Conference on Visual Perception**”, St-Petersburg, Russia, August 20–25. 2006. Scattering-induced luminance and colour contrast decrease in visual perception. Ozolinsh M, Colomb M, Parkkinen J, Ikaunieks G, Fomins S, Karitans V and Krumina G., *Perception. ECVF Abstract Supplement*, Vol. 35, Great Britain, 2006, p. 136
11. „**28-th European Conference on Visual Perception**” Different colour contrast stimuli perception in fog. Ozolinsh M., Colomb M., Ikaunieks G. and Karitans V., *Perception. ECVF Abstract Supplement*, Vol. 34, Great Britain, 2005, p. 192

Literatūra

1. Arden, G.B., Bodis-Wollner, I., Halliday, A.M., Jeffreys, A., Kulikowski, J., Spekrijse, H. and Regan, D. (1977). *Methodology of Patterned Visual Stimulation*, Oxford Univ Press, Oxford, 3–15.
2. Aslam, T.M., Haider, D. and Murray, I.J. (2007). Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. *Acta Ophthalmol Scand* 85(4), 354–60.
3. Bach, M. (2007). The Freiburg Visual Acuity Test-variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol* 245(7), 965–971.
4. Beckman, C., Scott, R. and Garner, L.F. (1992). Comparison of three methods of evaluating glare. *Acta Ophthalmologica* 70, 53–59.
5. van den Berg, T. J. (1986). Importance of pathological intraocular light scatter for visual disability. *Doc. Ophthalmol.* 61, 327–333.
6. van den Berg, T.J. Ijspeert, J.K., and de Waard, P.W. (1991). Dependence of intraocular straylight on pigmentation and light transmission through the ocular wall. *Vis. Res* 31, 1361–1367.
7. van den Berg, T.J. (1994). On the relation between intraocular straylight and visual function parameters. *Invest Ophthalmol. Vis. Sci.* 35(6), 2659–2661
8. van den Berg, T.J. (1997). Light scattering by donor lenses as a function of depth and wavelength. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci* 38, 1321–1332.
9. Cavallo, V., Colomb, M. and Dore, J. (2001). Distance perception of vehicle rear lights in fog. *Hum. Factors* 43, 442–451.
10. Cerviño, A, Gonzalez-Meijome, J.M., Linhares, J.M., Hosking, S.L, Montes-Mico, R. (2008). Effect of sport-tinted contact lenses for contrast enhancement on retinal straylight measurements. *Ophthalmic Physiol Opt* 28(2), 151–6.
11. Colomb, M., Hirech, K., André, P., Boreux, J.J., Lacôte, P. and Dufour, J. (2008). An innovative artificial fog production device improved in the European project “FOG”. *Atmospheric Research* 87, 242–251.

12. Coppens, J.E., Franssen, L. and van den Berg, T.J. (2006). Wavelength dependence of intraocular straylight. *Exp. Eye Res.* 82(4), 688–692.
13. Costello, M.J., Johnsen, S., Gilliland, K.O., Freel, C.D. and Fowler, W.C. (2007). Predicted light scattering from particles observed in human age-related nuclear cataracts using Mie scattering theory. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci* 48, 303–312.
14. Elliott, D.B., Bullimore, M.A., Patla, A.E and Whitaker, D. (1996). Effect of a cataract simulation on clinical and real world vision. *Br J Ophthalmol* 80(9):799–804.
15. Franssen, L, Coppens, J.E. and van den Berg, T.J. (2006). Compensation comparison method for assessment of retinal straylight. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 47(2):768–76.
16. Franssen, L., Taberner, J., Coppens, J.E. and van den Berg, T.J. (2007). Pupil size and retinal straylight in the normal eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 48(5), 2375–82.
17. Franssen, L., Coppens, J.E., and van den Berg T.J. (2008). Grading of iris color with an extended photographic reference set. *J. Optom* 1(1), 36–40.
18. Friedlander, S.K. (2000). Light scattering. In: *Smoke, Dust and Haze* (ed. S.K. Friedlander), 2nd edn. Oxford University Press, Oxford, pp. 125–156.
19. Godish, T. (2004). Air Quality (ed. T. Godish), 4th edn., Lewis Publishers, USA, pp. 94–95.
20. Hidajat, R.R. and Goode, D.H. (2000). Pattern VEP for glare sensitivity testing. *Australas. Phys. Eng. Sci. Med.* 23(2), 52–56.
21. Hinds, W.C. (1999). Optical properties. In: *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles* (ed. W.C. Hinds), 2nd edn. John Wiley & Sons Inc, NY, pp. 349–377.
22. Holladay, L.L. (1926). The fundamentals of glare and visibility. *J Opt Soc Am* 12, 271–319.
23. Kaufman, P.L., Alm, A. (2003). Adler's Physiology of the Eye (ed. P. L. Kaufman, A. Alm), 10th edn., Mosby, USA, pp. 173–177.
24. Kelly, S.A. (1990). Effect of yellow-tinted lenses on brightness. *J Opt Soc Am A.* 7(10), 1905–11.

25. Mainster, M.A. and Timberlake, G.T. (2003). Why HID headlights bother older drivers. *Br. J. Ophthalmol* 87, 113–117.
26. Marron, J.A., Bailey, I.L. (1982). Visual factors and orientation-mobility performance. *Am J Optom Physiol Opt* 59(5):413–26.
27. Miller, D. (1974). The effect of sunglasses on the visual mechanism. *Surv Ophthalmol* 19(1), 38–44.
28. Narisada, K., Schreuder, D. (2004). Light Pollution Handbook. Series: Astrophysics and Space Science Library, Vol. 322., Springer, Netherlands, pp. 296–307.
29. Owsley, C., McGwin, G. Jr., Sloane, M., Wells, J., Stalvey, B.T. and Gauthreaux, S. (2002). Impact of cataract surgery on motor vehicle crash involvement by older adults. *JAMA* 288, 841–849.
30. Ozolinsh, M. and Papelba, G. (2004). Eye cataract simulation using polymer dispersed liquid crystal scattering obstacles. *Ferroelectrics* 304, 207–212.
31. Rabetts, R.B. (1998). Bennett and Rabetts' Clinical Visual Optics (ed. R. B. Rabetts), 3rd edn., Butterworth-Heinemann, Great Britain, pp. 23–26.
32. Rabin, J. and Wiley, R. (1996). Differences in apparent contrast in yellow and white light. *Ophthalmic Physiol. Opt* 16(1), 68–72.
33. Pérez-Carrasco, M.J., Puell, C., Sánchez-Ramos, C., López-Castro, A. and Langa, A. (2005). Effect of a yellow filter on contrast sensitivity and disability glare after laser in situ keratomileusis under mesopic and photopic conditions, *J. Refr. Surgery* 21(2), 158–165.
34. van Rijn, L.J. New standards for the visual functions of drivers. Report of the Eyesight Working Group. (editor of report: L.J. van Rijn). Brussels, 2005. In: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/behavior/doc/new_standards_final_version_en.pdf
35. van Rijn, L.J., Nischler, C., Gamer, D., Franssen, L., de Wit, G., Kaper, R., Vonhoff, D., Grabner, G., Wilhelm, H., Volker-Dieben, H.J. and van den Berg, T.J. (2006). Measurement of stray light and glare: comparison of Nyktotest, Mesotest, stray light meter, and computer implemented stray light meter. *Br. J. Ophthalmol* 89(3), 345–351.

36. Schwartz, S.H. (2004). Visual Perception: A Clinical Orientation (ed. D. Cooke and A. Seils), 3rd edn., McGraw-Hill, USA, pp. 108–114.
37. Stiles, W.S. (1929). The effect of glare on the brightness difference threshold. *Proc Roy Soc* 104, 322–355.
38. Tetsuka, H., Katsumi, O., Morandi, A.J., Tetsuka, S., Wang, G.J. and Hirose, T. (1992). Effect of light scatter on the pattern reversal visual evoked response: comparison with psychophysical results. *Vision Res.* 32(7), 1211–1218.
39. Thaug, J. and Sjostrand, J. (2002). Integrated light scattering as a function of wavelength in donor lenses. *J. Opt. Soc. Am. A. Opt. Image. Sci. Vis* 19, 152–157.
40. Vos, J.J. (1984). Disability glare—a state of the art report. *Comm. Int. Eclairage J* 3/2, 39–53.
41. de Waard, P.W., IJspeert, J.K., van den Berg, T.J. and de Jong, P.T. (1992). Intraocular light scattering in age-related cataracts. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 33, 618–625.
42. Whitaker, D., Steen, R. and Elliott D.B. (1993). Light scatter in the normal young, elderly, and cataractous eye demonstrates little wavelength dependency. *Optom. Vis. Sci.* 70(11), 963–968.
43. Williams, M.A., Moutray, T.N. and Jackson A.J. (2008). Uniformity of visual acuity measures in published Studies. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 49(10):4321–4327.
44. de Wit, G.C., Coppens J.E. (2003). Stray light of spectacle lenses compared with stray light in the eye. *Optom Vis Sci* 80(5), 395–400.
45. de Wit G.C., Franssen L., Coppens J.E. and van den Berg T.J. (2006). Simulating the straylight effects of cataracts. *J Cataract Refract Surg* 32(2), 294–300.
46. Wooten, B.R. and Geri, G.A. (1987). Psychophysical determination of intraocular light scatter as a function of wavelength. *Vision Res* 27(8), 1291–1298.

Pateicības

Liels paldies LU Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas cilvēkiem par sniegto atbalstu! Paldies maniem studentiem – Veltai Lejietei, Nataļjai Revai, Danai Rinkus, Santai Slicai un Antonam Stepanovam – par līdzdarbošanos mērījumu veikšanā! Paldies arī maniem senajiem draugiem un ģimenei par morālo atbalstu! Visbeidzot vislielākais paldies darba vadītājam prof. Mārim Ozoliņam par pacietību un optimismu!