

LATVIJAS UNIVERSITĀTE



**Stereosliekšņa un monokulāro stimulu  
kvalitātes korelācija**

**Gunta Krūmiņa**

Promocijas darbs

**Rīga  
2004**

**Promocijas darbs** izstrādāts Latvijas Universitātes Fizikas un matemātikas fakultātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļā laika posmā no 2000.gada līdz 2004.gadam.

**Darba raksturs:** zinātnisku rakstu kopa

**Darba zinātniskie vadītāji:**

Dr.habil.phys. **Māris Ozoliņš**

Dr.habil.phys. **Ivars Lācis**

**Darba recenzenti:**

Dr.phys. **Raymond van Ee**

Dr.habil.phys. **Jānis Spīgulis**

Dr.psych. **Malgožata Raščevska**

## *Anotācija*

Darba mērķis bija izpētīt un aprakstīt stereoredzes sliekšņa un vienas acs stimulu kvalitātes korelāciju. Lai šo mērķi sasniegtu, tiek izvirzīts uzdevums, noteikt un salīdzināt stereoredzes raksturlielumus kā reālas, tā arī laboratorijas apstākļos inducētas kataraktas, ambliopijas vai nekoriģētas anizotropijas gadījumos. Papildus paredzēts arī salīdzināt iegūtos stereoredzes sliekšņa datus inducētas nekoriģētas miopas vai hipermetropas anizotropijas gadījumos. Nosakot stereoredzes sliekšņus mākslīgos ambliopijas un kataraktas gadījumos, izstrādāta metode stereoredzes trenēšanai, kas varētu palīdzēt ieraudzīt stereoattēlus cilvēkiem ar pazeminātu vienas acs redzes asumu.

Darbā tiek izmantotas trīs stereoredzes sliekšņa noteikšanas metodes, kuras nosacīti var nosaukt par “defokusācijas”, “monitora stimulu” un “acs aizsegu metodi”. Katrā no tām vienas acs stimulam tiek mainīta optiskā kvalitāte (apmieglojums un kontrasts), kamēr otrai acij labas kvalitātes stimul visu laiku paliek nemainīgs. Pētījuma laikā tika noteiktas katras metodes pozitīvās un negatīvās īpašības ar nolūku novērtēt šo metožu pielietojumu ierobežojumus, inducējot dažādas acs patoloģijas laboratorijas apstākļos. Stereoredzes sliekšnis tiek novērtēts, simulējot subjektiem ambliopiju, kataraktu un nekoriģētu anizotropiju. Lai stimulus varētu klasificēt pēc vienotiem parametriem, to kvalitātes raksturošanai tiek izmantotas trīs dažādas pieejas: vidējās modulācijas dziļums, Furjē attēlu spektrālās jaudas blīvuma sadalījums un krosskorelācija. Darbā tiek aprakstīta metode un redzes uztveres apstākļi laboratorijā, kas cilvēkiem ar vienas acs pazeminātu redzes asumu un vāju binokulāro redzi palīdz izveidot stereosajūtu un ieraudzīt izkliedēto elementu stereotestu slēptos attēlus.

Izpētītās metodes ir iespējams pielietot stereoredzes sliekšņa noteikšanai: defokusācijas metodi – nekoriģētas anizotropijas un ambliopijas gadījumiem, monitora stimula metodi – ambliopijas un kataraktas gadījumiem, bet acs aizsegu metodi papildus var lietot kā labu kataraktas simulāciju. Darbā ir noteikta dažādi projecētu stimulu savstarpējās sakarības, ko var izmantot literatūras datu viennozīmīgai salīdzināšanai.

Iegūtie rezultāti parāda, ka stereoredzes sliekšnis paaugstinās, ja vienas acs redzes stimula kvalitāte tiek samazināta. Salīdzinot inducētu defektu situāciju ar tādu pašu redzes stāvokli reāliem cilvēkiem, kam vienas acs redzes asums ir pazemināts no bērnības vai radies kataraktai progresējot, mūsu noteiktie stereoredzes sliekšņi ir aptuveni vienādi. Pētījuma rezultāti parāda, ka pie vienādiem redzes nosacījumiem hipermetropas anizotropijas gadījumā sliekšnis ir augstāks, salīdzinot ar miopu anizotropiju. Ar mūsu izstrādāto metodi var palīdzēt subjektiem ar manifestu redzes asuma starpību abās acīs ieraudzīt izkliedēto elementu stereogrammas.

**Atslēgas vārdi:** stereoredze, redzes asums, apmieglojums, kontrasts, defokusācija, monitora stimuli, acs aizsegi, PLZT un PDLC plāksnītes.

## ***Publicētie raksti***

Promocijas darbs veidots apkopojot sekojošo rakstu rezultātus:

- I. Papelba\* G., Cipane I. & Ozolinsh M.  
**“Stereovision studies by disbalanced images.”** In: *“Advanced optical materials”* Ed. by J.Spigulis, J.Teteris, M.Ozolinsh, and A.Lusis, *Proc.SPIE* Vol.5123, pp.323-329, 2003
- II. Papelba G., Ozolinsh M., Petrova J. & Cipane I.  
**“Stereoacuity determination at changing contrast of colored stereostimuli.”** In: *“Advanced optical materials”* Ed. by J.Spigulis, J.Teteris, M.Ozolinsh, and A.Lusis, *Proc.SPIE* Vol.5123, pp.330-338, 2003
- III. Ozolinsh M., Papelba G. & Andersson G.  
**“Liquid crystal goggles for vision science application.”** In: *“19th Congress of the International Commission for Optics: Optics for the Quality of Life”* Ed. by A.Consortini and G.C.Righini, *Proc.SPIE* Vol.4829, pp. 1056-1058, 2003
- IV. Papelba G., Ozolinsh M., Cipane I. & Petrova J.  
**“The effect of blurring degree, and chromatic contrast in one eye on stereovision.”** *“Perception”* Vol.31, supplement, p. 156, 2002
- V. Krumina G. & Ozolinsh M.  
**“Clinical investigation of stereoacuity for patients having real or induced anisometropia and cataract.”** *“Optometry and Vision Science”* Vol.80 (12s), p.41, 2003
- VI. Ozolinsh M. & Papelba G.  
**“Eye cataract simulation using polymer dispersed liquid crystal scattering obstacles.”** *“Ferroelectrics”* (akceptēts publicēšanai 2004)
- VII. Krumina G., Ozolinsh M. & Lyakhovetskii V.A.  
**“Stereovision by visual stimulus of different quality.”** In. Proc. of the IV interregional seminar of Moscow Helmholtz Research Institute for Eye Diseases *“Ocular biomechanics 2004”*, Ed. by E.N.Iomdina, I.N.Koshitz, pp.82-89, 2004

---

\* dzimtais uzvārds



## ***Konferences***

- I. Sixth International Meeting of American Academy of Optometry “Academy 2000” – Madride, Spānija, 2000.gada 7.-9.aprīlis
  - Papelba G., Lacis I., Ozolinsh M. & Daae K.I.  
*“Stereoresistance – a new characterisation of stereothreshold under external influence”*
- II. 99.Tagung der Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft – Berlīne, Vācija, 2001.gada 29.septembris-2.oktobris
  - Papelba G. & Ozolinsh M.  
*“Blurring effect to stereoscopic vision”*
- III. 3<sup>rd</sup> International Conference “Advanced Optical Materials and Devices – AOMD-3” – Rīga, Latvija, 2002.gada 19.-22.augusts
  - Ozolinsh M., Papelba G. & Andersson G.  
*“Spatial and temporal transmittance of liquid crystal goggles used in vision tests”*
  - Papelba G., Ozolinsh M. & Petrova J.  
*“Method of determination of colour contrast to stereoacuity”*
  - Papelba G., Ozolinsh M. & Cipane I.  
*“Evaluation of image’s quality to stereovision acuity”*
- IV. The XXXV Nordic Congress of Ophthalmology – Tampere, Somija, 2002.gada 24.-27.augusts
  - Papelba G., Cipane I. & Petrova J.  
*“Stereovision acuity studies by disbalanced eye image quality”*
  - Papelba G., Petrova J. & Cipane I.  
*“The influence of blue-red colour’s contrast to stereoacuity”*
- V. 25<sup>th</sup> European Conference on Visual Perception – Glāzgo, Lielbritānija, 2002.gada 25.-29.augusts
  - Papelba G., Ozolinsh M., Cipane I. & Petrova J.  
*“The effect of one eye image blurring degree, luminance and chromatic contrast to stereovision”*
- VI. 3<sup>d</sup> International Conference “Television: Transmission and Processing of Images” – Sankt-Pēterburga, Krievija, 2003.gada 5.-6.jūnijs
  - Lyakhovetskii V.A. & Papelba G.  
*“Spectral composition description of images for objects in the perception of depth”*
- VII. Academy 2003 “The future in sight: Today’s Research, Tomorrow’s Practise” – Dallasa, ASV, 2003.gada 4.-7.decembris
  - Krumina G. & Ozolinsh M.  
*“Clinical investigation of stereoacuity for patients having real or induced anisometropia and cataract”*

## ***Saīsinājumi un termini***

*Ambliopija* – vienpusējs vai abpusējs redzes aktivitātes pazeminājums ar labāko iespējamo korekciju; ambliopo aci vienkāršāk var saukt par slinko, jeb aci, kas nav iemācījusies un tāpēc negrib skatīties

*Anizeikonija* – abu acu tīklenes attēlu lieluma atšķirības

*Anizotropija* – optiskā stipruma atšķirība starp abām acīm, lai iegūtu skaidru attēlu uz tīklenes

*D* – dioptrijs

*Disparitāte* – abu acu skata punktu maza atšķirība jeb novirze

*Hipermetropija (tālredzība)* – acs optiskās sistēmas staru laušanas spējas ir vājākas un neatbilst acs ābola garumam un stari krustojas aiz tīklenes

*Katarakta* – acs lēcas pilnīga vai daļēja apduļķošanās; atkarībā no apduļķošanās pakāpes ir traucēta lēcas gaismas staru caurlaidība, stari līdz tīklei nokļūst izkropļoti vai vispār to nerasniedz

*LC brilles* – šķidro kristālu brilles

*Miopija (tuvredzība)* – acs optiskās sistēmas staru laušanas spējas ir stiprākas un neatbilst acs ābola garumam un stari krustojas pirms tīklenes

*PDLC plāksnīte* – polimēra izkliedējošo šķidro kristālu plāksnīte, kurai pieliekot spriegumu tā kļūst redzamās gaismas diapazonā caurspīdīga

*PLZT plāksnīte* –  $\text{Pb}_{0.905} \text{La}_{0.095} \text{Zr}_{0.35} \text{Ti}_{0.65} \text{O}_3$  keramikas plāksnīte ar puscaurspīdīgiem zelta elektrodēm, kas veido vienmērīgu apmīglājumu, pievadot tai spriegumu

*Presbiopija* – ar vecumu saistīti fizioloģiski akomodācijas traucējumi

*Redzes asums* – smadzeņu limits, kad cilvēks spēj izšķirt divus punktveida objektus

*Stereoasums* – vismazākais disparitātes lielums, pie kura sāk veidoties stereoredze; šo lielumu vairāk izmanto klīnikās, novērtējot stereoredzes kvalitāti

*Stereogramma* – telpiskās uztveres optiskā ilūzija, kad divdimensiju plaknes objekts tiek uztverts kā trīsdimensiju attēls

*Stereoslieksnis, stereoredzes sliksnis* – vismazākais disparitātes lielums, pie kura sāk veidoties stereoredze un cilvēks spēj izšķirt divus objektus telpiski; ja stereoslieksnis paaugstinās, tad stereoasums pazeminās

## *Saturs*

<i>Anotācija</i> .....	<i>ii</i>
<i>Publicētie raksti</i> .....	<i>iii</i>
<i>Konferences</i> .....	<i>iv</i>
<i>Saīsinājumi un termini</i> .....	<i>v</i>
<i>Saturs</i> .....	<i>vi</i>
<i>Ievads</i> .....	<i>1</i>
<i>Eksperimentālā daļa</i> .....	<i>2</i>
1. Pētījumu mērķis un uzdevumi.....	<i>2</i>
2. Subjekti .....	<i>3</i>
3. Stimuli .....	<i>4</i>
4. Stimulu kvalitātes raksturošana.....	<i>6</i>
5. Metodes.....	<i>11</i>
6. Rezultāti .....	<i>18</i>
7. Rezultātu analīze.....	<i>28</i>
<i>Secinājumi</i> .....	<i>36</i>
<i>Nobeigums un pateicības</i> .....	<i>37</i>
<i>Izmantotā literatūra</i> .....	<i>38</i>
<i>Pielikums (raksti PI - PVII un konferenču tēzes TI - TVIII uzskaitīti iii-iv)</i>	

## *Ievads*

Cilvēks ar savām divām acīm uztver ap 80% no apkārtējās pasaules iegūtās informācijas. Lai arī mēs dzīvojam pierastā vidē, kas ap mums veido trīsdimensiju telpu, cilvēka spēja orientēties šajā telpā tiek uzskatīta par uztveres augstāko fenomenu. Izskaidrot telpiskās uztveres veidošanos ir centušies ļoti daudzi pētnieki, bet vēl ir daudz nezināmā, jo pat jaunākās tehnoloģijas vēl neļauj simtprocentīgi izpētīt un izprast mūsu smadzeņu darbību. Tiek izgudroti roboti, kuru redzes sistēma tiek veidota līdzīgi cilvēka vizuālai un telpiskai uztverei. Jaunākie neiroloģiskie pētījumi (*Grossberg & Howe 2003*), balsoties uz atklājumiem par dzīvnieku primārās redzes garozas šūnu darbības principiem (*Hubel & Wiesel 1979, 1998*), skaidro cilvēku stereoredzes veidošanos (*Cumming & DeAngelis 2001*). Citi zinātnieki cenšas šos pašus jaunatklātos algoritmus izmantot robotu stereoredzes izveidošanai un pilnveidošanai. Kā tad darbojas cilvēku binokulārā redze un tai skaitā arī stereoredze? Kādi ārējie apstākļi un kādi iekšējie neirofizioloģiskie faktori var ietekmēt stereoredzes izveidošanos, attīstību un pat tās sagraušanu? Šie jautājumi ir bijuši aktuāli gan 20.gadsimtā, gan palikuši aktuāli arī tagad. Ir mainījušās tehnoloģiskās iespējas, kas varētu palīdzēt izpētīt un izveidot līdzīgu redzes sistēmu un saprast tās darbību, bet jautājums: “Kā tad veidojas cilvēka telpiskā uztvere?”, ir palicis atklāts.

Pētījuma ideja bija noteikt stereoredzes sliekšņa vērtības apstākļos, kad viena acs saņem daudz sliktākas kvalitātes stimulu nekā otra. Gribējās arī rast izskaidrojumu, kāpēc cilvēkam ar vāju binokulāro redzi neveidojas stereosajūta un viņš neredz telpisko testu slēpto informāciju, par kuru lielākā daļa cilvēku sajūsminās. Vai tā bija nejauša sakritība, vai tā bija liela vēlme pašai ieraudzīt stereoattēlus un saprast, kā veidojas stereoredze apstākļos, kad vienas acs redzes uztveres spējas ir samazinātas, bet tagad varu būt gandarīta, ka trīs cilvēki ir kļuvuši pārliecinātāki par sevi, ka viņiem spēja uztvert pasauli kā telpisku nav liegta. Neviens vairs redzes pārbaudes laikā nedrīkstēs teikt, ka viņiem nav stereoredzes. Izmantojot mūsu metodiku, šiem cilvēkiem ir iemācīts saskatīt sarežģītus, pēc izklaidēto elementu principa izveidotos stereoskopiskos attēlus, kurus var atpazīt tikai cilvēks ar stereoredzi.

Cilvēki, kuriem ilgstoši nav stereoredzes, nebūt nejūtas sliktāk par citiem, jo parasti viņi to spēj kompensēt ar monokulārās stereoredzes nosacījumiem, tādiem kā perspektīva, attēla relatīvais lielums uz tīklenes, gaismas izkliede atmosfērā un citi. Taču cilvēks, kuram pēkšņi pasliktinājusies redze vienā acī, izjūt, ko nozīmē uztvert pasauli ar vienu aci. Tas ir grūti un vajadzīgs ilgstošs laiks, lai adaptētos šādiem apstākļiem. Tiem lieti varētu noderēt mūsu izstrādātā metode.

**Mana darba mērķis** bija izpētīt redzes funkcijas un noteikt stereoredzes sliekšņa vērtības, mainot vienas acs stimula kvalitāti (apmīglojumu un kontrastu), kā arī noteikt un salīdzināt stereoredzes raksturlielumus kā reālas, tā arī laboratorijas apstākļos inducētas kataraktas, ambliopijas vai nekoriģētas anizotropijas gadījumos. Papildus bija paredzēts arī salīdzināt iegūtos stereoredzes sliekšņa datus inducētas nekoriģētas miopas vai hipermetropas anizotropijas gadījumos. Nosakot stereoredzes sliekšņus mākslīgos ambliopijas un kataraktas gadījumos, izstrādāta metode stereoredzes trenēšanai, kas varētu palīdzēt ieraudzīt stereoattēlus cilvēkiem ar pazeminātu vienas acs redzes asumu.

Veicot eksperimentus, papildus tika izvērtētas atšķirīgas stereoredzes pētīšanas metodes. Tāpat ir izpētīti divi viedie materiāli un novērtēta to pielietošana binokulārās redzes studijās.

## ***Eksperimentālā daļa***

### **1. Pētījumu mērķis un uzdevumi**

Pētījuma mērķis ir izpētīt binokulāro redzi un noteikt stereoredzes sliekšņa vērtības, ja vienā no acīm redzes sajūtu veido no otras acs atšķirīgas kvalitātes stimul. Lai šo mērķi sasniegtu, tika paredzēts:

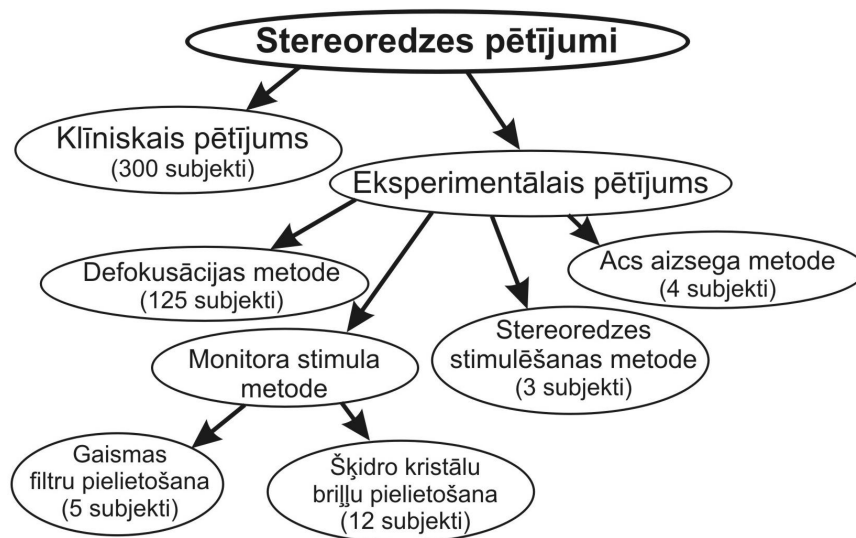
- 1) Novērtēt binokulāro redzi un izpētīt stereoredzes sliekšņu vērtības reālas un inducētas kataraktas, ambliopijas un nekoriģētas anizotropijas gadījumos;
- 2) Salīdzināt nekoriģētas miopas un hipermetropas anizotropijas stereoredzes sliekšņu vērtības;
- 3) Izstrādāt metodi, lai iemācītu subjektiem ar pazeminātu vienas acs redzes asumu ieraudzīt izklaidēto elementu stereotestu apslēptos attēlus.

Papildus bija nepieciešams veikt uzdevumus, kas saistīti ar stimulu klasificēšanu un tādu metožu izstrādi, lai subjektiem mākslīgos apstākļos radītu atšķirīgas kvalitātes attēlus uz abu acu tīklenēm:

- 1) Aprakstīt stereoredzes stimulus, izmantojot vidējās modulācijas dziļumu, Furjē attēla frekvenču sadalījumu un krosskorelāciju, kā arī izveidot konversijas tabulu šo atšķirīgo stimulu salīdzināšanai;
- 2) Noteikt stereoslieksni, izmantojot acs patoloģiju simulēšanai:
  - a) defokusācijas metodi (ar optiskām lēcām) – nekoriģētas miopas un hipermetropas anizotropijas un ambliopijas gadījumos;
  - b) monitora stimulu metodi (pielietojot šķidro kristālu brilles un gaismas filtrus) – ambliopijas un kataraktas gadījumiem;
  - c) vienas acs aizsega metodi (ar PLZT keramiku un PDLC plāksnīti) – kataraktas gadījumiem.

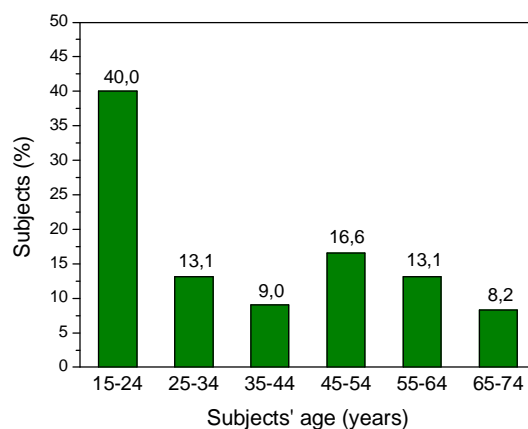
## 2. Subjekti

Pētījumā pavisam tika iesaistīti 445 subjekti (skat. 2.1.zīm.) vecumā no 15 līdz 74 gadiem (skat. 2.2.zīm.), ar vidējo vecumu  $39 \pm 17$  gadi. Lielākā daļa no tiem ir optikas pacienti, pārējie – Latvijas Universitātes Optometrijas un redzes zinātnes nodaļas studenti, – kuri visi labprātīgi piekrita piedalīties. No visiem – vairāk kā 400 optikas pacientiem – studijām tika atlasīti tikai 101, jo pārējiem vai nu nebija binokulārās redzes, vai arī tie bija gados vecāki cilvēki, kuri ilgstoši nespēja skatīties stereotestu. Par subjektiem tika izvēlēti cilvēki, kuriem tika konstatēta binokulārā redze ar *Schober* un *Worth* testiem, kā arī stereoredze ar TNO testu.



2.1.zīm. Subjektu sadalījums dažādos stereoredzes pētījumos.

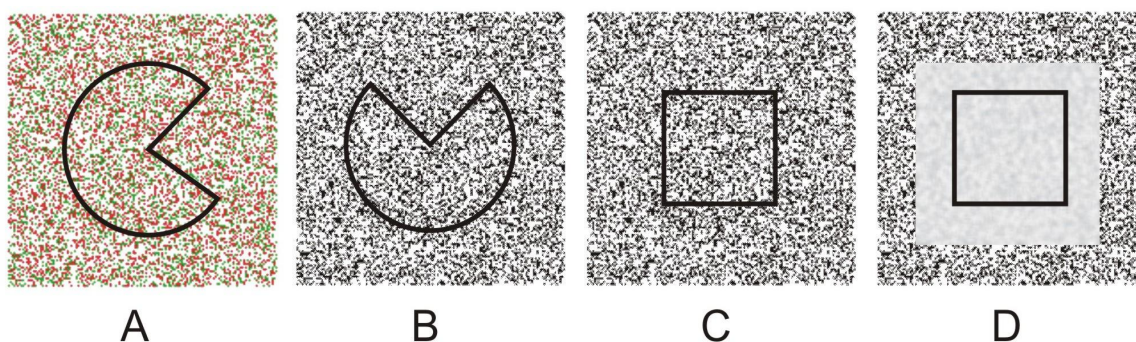
Subjektu atlasē redzes asums nebija noteicošais faktors, kaut gan galvenokārt tika atlasīti pacienti ar labu redzes asumu vai arī pazeminātu, ko rada acs katarakta vai ambliopija. Subjektu acu refrakcijas bija dažādas – gan emetropija, gan miopija, gan hipermetropija. Visiem tika noteikta pilnā korekcija tāluma redzei, lai iegūtu maksimālo redzes asumu. Presbiopiem tika noteikta korekcija arī 40cm attālumam, kaut arī viņu ērtākais darba attālums tuvumā bija cits. Vadošā acs tālumā visiem tika noteikta ar *Dolman* metodi, bet tuvumā – ar *Crider* metodi. Stereoredzes novērtēšana ar TNO testu tika veikta 300 optikas pacientiem, no kuriem 77 bija ambliopijas vai kataraktas pazemināts redzes asums.



2.2.zīm. Visu subjektu, kas piedalījās pētījumā, iedalījums pa vecuma grupām.

### 3. Stimuli

Stereoredzes pētījumos tika izmantoti izkliedēto punktu stereotesti. Slēpto attēlu tajos nav iespējams redzēt monokulāri, cilvēks nevar pat nojaust, kur stereoattēls veidosies. Viens no lietotajiem bija standarta klīniskais TNO stereotests, kas apvienots ar *anaglipa* metodi. Izkliedētie punkti ir uzdrukāti uz balta fona. Tie ir sarkanā un zaļā krāsā, un tie daļēji pārklājas. Demonstrējamo objektu aplūko caur sarkanās un zaļās gaismas filtriem. Acs aiz sarkanā gaismas filtra, sarkanos punktus neatšķir un zaļos punktus redz kā melnus, savukārt acs, kurai priekšā ir zaļais filtrs, neuztver zaļos punktus, bet sarkanos redz kā melnus. Šādā veidā katra acs uztver atšķirīgu pa horizontāli nobīdītu stereostimulu, kas rada telpiskuma sajūtu. Ja subjekts skatās ar abām acīm reizē, tad stereoredzes gadījumā parādās telpisks attēls – aplis ar izgrieztu sektoru (skat. 3.1.A zīm.). Subjektam redzamā stereoskopiskā aina ir pelēcīgā krāsā.

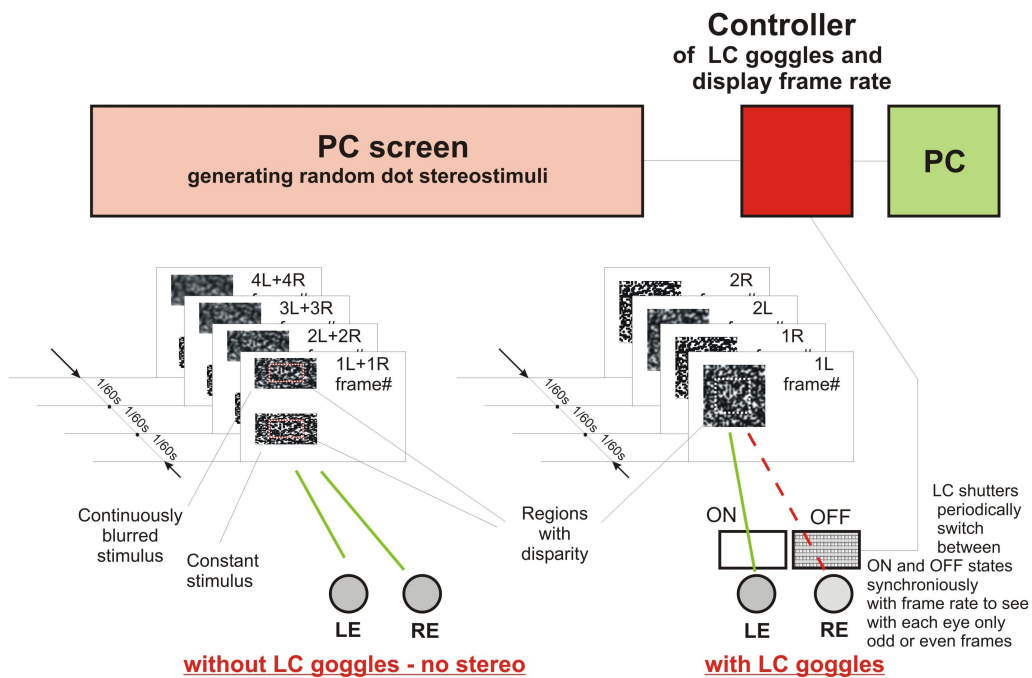


**3.1.zīm.** Stereoskopiskais attēls, ko subjektam demonstrē: A – TNO testā, B, C – monitora stimulu un acs aizsega metodē. Vienai acij tiek mainīta apmieglojuma intensitāte līdz stimuls kļūst neskaidrs, otras acs stimuls visu laiku tiek saglabāts skaidrs. D – vienas acs stimulam tiek mainīts kontrasts kvadrāta centrālajā daļā. Šādu stimulu izmanto, nosakot stereoslieksni pie melnbaltā vai zilās krāsas kontrasta maiņas. Ar melnajām kontūrām iezīmētie riņķi un kvadrāti nav redzami, skatoties monokulāri, bet tos var ieraudzīt tikai tad, ja subjektam ir stereoredze.

Darba gaitā tika radītas arī vairākas datora programmas, kuras veido izkliedēto punktu stereopāri uz monitora un pēc nepieciešamības maina viena vai abu stereostimulu apmieglojuma intensitāti, kontrastu un krāsu (skat. 3.1.B,C,D zīm.). Stereoredzes sajūtas simulēšanai izmanto fāzu atdalīšanas metodi ar šķidro kristālu brillēm, kas pārmaiņus ar frekvenci 60 Hz veido stimulus labai un kreisai acij. Līdz ar to subjekts demonstrēto attēlu uztver kā nepārtrauktu laikā, un šajā gadījumā veidojas arī stereosajūta. Iekārta sastāv no šķidro kristālu brillēm un vadības bloka (skat. 3.2.zīm.), kas sinhronizē radāmo stimulu ar šķidro kristālu briļļu pārslēgu. Palielinot spriegumu, mainās šo briļļu caurspīdīgums, līdz ar to katra acs (arī slikti redzošā acs) pārmaiņus uz īsu mirkli redz tai paredzēto stimulu.

Savukārt testā ar sarkaniem un ziliem stimuliem stereosajūtu stimulē gaismas filtri, kas atdala vienas acs attēlu no otras acs stimula. Par stereostimuliem tika izvēlēti kvadrāts vai riņķis ar izgriezumu, līdzīgi kā TNO testā. Datorvadāmā programma var izveidot stimulus tā, lai subjektam radītu gan krustotās, gan nekrustotās disparitātes stereosajūtu.

Savukārt metodē, kurā tiek izmantots acs aizsegs (PLZT vai PDLC plāksnīte), var izmantot gan standarta klīnisko TNO stereotestu, gan uz monitora radāmo stereotestu bez papildus efektiem. Lai salīdzinātu apmieglojumu un kontrastu izmaiņas stereostimuliem, kurus subjekts redz skatoties uz monitora, cauri optiskai lēcai vai acs aizsegam, visos gadījumos papildus tiek noteikts redzes asums.



**3.2.zīm.** Stereostimulu ģenerēšanas un rādīšanas shēma. Uz datora ekrāna tiek rādīts stereostimulus, kuru vienā brīdī redz labā acs, bet kreisā to neredz. Attēlu pārslēgšanās frekvence starp acīm ir 60 Hz, un smadzenēs tiek uztverts nepārtraukts attēls, kas nodrošina stereoredzes veidošanos.



## 4. Stimulu kvalitātes raksturošana

Monitora stimulu metodē apmieglojumu radot ar Gausa filtru tā pakāpi raksturo Gausa filtra rādiuss, mērīts pikseļos. Savukārt eksperimentālā daļā, kurā izmanto lēcas un acs aizsegus, salīdzināmais lielums ir vienas acs briļļu lēcas dioptrijas vai sprieguma lielums uz slēga. Lai visus šos stimulus varētu sistematizēt, tie tiek izanalizēti, pielietojot trīs dažādas metodes. Lai raksturotu apmieglojuma pakāpi ar kādu objektīvu lielumu, jāatrod mērs, kas neatkarīgi no stereoattēla iegūšanas metodes raksturotu stereostimulu kvalitāti un pašu stereoredzi. Ikkatru stereopāra attēlu var analizēt atsevišķi:

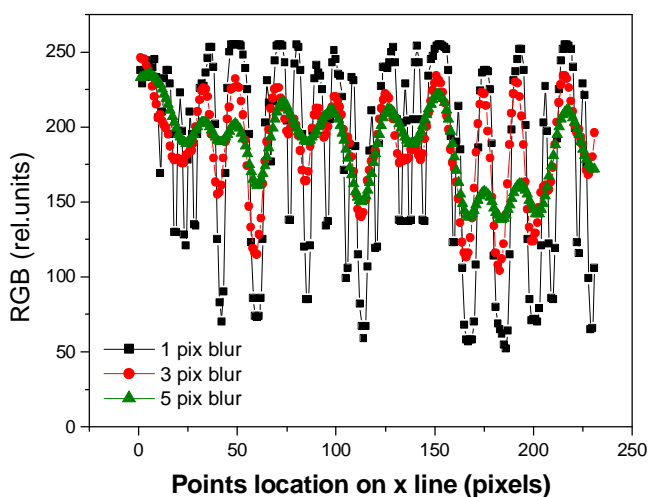
- izmantojot vidējās modulācijas dziļumu;
- izmantojot Furjē frekvenču sadalījumu;
- izmantojot krosskorelācijas metodi.

Datorprogramma eksperimentā kā stereoslieksni fiksēja attiecīgā apmieglotā attēla numuru jeb Gausa sadalījuma pusplatuma lielumu pikseļos un stereoattēlu nobīdi. Savukārt TNO un acs aizsegu testā uzreiz tiek noteikts stereoleņķa lielums. Lai varētu salīdzināt trīs atšķirīgi modelētos apmieglojumus, tad ar digitālo fotokameru tika uzņemti fotoattēli, kur apmieglojumu radīja pozitīvās un negatīvās lēcas, monitora stimuls un PLZT keramika.

Dažādi apmieglotiem stereostimuliem tika apskatīts vidējais modulācijas dziļums. No apmieglotajiem attēliem tika paņemta 1 pikseli plata josla trīs dažādās stimula vietās, atbilstoši tai uzzīmēts grafiks: pikseļa krāsas RGB līmenis atkarībā no pikseļa kārtas numura šai joslā. Iegūtajiem grafikiem tika aprēķināts modulācijas dziļums (*MD*) katram kritumam:

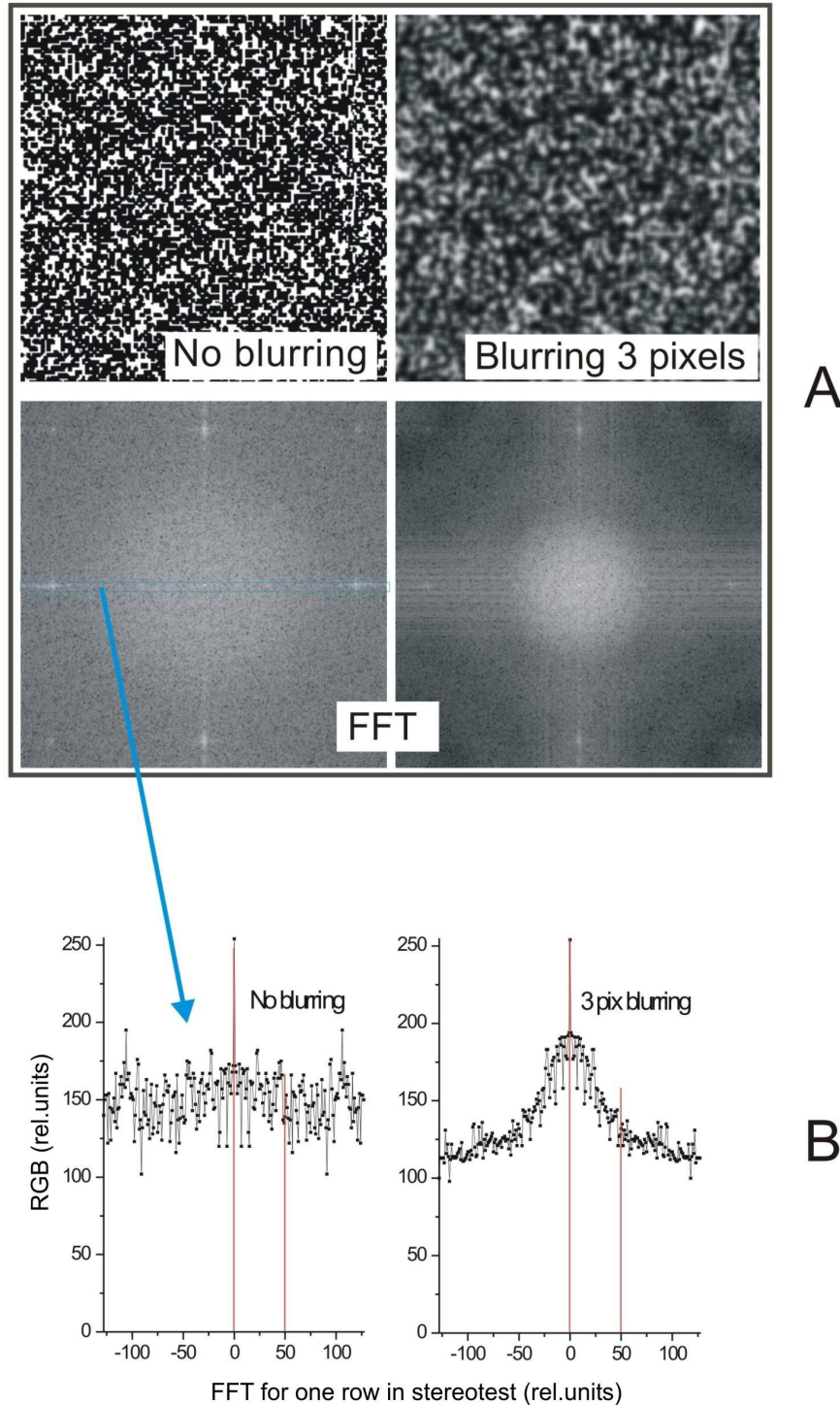
$$MD = 100 - \frac{I_{MIN} \times 100}{I_{MAX}} \quad [1]$$

un izrēķināts vidējais modulācijas dziļums, kas raksturo konkrēto attēlu (skat. 4.1.zīm).



**4.1.zīm.** Viens no veidiem, kā raksturot stimulus. Apmieglojuma pakāpi raksturo vidējais modulācijas dziļums, kas tiek noteikts katram stimulam: gan ģenerētiem attēliem uz monitora, gan ar digitālo fotokameru uzņemtiem fotoattēliem, kas iegūti ar optiskām lēcām un PLZT plāksnīti.

Cita metode, kā analizēt stereostimulus, ir pielietojot Furjē analīzi. Stereoattēliem veic Furjē pārveidojumu un analizē to pie augstām frekvencēm. No iegūtās analīzes ainas apskata 1 pikseli platu joslu stimulam trīs vietās un attēlo to grafiski kā telpisko frekvenču jaudas blīvuma sadalījuma funkciju atkarībā no telpiskās frekvences (svārstību skaits / pikselis). Iegūtie rezultāti ir parādīti 4.2.zīmējumā.



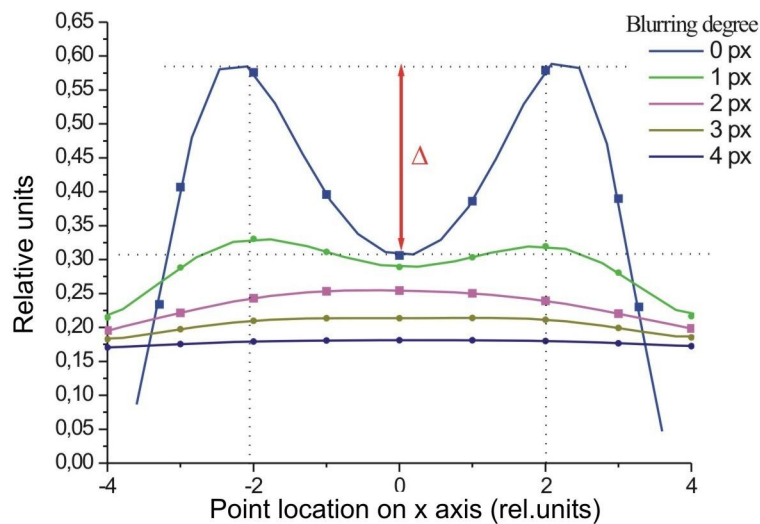
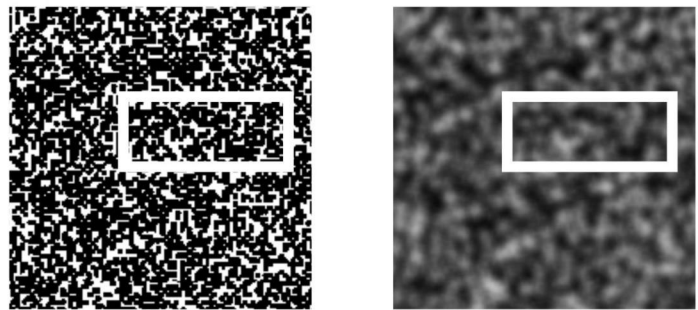
**4.2.zīm.** Apmīglooto stereostimulu raksturošana izmantojot FFT (ātro Furjē frekvenču sadalījumu). A zīmējuma augšējā daļā atainots reālais stimuls bez apmīglojuma un ar apmīglojumu. Apakšējā daļā šie attēli izanalizēti ar FFT. B zīmējumā parādīts integrācijas apgabals, kurš tiek izvēlēts kā parametrs, lai salīdzinātu visus attēlus.

Kā redzam, skaidram attēlam FFT līkne ir daudz lēzenāka – attēls satur vairāk augsto telpisko frekvenču. Lai, izmantojot šīs līknes, iegūtu kādu attēlus raksturojošu parametru, varam apskatīt laukumu, ko ierobežo līkne, piemēram, integrāli:

$$\int_0^{V_{0x}} I(V_x) \cdot \partial V_x = K_F(V_{0x}), \quad [2]$$

kur  $I(V_x)$  ir frekvenču sadalījuma maksimums,  $V_{0x}$  – kāda brīvi izvēlēta frekvence. Paņemot pietiekami mazu  $V_{0x}$  – jo miglaināks būs attēls, jo lielāka būs attiecīgā integrāļa vērtība attiecīgajai bildei.

Trešajā variantā attēlu analizēšanā tiek izmantota krosskorelācijas metode. Ļoti līdzīgs mehānisms varētu norisināties smadzenēs pie attēlu salīdzināšanas un stereosajūtas veidošanas. Šajā gadījumā svarīgi ir salīdzināt attēlus savā starpā. Ir jāsalīdzina labas kvalitātes attēlu bez nobīdes ar labas kvalitātes attēlu, kuram centrālā figūra ir nobīdīta par vienu vai četriem pikseļiem. Pēc tam jāsalīdzina labas kvalitātes attēls ar apmiglotu attēlu un nobīdītu centrālo figūru. Iegūtie rezultāti attēloti 4.3.zīmējumā.

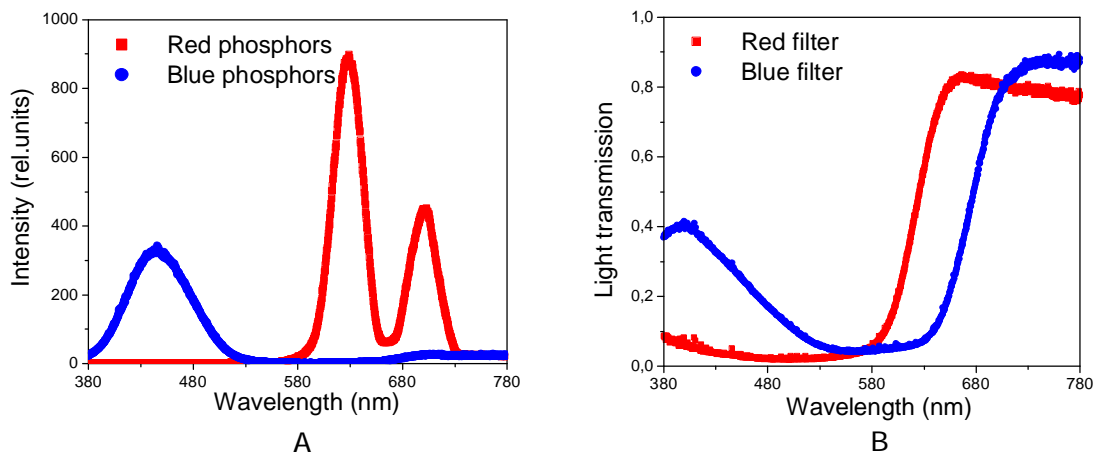


**4.3.zīm.** Izvēlētie apgabali stereostimuliem, kuri tika salīdzināti ar krosskorelācijas metodi. Attēla apakšējā daļā ir dažādi apmigloto stimulu noteiktais DELTA lielums. Šāda neirālo stimulu apstrāde varētu līdzīgi norisināties cilvēka smadzenēs.

Krosskorelācijas funkcija  $\Gamma(a)$  tika aprēķināta stimulu pāriem, kurus smadzenēs jāsavieto kopā. Krosskorelācija veikta diviem stimuliem – melni-baltam  $S_1$  ar intensitāti  $S_1(ij)$  un otram stimulam  $S_2$ , kuram pakāpeniski palielinās apmiglājums  $0 < S_2(ij) < 255$ . Korelācija  $\Gamma(a)$  tiek aprēķināta apgabaliem, kuri satur disparitātes apgabalu robežas:

$$\Gamma(a) = \frac{1}{i \times j \times 127^2} \sum_{i,j} [S_1(i-a, j) - 127] \times [S_2(i, j) - 127] \quad [3]$$

Redzes eksperimentos, kuros izmanto datora monitorus, ir nepieciešams novērtēt gan melnbalto, gan krāsaino stimulu fizikālos parametrus. Darbā ir eksperimentāli noteikta monitora ekrāna spožuma atkarība no RGB videosignāla lieluma, kā arī monitora luminoforu starošanas spektrālais sadalījums (skat. 4.4.A zīm.). Lai pārlicinātos, ka subjekts redz tikai vienas krāsas stimulus krāsainajā stereotestā, tika izmērīta arī eksperimentā izmantojamo gaismas filtru spektrālā caurlaidība (skat. 4.4.B zīm.).



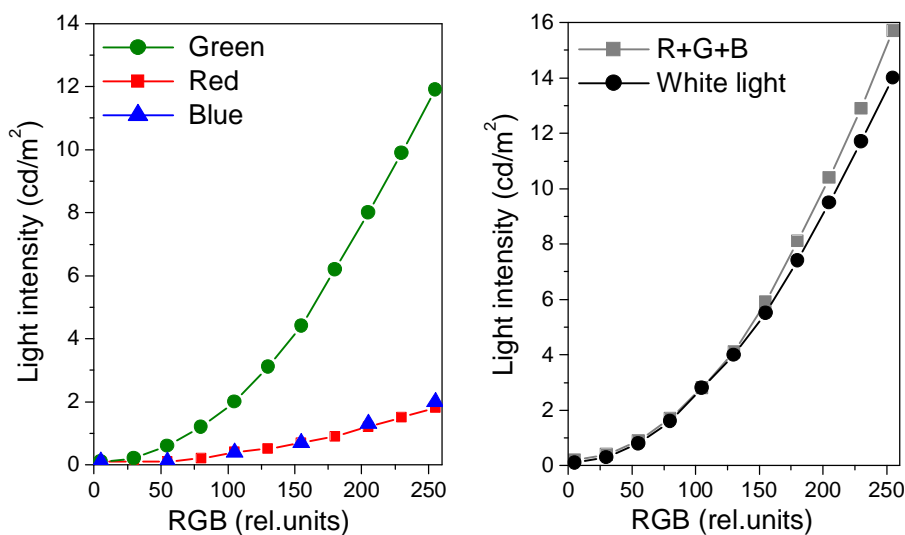
**4.4.zīm.** A zīmējumā parādīta monitora zilās un sarkanās krāsas luminoforu izstarotā gaismas intensitātes atkarība no viļņu garuma. B zīmējumā attēloti mūsu izmantoto filtru gaismas caurlaidības spektri.

Testa briļļu filtru spektrālā gaismas caurlaidība un monitora luminoforu izstarotās gaismas spektrs tika noteikti ar *OceanOptics S2000 Fiber Optics* spektrometru, kas ir iemontēts datorā. Par gaismas avotu tika izmantota dabīgā gaisma. Veikti 10 mērījumi ar ekspozīcijas laiku 150 msek. Lai noteiktu krāsu filtru spektrālo caurlaidību, tika mērīta cauri izgājušā spektra daļa atsevišķi sarkanam un zilam filtram, un tad rezultāti normēti attiecībā pret krītošās gaismas spektru relatīvās vienībās (%). Iegūtie rezultāti parādīti 4.4.B zīmējumā.

Ja tiek izmantotas krāsainās brilles, katra acs nevar atšķirt otrai acij paredzēto stimulu, filtru nevienmērīgas gaismas caurlaidības redzamā spektra apgabalā. Zinot, ka cilvēka acs jutība redzamās gaismas diapazonā ap 660 nm ir tikai 2-4%, tad var pieņemt, ka cilvēks caur zilo briļļu stiklu neuztvers sarkanā luminofora izstaroto gaismu diapazonā 670-730 nm, kuru pilnībā nedzēš mūsu pielietotais zilās krāsas filtrs. Ar šķidro kristālu brillēm notiek nemanāmi ātra, ar frekvenci 60Hz, oklūzijas nomaiņa katrai acij pēc kārtas. Cilvēka nervu sistēma nespēj reaģēt tik ātri, fiksēt šīs pārmaiņas, un laikā nobīdītie attēli tiek uztverti kā vienlaicīgi.

Eksperimentā izmantotā monitora (15 collu ekrāna diagonāles izmērs, punkta izmērs 0.27 mm, kadru nomaiņas biežums 85 Hz). RGB krāsu spožums novērtēts ar luksmetru LUX LD12Q-631. Ar luksmetru tika mērītas monitora RGB krāsu savstarpējās attiecības un pēc tam dati pārrēķināti spožuma vienībās ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Tāpat arī izmērīts ekrāna izstarotās gaismas daudzums pie katras pamatkrāsas (zilās, sarkanās un zaļās) krāsas piesātinājuma 11 situācijās no 5 līdz 255 RGB relatīvām vienībām ar soli 25 relatīvās vienības. Katrs

mērījums atkārtots 10 reizes. No datiem izveidotas līknes atsevišķi sarkanai, zaļai, zilai un baltai gaismai. Dati redzami 4.5.zīmējumā.



**4.5.zīm.** Monitors kalibrēšanas līknes. Uz vertikālās ass – monitora spožums (cd/m<sup>2</sup>). Horizontālā ass – monitora video signāls RGB vienībās. R+G+B – trīs luminoforu izstarotās gaismas intensitātes summa.

Papildus, kā subjektīvā metode, tiek izmantotas arī redzes asuma vērtības, ko iegūst, psihofizikāli simulējot izkliedi vienā acī ar optiskām lēcām un PLZT, PDLC plāksnītēm. Lai visu veidu stimulus varētu novērtēt un salīdzināt, kā mērāmie parametri tiek izmantoti vidējais modulācijas dziļums un cilvēka redzes asums (skat. 4.1.tabulu). Zinot optisko lēcu radītā apmieglojuma vidējo modulācijas dziļumu, var piemēklēt atbilstošu stimulu uz datora monitora. Šos divus noteiktos parametrus var izmantot, lai novērtētu visus stereotestu stimulus, jo ne ar visiem stimuliem mēs varam noteikt cilvēka redzes asumu. Tagad attiecīgi zinot optisko lēcu radītā apmieglojuma vidējo modulācijas dziļumu, var piemēklēt stimulu uz datora monitora. Savukārt redzes asumu var noteikt arī ar PLZT vai PDLC, un kuru radītā izkliede viennozīmīgi tiek raksturota ar pievadītā sprieguma lielumu, pēc tam attiecīgi piemēklējot gan stimulu uz monitora, gan optiskās lēcas stiprumu.

**4.1.Tabula**

**Stimulu konversijas tabula**

Lēcas stiprums (D)	Modulācijas dziļums (%)	Monitora stimula apmieglojums (pikseli)	Redzes asums (decimālā sistēma)	PDLC apmieglojums (V)	PLZT apmieglojums (V)
-2.00	27	2.1	0.23	-	1715
-1.00	58	0.7	0.48	15	1320
0.00	100	0.0	0.97	30	130
+1.00	68	0.5	0.82	20	925
+2.00	28	2.0	0.49	15	1320

Šajā tabulā apkopoti iegūtie rezultāti, kas raksturo visus izmantotos stimulus. Zinot optiskās lēcas vidējo modulācijas dziļumu un noteikto vidējo redzes asumu skatoties cauri lēcai, tai var piemēklēt līdzīgu apmieglotu monitora stimulu un tieši tāpat acs aizsegu sprieguma lielumu, kas atbilst noteiktai plāksnītes radītai gaismas izklidei.

## 5. Metodes

Stereoredzes sliekšņa noteikšanai tika izmantotas trīs metodes (defokusācijas, monitora stimula un acs aizsegu), ar kurām simulē vienas acs stimula kvalitātes izmaiņas. Ceturtā metode apraksta apstākļus, kad tiek stimulēta stereoredzes veidošanās cilvēkiem ar pazeminātu vienas acs redzes asumu, lai ieraudzītu izkļiedēto punktu slēptos stereoattēlus.

**Defokusācijas metode.** Stereoslieksnis eksperimentā tika novērtēts ar TNO stereotestu un optiskām lēcām, izmantojot standarta tuvuma testu (paredzēts 40cm attālumam). Šis tests veidots, izmantojot izkaisīto elementu metodi, kas kombinēta ar *anaglipa* metodi (skat. 3.1.A zīm). Abu acu attēlu atdalīšanai un stereoredzes stimulēšanai tika izmantoti sarkanie un zaļie gaismas filtri.

Subjekts 40cm attālumā tur TNO stereotestu un nosauc katra riņķa segmenta atrašanās vietu visos kvadrātos. Pārbaude vienmēr tiek sākota ar lielāko stereodisparitāti (attēlu nobīdi). Līnijas izveidotas pēc attiecīgi graduētas stereoasuma skalas, kas nākamajā līmenī samazinās uz pusi. Ar TNO testu ir iespējams noteikt stereoslieksni robežās no 15 līdz 1000 loka sekundēm.

Sākumā tiek noteikts stereoslieksnis ar labas kvalitātes stimuliem abās acīs. Tad labajai acij izmaina refrakciju ar  $-2.50$  D vai  $+2.50$  D stipru lēcu, un atkal tiek noteikts zemākais stereoslieksnis, sākot rādīt attēlus ar lielāko nobīdi. Tālāk papildus lēcas stiprums tiek samazināts ar soli  $0.50$  D, un pie katra soļa noteikts stereoredzes sliekšnis. Atgriežoties sākuma pozīcijā (nav papildu lēcas), tiek vēlreiz novērtēts stereoredzes sliekšnis. Tādu pašu procedūru veic ar kreiso aci. Laika intervāls darbībām ar visu dioptriju lēcām ir ierobežots, tas nav lielāks par 30 sekundēm katrai lēcai. Ja šajā laikā subjekts nespēja saskatīt un noteikt stereoskopiskā attēla izgriezumu, tad par stereoslieksni tiek pieņemta iepriekš pareizi nosauktā līnija. Subjektiem papildus tika noteikts redzes asums, skatoties monokulāri tuvuma tabulu (kas atbilst 40cm attālumam), sākot ar  $\pm 0.50$  D līdz  $\pm 2.50$  D ar soli  $0.50$  D.

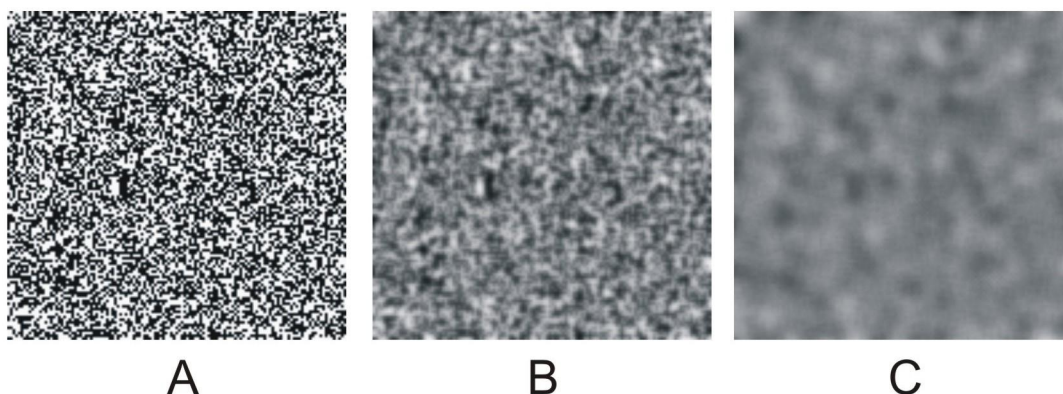
Ar šo metodi ir iespējams mākslīgi simulēt nekoriģētu miopu vai hipermetropu anizotropiju, kura var būt cēlonis ambliopijai, vai anizotropija var rasties, ja vienā acī sāk attīstīties katarakta. Šajā eksperimentā izmantoto lēcu optiskais stiprums var radīt maksimāli 7% lielas abu acu tīklenes attēlu atšķirības (anizeikoniju). Pēc literatūras (*Lovasik & Szymkiw* 1985) datiem pat pie 20% lielas anizeikonijas, ja abu acu optiskie attēli uz tīklenes ir skaidri, subjekta stereoredzes sliekšnis var būt 40 loka sekundes. Pielietojot šo metodi ar optiskām lēcām, stereoredzes sliekšnis tiek ietekmēts kā ar apmigloto attēlu tā arī anizo-akomodāciju.

**Monitora stimulu metode.** Šajā metodē stimuli tiek ģenerēti uz datora monitora un stereosajūtas radīšanai izmanto gaismas krāsu filtrus vai fāzu atdalīšanas metodi ar šķidro kristālu brillēm. Šajā eksperimenta daļā tika izmantots uz monitora izveidots izkļiedēto punktu stereopāris (skat. 3.1.B,C,D zīm.), kuram ir iespējams mainīt apmiglojuma pakāpi, kontrastu un krāsu. Ar šo metodi stereoslieksnis tika noteikts ar divām psihofizikālām metodēm: pakāpeniskās tuvināšanās metodi un konstantā stimula metodi. Stimulu veidoja kvadrāts ar mazāku kvadrātu vai riņķi (ar izgriezumu) centrā, līdzīgi kā TNO testā. Stimuls monokulāri nebija uztverams un parādījās kā telpisks attēls, tikai sapludinot abus attēlus. Fons bija balts. Nosakot stereoslieksni ar pakāpeniskās tuvināšanās metodi, vienas acs stereostimuls eksperimenta laikā nemainījās. Tas bija ļoti labas kvalitātes stimuls, kuram 50% izkļiedētie punkti bija balti un 50% – melni, un katrs mazākais punkts bija 1 pikseli liels. Otrās acs stimuls mainījās no apmiglota uz skaidru vai no maza kontrasta uz lielu un attiecīgi otrādi. Programma automātiski veic 40 ciklus un stimula centra figūra katru reizi



nejauši tika nobīdīta par 1 vai 4 pikseļiem pa labi vai kreisi. Katrs apmiglota vai ar kontrasta izmaiņām veidotais attēls tika rādīts 1 sekundi. Stereopāra kvadrātu izmēri –  $7.0 \pm 0.1$  cm ; centrālo figūru izmēri  $3.5 \pm 0.1$  cm.

Apmiglotie stimuli tika veidoti ar programmas *Corel Photo Paint* palīdzību, izmantojot Gausa sadalījuma pusplatuma lielumu pikseļos. Apmiglojuma joslas pusplatuma lielums mainījās no 0.1 (vismazāk apmiglotajam attēlam Nr.1) līdz 5.0 pikseļiem (vismiglainākajam Nr.50) ar soli 0.1 pikselis. Daži apmiglojuma piemēri parādīti 5.1.zīmējumā.



**5.1.zīm.** Stimuli uz monitora: A – nav apmiglojuma, B – 1 pikseli liels apmiglojums, C – 3 pikseļus liels apmiglojums.

Lai sapludinātu stereopāru attēlus, tika izmantotas šķidro kristālu brilles, kur viena acs redz miglaino attēlu, bet otra redz labas kvalitātes stimulu. Eksperimenti tika veikti izmantojot 15 collu monitoru. Mērījumi tika veikti telpā ar mākslīgo fona apgaismojumu robežās no 200 līdz 400 lx. Literatūrā ir minēts, ka šādās robežās apgaismojuma izmaiņas neietekmē stereoredzi (*Lovasik & Szymkiw 1985, Yap et al. 1994*). Subjektu galva mērījumu laikā tika nofiksēta.

Eksperimentā tika noteikts apmiglojuma vai kontrasta sliekšnis dažādām stereodisparitātēm. Ja vienas acs optiskais attēls uz tīklenes ir apmiglots vai tā saņem zema kontrasta stimulus, bet otras acs attēls uz tīklenes ir ar nemainīgi augstu kontrastu vai skaidrs, un subjektam ir jādod apstiprinoša atbilde tad, kad tiek ieraudzīts stereoattēls. Programma piefiksē skaitļus: attiecīgā apmiglotā attēla apmiglojuma pakāpi pikseļos un attēlu nobīdi pa horizontālo asi. Zinot subjekta atrašanās attālumu no monitora, tiek aprēķināts stereoslieksnis, izmantojot formulu:

$$w = \frac{PD \times \Delta l}{l^2}, \quad \Delta l = \frac{l \times y_p}{PD \pm y_p}, \quad [4]$$

kur  $w$  – stereoslieksņa lielums (rad);  $y_p$  – stereoskopiskā paralakse (m);  $l$  – monitora attālums līdz subjekta acīm;  $PD$  – starpzīlīšu attālums. Pēc tam stereoslieksnis tiek izteikts loka sekundēs.

Subjektiem tika izskaidrota eksperimentu būtība, tika nodemonstrēts, kā darboties ar programmām un ļauts veikt aptuveni piecas minūtes ilgu treniņeksperimentu. Subjekti tika nosēdināti  $60 \pm 1$  cm attālumā no monitora (attālums tiek mērīts no subjekta pieres balsta līdz monitora ekrānam pa normāli), tika uzliktas šķidro kristālu brilles un uzsākts programmu cikls. Tai brīdī, kad subjektam parādījās stereosajūta, viņš apstādināja vienu programmas ciklu, nospiežot konkrētu taustiņu, kas attiecas uz stereoattēlu, ja tas bija izvirzījies uz āru no attēla plaknes (krustotā disparitāte), vai nospiežot citu taustiņu, ja

stereoattēls bija aiz attēla plaknes (nekrustotā disparitāte). Pie dotā attāluma tika veikti 40 mērījumu cikli. Šie 40 mērījumi ietvēra četras dažādas disparitātes: divas krustotās un divas nekrustotās. Seanss aizņēma aptuveni sešdesmit minūtes. Pēc tam tāds pats skaits mērījumu tika veikts pie vēl diviem attālumiem:  $120 \pm 1$  cm un  $180 \pm 1$  cm. Tā rezultātā katrā eksperimentā tika veikti mērījumi 12 dažādām disparitātēm – sešām krustotajām un sešām nekrustotajām.

Tā kā pētījumos tiek izmantoti dažādi optiskie materiāli: gaismas filtri, PLZT keramika, PDLC plāksnīte un šķidro kristālu brilles, tad svarīgi ir zināt katra materiāla optiskās īpašības redzamajā spektra daļā. Gaismas filtri tiek izmantoti gan standarta TNO testā, gan eksperimentā, kurā stimuli tiek rādīti uz monitora. Gaismas filtru caurlaidībai jābūt vienādai, lai stimulu neirālā signāla intensitātes, kas nonāk līdz primārai redzes garozai, būtu vienādas. Savukārt metodē, kur cilvēkiem ar vienas acs redzes asuma pazeminājumu tiek trenēta stereoredze, speciāli tiek piemeklēti gaismas filtri ar atšķirīgu gaismas caurlaidību. Šādi tiek panākts efekts, ka labi redzošai acij tiek samazināta stereostimula intensitāte. Labi redzošās acs gaismas filtram ir vismaz trīs reizes mazāka gaismas caurlaidība.

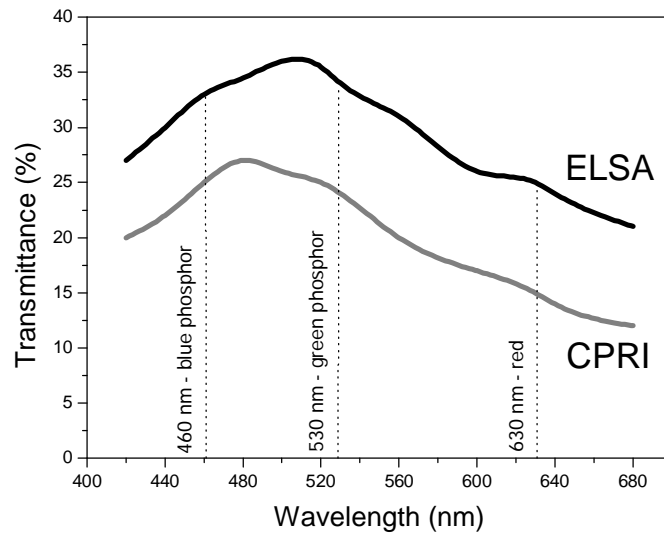
Savukārt krāsainu monitora stimulu eksperimentā ir svarīgi piemeklēt gaismas filtrus tā, lai viena acs redz tikai vienas krāsas stimulu, attiecīgi otra acs – otras krāsas stimulu. Ja uz monitora tiek veidoti izoluminanti sarkanās un zilās krāsas stimuli, mūsu smadzenēm tos jāuztver kā vienādas intensitātes stimulus. Standarta testos izmanto sarkano un zaļo gaismu, savukārt monitora izstarotā zaļā gaisma ir ar ļoti lielu intensitāti (skat. 4.5.zīm.) un to nav adekvāti izmantot eksperimentos, kuros ir svarīgi novērot krāsas kontrasta maiņu pie stereoredzes veidošanās. Cits, sarežģītāks variants ir kalibrēt un modificēt zaļo krāsu, izveidojot algoritmu, kurā zaļās krāsas kontrasta maiņa katrai stimula intensitātei ir saskaņota ar otras krāsas stimula intensitāti. Šai kalibrēšanai ir arī savi mīnusi, jo paliek mazākas iespējas mainīt zaļās krāsas kontrastu plašā diapazonā. Mazliet vienkāršāka metode ir, izmantojot divus monitorus un spoguļu sistēmu stereosliekšņa noteikšanā. Tad attiecīgi var izmainīt paša monitora spožuma intensitāti un, attiecīgi nokalibrējot, pieskaņot visus kontrastus stimulu gaismas intensitātēm.

Pētījumā, kurā tiek izmantotas šķidro kristālu (LC) brilles, tiek lietota fāzu atdalīšanas tehnika, kad stimuli abām acīm tiek rādīti periodiski uz īsu brīdi vienai acij un otrai acij atsevišķi. Stimula rādīšana uz monitora tiek sinhronizēta ar šķidro kristālu briļļu pārslēgšanos. Šādas LC brilles ir ļoti populāras dažādās virtuālās realitātes spēlēs, taču mūsu pētījumos bija svarīgi novērtēt, kāds ir šo briļļu aizvēršanās ātrums un caurspīdīgums pēc vienas acs filtra aizvēršanās laika intervālā pirms sāk atvērties otrs filtrs. Ja katras acs šķidro kristālu “lēca” neaizveras līdz galam, kad otra acs “lēca” jau veras vaļā, tad var izveidoties situācija, kurā abas acis redz stimula kustību – paralaksi. Tas var palīdzēt subjektam nojaust slēptā stereoattēla stimula atrašanās vietu, un smadzenēs var ieslēgties citi mehānismi (piemēram, telpas dziļums, ko uztver no kustības), kas var radīt stereosajūtu. Mēs eksperimentāli salīdzinājām divas šķidro kristālu brilles: “ELSA” un Maskavas kinomotogrāfijas institūta brilles (CPRI). Šīm brillēm tika novērtēta spektrālā caurlaidība (skat. 5.2.zīm.), un spriegumu kontrolētie atvēršanās – aizvēršanās ātrumi.

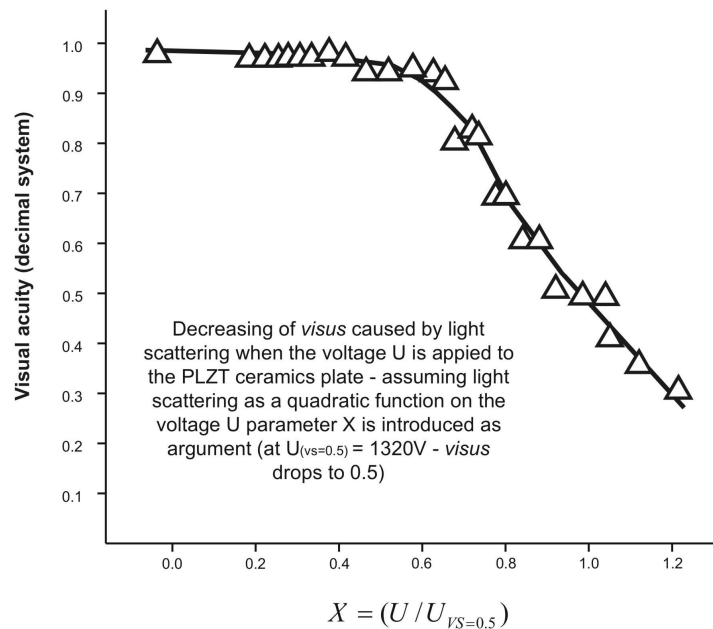
**Acs aizsegu metode.** Šajā eksperimentā ar acs aizsegiem labi tiek simulēta kataraktas situācija, ko nav iespējams vienkārši realizēt uz monitora, jo vienlaicīgi ir jāveido gan miglojums, gan kontrasta maiņa. PLZT plāksnīte (Ozolinsh et al. 1999) vienmērīgi kļūst mazāk caurspīdīga (skat. 5.3.zīm.), ja tai pielikto spriegumu palielina. Plāksnīte nerada tieši tādus pašus apstākļus kā pie īstās kataraktas, jo ir zināms, ka katarakta var izveidoties gan acs lēcas perifērijā, un tad centrālā redze var saglabāties



diezgan laba, gan tā var attīstīties acs lēcas centrālā daļā, un ļoti ietekmēt redzes asumu. Taču šīs plāksnītes redzamās gaismas caurlaidības un izkliedes spektrs ir tieši tāds pats kā cilvēkiem ar apduļķotu acs lēcu. Proti, īsie viļņi tiek vairāk izkliedēti, un redzes asums krītas īso viļņu diapazonā, tieši tāpat kā cilvēkam kataraktas gadījumā (skat. 5.4.zīm.). Redzes asums noteikts ar dažādas krāsas optotipiem, lai novērtētu redzes asumu, ja uz datora monitora rāda zilās krāsas kontrasta stimulu un šo pašu stimulu skatās cauri PLZT vai PDLC plāksnītēm. No 5.4.zīmējuma redzams, ka, skatoties cauri PLZT plāksnītei pat bez apmiglojuma, redzes asums ir samazinājies zilajiem optotipiem. Šāda situācija ir arī cilvēkiem ar reālu kataraktu.

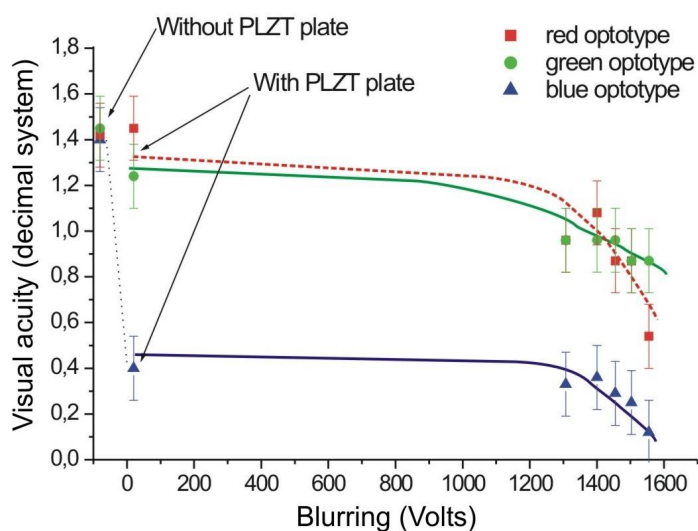


**5.2.zīm.** ELSA un CPRI briļļu spektrālā caurlaidība. Palīglinijas parāda monitora luminoforu emisijas spektru maksimumus trīs pamatkrāsām: zilai – 460nm, zaļai – 530nm, sarkanai – 630nm.

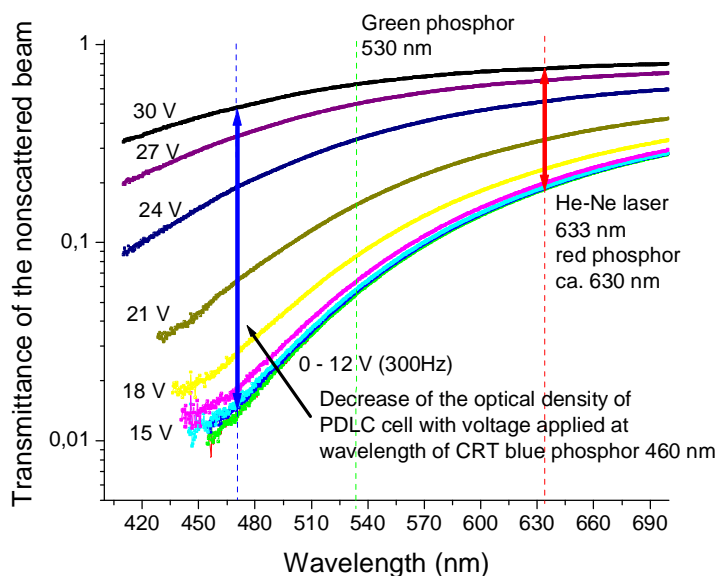


**5.3.zīm.** Redzes asuma maiņa, skatoties cauri PLZT plāksnītei, kurai tiek pievadīts spriegums.

Savukārt PDLC plāksnīte kļūst caurspīdīgāka (skat. 5.5.zīm.), ja tai palielina pielikto spriegumu. Arī šeit var novērot, ka redzes asums zilās krāsas stimulam ir samazināts, salīdzinot ar melni balto stimulu (skat. 5.6.zīm.). Ja subjekts skatās uz zili-melnu optotipu, tad tiek ierosinātas īso viļņu jutības vāļītes un daļēji arī vidējo un garo viļņu jutības vāļītes. Ja subjektam rāda dzeltenu optotipu uz balta fona, tad redzes uztveres procesā var atdalīt īso viļņu jutības vāļīšu reakciju uz stimulu. Arī šajā situācijā novērojams redzes asuma samazinājums pat pie caurspīdīgas PDLC plāksnītes. Tas parāda, ka acs tīklenes centrālajā daļā īso viļņu jutības vāļīšu koncentrācija ir ļoti maza (Roorda & Williams 1999).



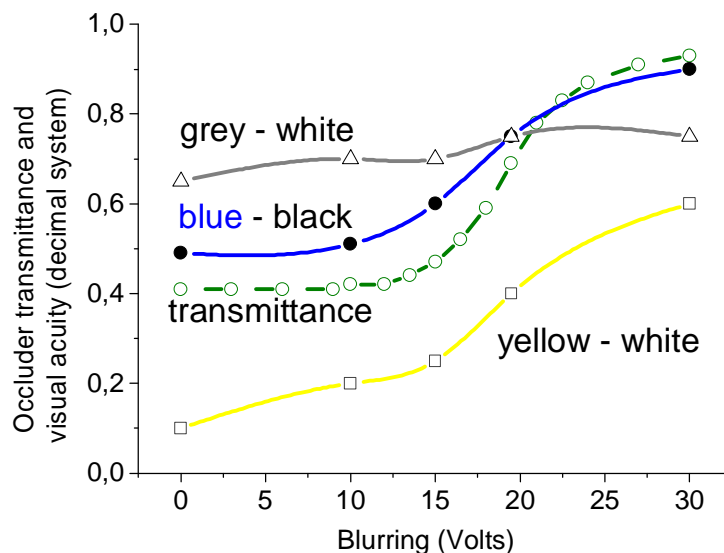
5.4.zīm. Redzes asums noteikts ar dažādas krāsas optotipiem. Bez PLZT plāksnītes redzes asums ar visu krāsu optotipiem ir aptuveni 1,2.



5.5.zīm. PDLC plāksnītes spektrālās gaismas caurlaidības maiņa pievadot dažādus spriegumus. Monitora trīs luminoforu izstarotās gaismas maksimumi pie 460, 530 un 630 nm.

Stereoredzes pētījumos svarīgi ir noskaidrot, cik daudz vienas acs stimula apmieglojums un samazināts kontrasts izmaina stereosliekšni. Līdztekus jāatceras, ka reālas

kataraktas un ambliopijas gadījumi ir savstarpēji atšķirīgi. Zināms, ka kataraktas gadījumā samazināta acs jutība ir īso viļņu diapazonā. Savukārt ambliopijas un nekoriģētas anizotropijas gadījumā acs lēcas parasti ir caurspīdīgas, un acs spektrālā jutība nav izmainīta, bet ir tikai pazemināts redzes asums.



**5.6.zīm.** PDLC plāksnītes gaismas caurlaidība, mainoties pievadītajam spriegumam. Jo lielāks spriegums, jo plāksnīte kļūst caurspīdīgāka un redzes asums paaugstinās. Izvēlētie stimuli – augsta kontrasta zils optotips uz melna fona, zema kontrasta (10%) pelēks uz balta fona un dzeltens uz balta fona.

**Stereoredzes stimulēšanas metode.** No iepriekš noteiktiem stereoredzes sliekšņa lielumiem tika iegūtas zināšanas par to, cik lielu jāizveido horizontālo disparitāti stereotestiem, kurus demonstrē cilvēkiem ar pazeminātu vienas acs redzes asumu, ar mērķi stimulēt stereoredzes veidošanos. Šajās stimulācijās arī labi redzošās acs stimulants tiek vājināts veicot apmieglojumu ar Gausa filtru. Apmieglojuma parametri tiek noteikti izmantojot konversijas tabulu (skat. 4.1.tabulu), kura parāda stimulu kvalitātes sakarības starp lēcas optisko stiprumu, redzes asumu un apmieglojuma pikseļos. Stereodisparitāte tiek izvēlēta mazliet lielāka kā noteiktās stereosliekšņa vērtības inducētas ambliopijas vai kataraktas gadījumos. Stereoredzes stimulēšanai tiek izmantota fāzu nobīdes metode, pielietojot šķidro kristālu brilles. Ja stereoredze tiek iegūta ar šo metodi, tad pēc tam vēlreiz tiek noteikts stereosliekšnis, izmantojot klīnisko TNO stereotestu, ļaujot subjektam pārbaudes sākumā testa plati turēt tuvāk kā 40cm un skatīties tik ilgu laiku, kamēr ierauga slēpto stereoattēlu. Stereosliekšņa precizēšanai testa plate tiek novietota pareizajā attālumā un vēl vienu reizi pārbaudīta stereoredze.

Lai simulētu vienas acs redzes asuma pazemināšanos un novērtētu stereoredzes veidošanos situācijā, ko reālā dzīvē rada ambliopija, katarakta vai nekoriģēta anizotropija, tika lietotas trīs dažādas metodes. Defokusācijas metodē ar optiskām lēcām tiek izmainīta vienas acs attēla vergence, šādi simulējot nekoriģētu anizotropiju. Šajā metodē nav iespējams novērst optisko lēcu radīto attēlu anizeikoniju, kas šajā pētījuma laikā nepārsniedz 7%, un, pēc literatūras datiem (Lovasik & Szymkiw 1985), tam nav liela nozīme.

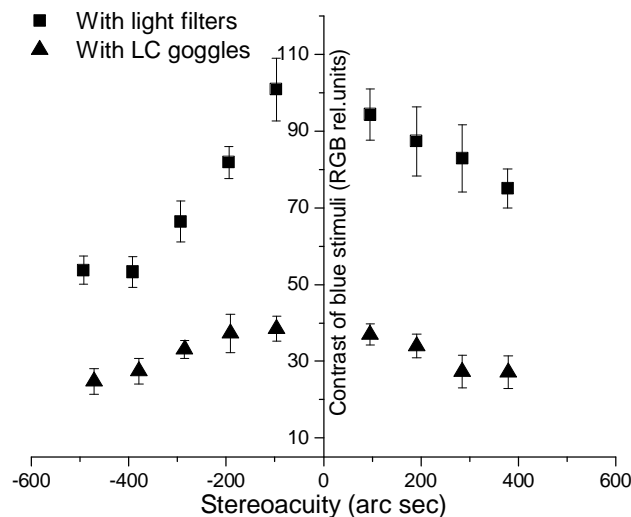
Monitora stimula metodē jau demonstrētajam stimulam tiek izmainīts kontrasts vai apmieglojums. Ar šo metodi tiek panākts labāks komforts subjektam, jo papildus lēcas uz

brīdi rada haosu akomodācijas procesā. Ar šo metodi nav iespējams simulēt acs optisko stiprumu atšķirības, bet apmiglojums rada vienas acs redzes asuma pasliktināšanos. Trešajā metodē, stimula kvalitātes pazemināšanai, starp aci un stimulu ievieto acs aizsegus (PLZT un PDLC plāksnītes). Šādi tiek simulēta progresējoša katarakta vienā acī un tiek noteiktas stereosliekšņa vērtības zemas kvalitātes stimulam. Ar šo metodi labi var novērot, ka redzes asums straujāk krītas īso viļņu diapazonā (zilās krāsas stimula), kas ir ļoti raksturīgs pie acs lēcas apduļķošanās kataraktas gadījumā. Redzes asuma izmaiņas vienā acī, kas ietekmē stereoredzes sliksni, ir parādītas 5.4. un 5.6.zīmējumā.

Statistiskā rezultātu apstrāde, ieskaitot p-vērtības novērtēšanu hipotēžu pārbaudei, t-testa pielietošanu savstarpēji atkarīgu izlašu vidējo salīdzināšanai un savstarpējo datu korelāciju (ticamību  $r^2$ ), veikta ar datora programmām *MS Excel* un *Microcal Origin*.

## 6. Rezultāti

Datora stimula metodē tika izmantotas dažādas stereoredzes sajūtas radīšanas metodes (ar gaismas filtriem un šķidro kristālu brīļu pielietošanu) un izmantoti atšķirīgi stimuli (kvadrāts un riņķis ar izgriezumu). Eksperimentā ar pakāpeniskās tuvināšanās metodi izmantojot gaismas filtrus stimulu atdalīšanai, noteiktais kontrasta sliekšnis ir augstāks nekā izmantojot šķidro kristālu brilles, kuru gaismas caurlaidība ir salīdzinoši lielāka nekā gaismas filtriem (skat. 6.1.zīm.), ar ko jāreķinās pētot krāsu stereoredzes sliekšņus.

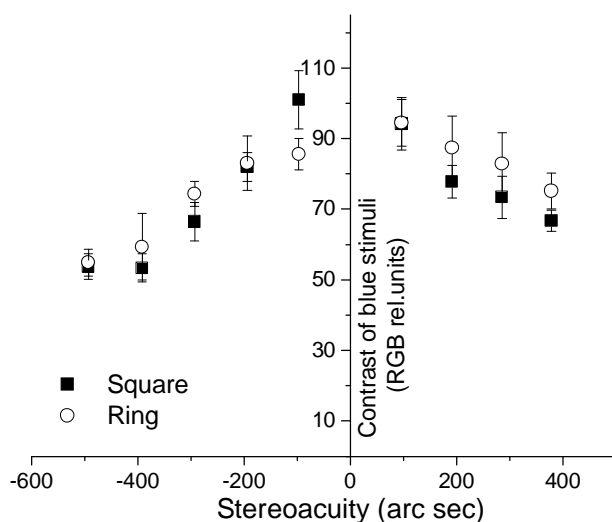


**6.1.zīm.** Noteiktie kontrasta sliekšņi dažādām stereodisparitātēm, mainoties zilās krāsas kontrastam. Stereosajūtas radīšanai izmantoti gaismas filtri un šķidro kristālu brilles.

Ja stereoredzes sliekšni vēlas pētīt mainot krāsas kontrastu, tad vislabāk pielietot šķidro kristālu brilles. Pētījumā tika konstatēts, ka testa objektu izvēle dod mazas atšķirības iegūtos rezultātos. Statistiski tam nav nozīmes ( $p > 0.1$ ), vai rādāmais stimuls tiek izvēlēts kā vienkāršs objekts (kvadrāts) vai sarežģītāks (riņķis ar izgriezumu). Iegūtie rezultāti dažādas sarežģītības stereoattēliem atainoti 6.2.zīmējumā. Pēc testa iekārtas raksturlielumu noteikšanas un sākotnējās pārbaudes tika veiktas eksperimentu sērijas, lai noteiktu kontrasta sliekšņa vērtības fiksētai stereodisparitātei ar vienas krāsas (zilās) kontrasta maiņu.

Pirmajā sērijā stimula kontrasts mainījās nepārtraukti, – sliekšnis tika noteikts ar pakāpeniskās tuvināšanās metodi un stereostimuli atdalīti ar krāsu filtriem. Vidējie rezultāti, testu veicot vairākkārtīgi pieciem subjektiem, attēloti 6.2.zīmējumā (melnie kvadrāti). Otrajā sērijā ir parādīti līdzīga testa rezultāti, taču paslēptā figūra bija disks ar izgrieztu sektoru. Zilās krāsas kontrasts tika nepārtraukti statiski mainīts. Subjektam bija jādod apstiprinoša atbilde gadījumā, ja viņš varēja atpazīt izgriezuma virzienu. Iegūtie rezultāti attēloti 6.2.zīmējumā (tukšie apli). Eksperiments ar pakāpenisku tuvināšanos sliekšnim prasa ilgstošu uzmanību, kuras laikā binokulārās konkurences dēļ notiek arī periodiska stimula dominējošās nokrāsas maiņa. Tas varētu būt viens no cēloņiem lielajai rezultātu izkliedei.

Pēc tam krāsas kontrasta sliekšņa vērtības dažādiem disparitātes lielumiem tika noteiktas mainīgam zilās krāsas stimula kontrastam, meklējot tās ar konstantā stimula metodi. Lielām disparitātēm – ap 500 loka sekundēm – psihometriskās funkcijas ir stāvas (skat. 6.3.zīm.) un noteiktais zilās krāsas kontrasta sliekšnis ir ar mazāku izkliedi. Samazinoties disparitātei, psihometriskās līknes ir lēzenākas un iegūtās sliekšņa vērtības ir ar mazāku ticamību. Arī šajā sērijā eksperimenta rezultāti, kas iegūti ar riņķa stimulu, izklīdes ziņā maz atšķiras no kvadrātiskā stimula testa ar krāsainiem gaismas filtriem.



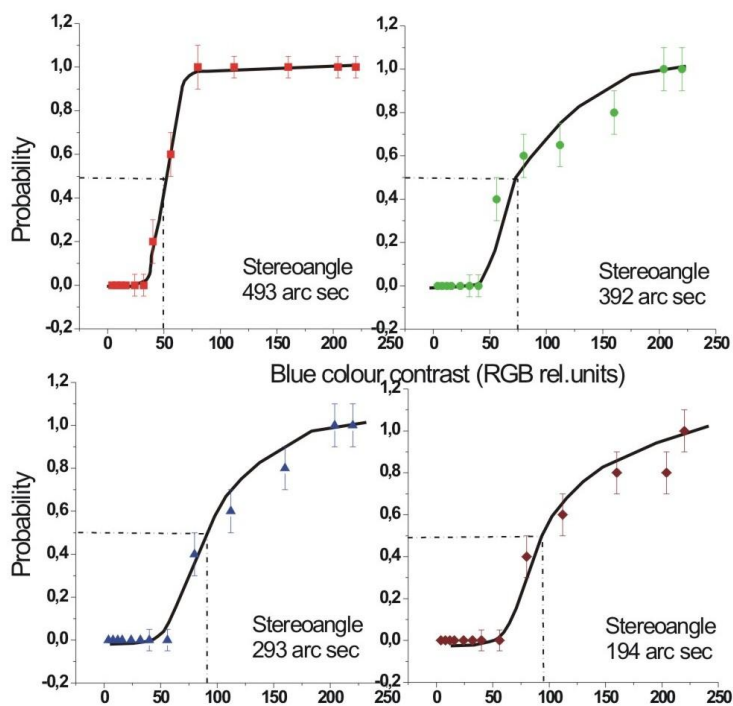
**6.2.zīm.** Ar pakāpeniskās tuvināšanās metodi noteiktie kontrasta sliekšņi ar mainīga kontrasta zilo stereostimulu un divu veidu figūrām.

Eksperimentos stereosajūtas stimulēšanai ar gaismas filtriem vai šķidro kristālu brillēm tika salīdzinātas situācijas, kad redzes uztveri veido laikā nemainīgi vienas acs sliktas kvalitātes stimuli vai pārmaiņus, periodiski veidoti stimuli. Ar fāzu nobīdes metodi, lietojot šķidro kristālu brilles var nedaudz samazināt binokulārās konkurences radīto iespaidu uz eksperimenta gaitu un rezultātiem. Eksperimenta laikā subjektam komforts uzlabojās un netika novērota krāsu “pumpēšanās” no zilās uz sarkano. Arī rezultātu izklīde, lietojot šķidro kristālu brilles, salīdzinājumā ar līdzīgu stimulu demonstrēšanu, stimulējot stereoredzi, lietojot krāsu filtrus, samazinājās (skat. 6.1.zīm.).

Datorprogrammas stereotestā mērāmais lielums ir attēlu nobīde pa horizontāli, proti, horizontālās disparitātes lielums. Aprēķinot stereosliekšņa lielumu pēc formulas [4], atkarībā no starpzīlīšu attāluma ( $PD$ ) un monitora atrašanās attāluma, var secināt, ka atšķirīgi  $PD$  nerada lielu kļūdu. Izrādās, ka starpzīlīšu attālumam mainoties no 55mm uz 70mm, stereosliekšnis izmainās par 1%. Konstants darba attālums tika nodrošināts ar galvas balstu, rēķinoties ar  $\pm 1$ cm nobīdi. Tas stereosliekšņa aprēķinos var ienest kļūdu ne vairāk par 3-4%. Vēl jāreķinās ar monitora parametriem. Monitora pikseļa izmēriem mainoties no 0.27mm uz 0.28mm, var tikt ienesta 4% liela kļūda. Savukārt krustotās un nekrušotās disparitātes stereosliekšņa vērtības vienādām pikseļu horizontālām nobīdēm ir atšķirīgas (vidējās vērtības parādītas 6.1.tabulā.).

Vairumā citu autoru pētījumu (*Wilcox & Hess 1998; Rohaly & Wilson 1999*) par monokulāra vai binokulāra kontrasta ietekmi (izmantojot sinusoīdveida stimulus) uz stereoredzi, sakarības starp lielumiem tiek aprakstītas, izmantojot pakāpes funkciju, un dati

tiek grafiski attēloti logaritmiskajā skalā. Tā kā mūsu veiktajos eksperimentos tika apskatīts salīdzinoši šaurs disparitāšu diapazons, tad tika pieņemts, ka sakarību starp stereoslieksni un stimula kontrastu vai apmiglojumu var uzskatīt par lineāru un grafiski analizēt lineārās koordinātēs. 6.4.zīmējumā ir attēlotas monokulārā attēla kontrasta (melnbaltā un zilās krāsas kontrasta maiņas) sliekšņa vidējās vērtības visiem 11 subjektiem kopumā katrai disparitātei.



6.3.zīm. Psihometriskās līknes iegūtas ar konstantā stimula metodi. Zilās krāsas kontrasta sliekšnis dažādiem stereoredzes disparitātes lielumiem attēlots ar pārtrauktu līniju.

6.1.Tabula

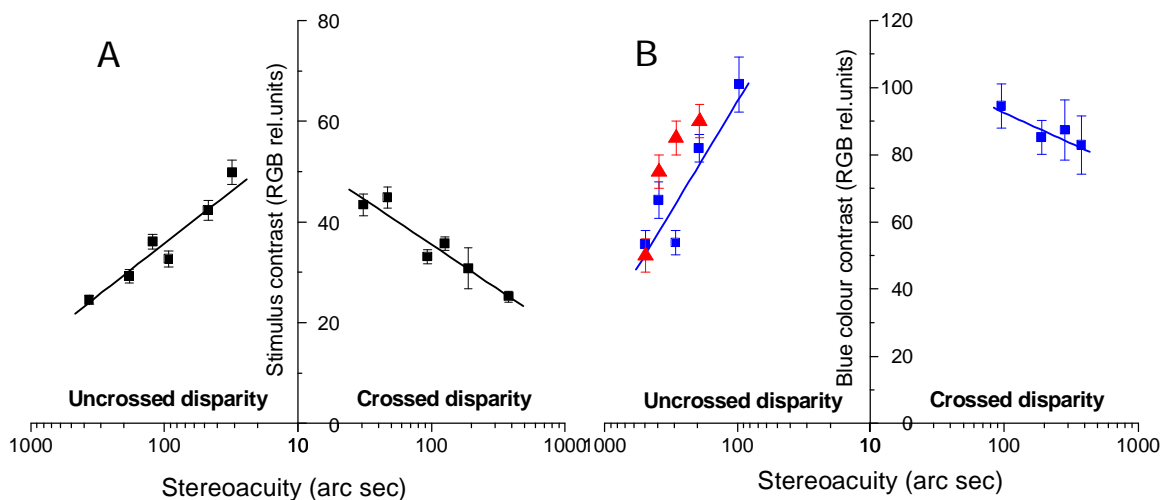
### Stereosliekšņa vērtības atkarība no attāluma līdz monitoram un disparitātes veida

Attālums līdz monitoram	Attēla nobīde pikseļos									
	Nekrustotā disparitāte					Krustotā disparitāte				
	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
0.45 m	606"	487"	367"	246"	123"	124"	250"	376"	504"	633"
0.60 m	454"	365"	275"	184"	92"	93"	187"	282"	378"	475"
0.80 m	341"	274"	206"	138"	69"	70"	141"	212"	284"	356"
1.20 m	227"	183"	138"	92"	46"	47"	94"	141"	189"	237"
1.80 m	151"	122"	92"	61"	31"	31"	62"	94"	126"	158"

Stereosliekšņa vidējās vērtības krustotās un nekrustotās disparitātes gadījumos. Stereosliekšņi aprēķināti nosacījumam, ka subjekta starpzīlīšu attālums (PD) ir 62 mm un monitora pikseļa izmēri 0.27 mm. Tabulā apkopoti visi stereotestos izmantotie darba attālumi.

Izmantojot šķidro kristālu brilles, samazinājās rezultātu izkliede un stereoslieksnis parādās arī pie zilās krāsas zemāka kontrasta. Stereoredzes stimulēšanai izmantojot līdzīgu melni-baltu stimulu, iegūtie rezultāti ir ar mazāku izkliedi, un kontrasta lielums daudz

neatšķiras no iegūtajiem sliekšņiem, lietojot zilās krāsas stimulus (ja stimulu atdalīšanai lieto šķidro kristālu brilles). 6.4.zīmējumā kontrasta lielums attēlots RGB relatīvās vienības, taču apskatot 4.5.zīmējumu redzams, ka vienas disparitātes stimula gaismas intensitātes ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) izmaiņas procentuāli RGB vienībām melnbaltajam stimulam salīdzinājumā ar zilo stimulu ir aptuveni vienādas.



**6.4.zīm.** Vienas acs stereostimula kontrasta maiņa dažādām disparitātēm noteikta ar pakāpeniskās tuvināšanās metodi: A – melnbaltā stereotesta rezultāti, B – zilās krāsas stimula stereotesta rezultāti. B zīmējumā ar sarkaniem trīsstūriem apzīmēti iegūtie dati ar konstantā stimula metodi, mainoties zilās krāsas kontrastam. Krāsas kontrasts tiek mērīts RGB relatīvās vienībās (no 0 līdz 255 RGB krāsu kodēšanas vienībās).

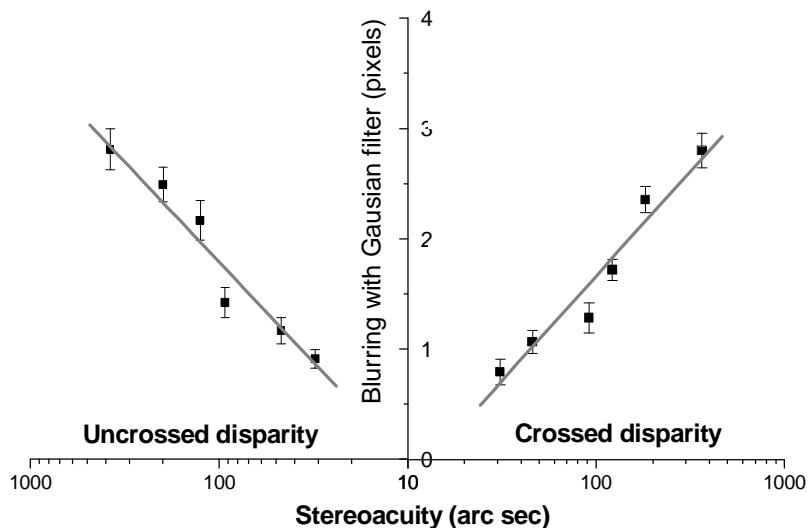
Ar izstrādāto metodi ir iespējams novērtēt gan smalkās, gan rupjās stereoredzes sliekšņa lielumus. Šajā eksperimentā, skatoties monitorā ar vienu aci, nevar nojaust norādes, kur varētu veidoties stereoattēls. Tāpat ar šo metodi ir iespējams iegūt stereoredzi gan krustotās, gan nekrustotās disparitātes gadījumā.

Ar šo metodi ir iespējams arī radīt mākslīgus ambliopijas un kataraktas apstākļus, kuros mainās stimula apmiglojuma pakāpe uz monitora. Pētījumā konstatēts, ka stereoslieksnis paaugstinās gan krustotās, gan nekrustotās disparitātes gadījumā, ja stimula apmiglojuma intensitāte vienā acī palielinās (skat. 6.5.zīm.).

Pētījumā tika noteiktas redzes asuma izmaiņas, ko ienes papildus lēcas pusmūža cilvēkiem. Jauniem cilvēkiem labi darbojas akomodācija, un ar arī negatīvām lēcām viņi spēj skaidri saskatīt stimulu. Lai atslēgtu akomodācijas darbību jauniem cilvēkiem, ir nepieciešams pielietot cikloplēģiju (ar medikamentiem atslēgt acs akomodāciju). Iegūtie rezultāti par redzes asuma izmaiņām apkopoti 6.6.zīmējumā. Šeit redzams, ka ar negatīvām lēcām subjektiem redzes asums samazinās straujāk nekā ar pozitīvām lēcām, lai gan apmiglojums, ko rada lēcas, ir ļoti līdzīgs (skat. konversijas 4.1.tabulu). Uz acs tīklenēm mazliet mainās tikai attēlu relatīvie lielumi, kas varētu simulācijā ar pozitīvām lēcām radīt palielinātu redzamo objektu. Līdz ar to šo objektu pie līdzīga apmiglojuma var vēl atpazīt, un iegūstam labāku redzes asumu nekā pie negatīvām lēcām.

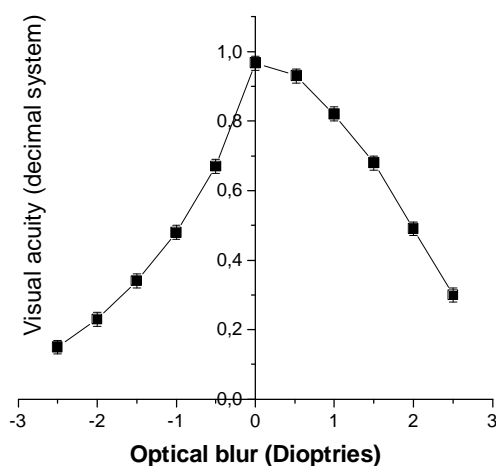
Nākamajā pētījuma daļā tika novērtēts stereoslieksnis mākslīgi radītas nekoriģētas anizotropijas gadījumos un iegūtie rezultāti salīdzināti ar datiem, kas iegūti no optikas pacientiem reālas ambliopijas un kataraktas situācijās. Nekoriģēta anizotropija var būt cēlonis ambliopijai un var rasties, piemēram, kataraktai progresējot vienā acī.





**6.5.zīm.** Stereoredzes sliekšnis, mainot vienas acs apmīģojumu. Acs apmīģojums, izmantojot Gausa filtru, tiek iegūts uz monitora. Apmīģojuma intensitāte tiek mērīta pikseļos.

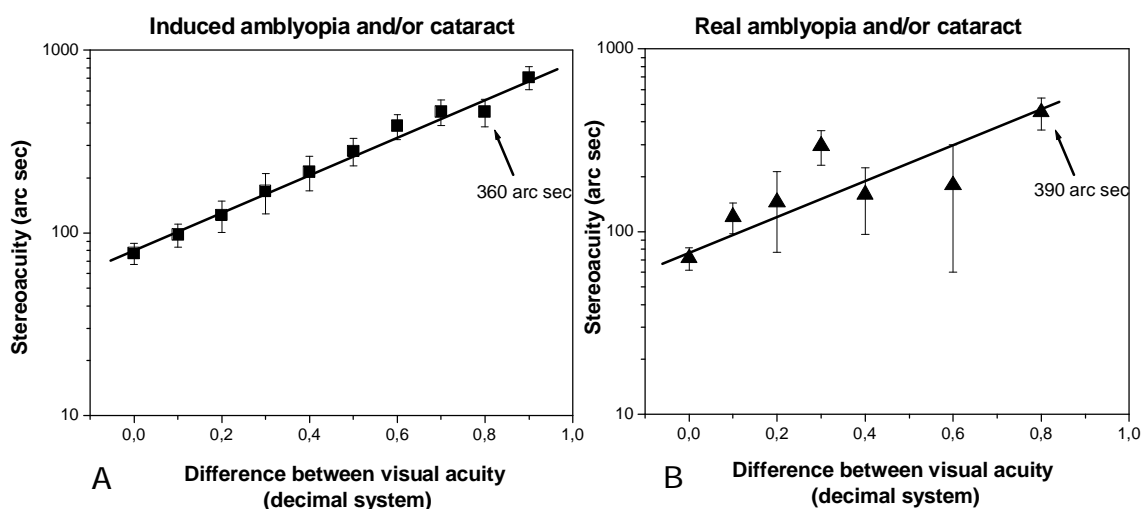
Ja salīdzina datus par stereosliekšņa vērtībām inducētās anizotropijas situācijā ar redzes asuma starpību acīs 0.8 vienības (pēc redzes asuma novērtēšanas decimālās sistēmas) ar reālas ambliopijas vai kataraktas subjektiem ar tādu pašu redzes asuma starpību, t.i. 0.8 vienības, tad redzam, ka stereoredzes sliekšnis attiecīgi ir  $360 \pm 50$  loka sekundes un  $330 \pm 90$  loka sekundes (skat. 6.7.zīm.). Lai gan ir subjekti, kuriem stereosliekšnis reālos ambliopijas vai kataraktas apstākļos var būt pat zemāks nekā inducētās ambliopijas vai kataraktas gadījumos. Tas arī redzams grafikā (skat. 6.7.B zīm.), kas rāda, ka reālam acs defektam izkliede ir lielāka nekā vienas acs inducētam redzes asuma pazeminājumam.



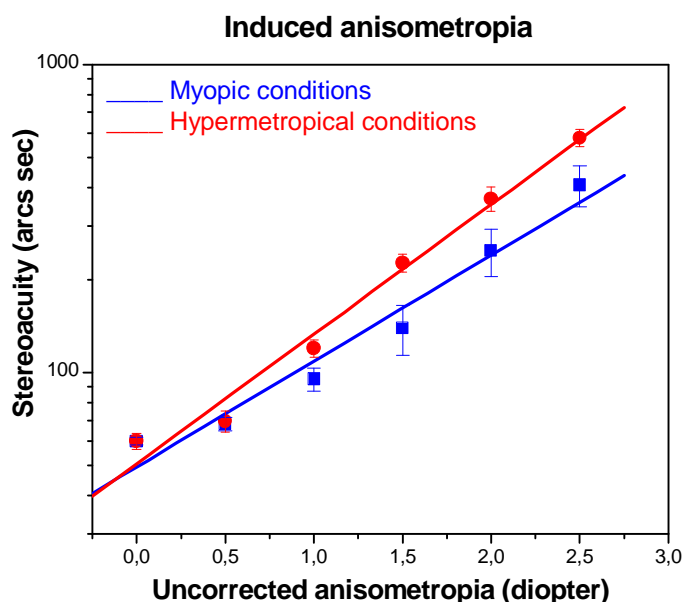
**6.6.zīm.** Redzes asuma izmaiņas, skatoties cauri optiskām lēcām, noteiktas 100 subjektiem.

Aplūkojot kā mainās stereosliekšnis mākslīgi inducētās hipermetropas un miopas anizotropijas gadījumos, ir redzams, ka stereoredzes sliekšnis ir atkarīgs no acs refrākcijas (skat. 6.8.zīm.). Ja viena acs hipermetropāka nekā otra acs (vienā acī ir

emetropija un otrā ir hipermetropija jeb vienā acī ir hipermetropija, bet otrā ir vēl augstākas pakāpes hipermetropija), tad pie acu refrakcijas atšķirībām 2.5 dioptrijas stereoredzes sliekšnis ir ļoti augsts – ap  $530 \pm 50$  loka sekundēm. Hipermetropijas mākslīgu simulāciju veic ar negatīvām optiskām lēcām, kuras skaidro attēlu pārvieto aiz tīklenes, un uz tīklenes veidojas neskaidrs attēls. Ja subjektam mākslīgi inducēta viena acs ir miopāka kā otra (vienā acī ir emetropija un otrā ir miopija jeb vienā acī ir miopija un otrā ir augstākas pakāpes miopija), tad noteiktais stereoslieksnis ir  $214 \pm 40$  loka sekundes (skat. 6.8.zīm.).



6.7.zīm. A – stereoredze inducētas kataraktas, ambliopijas vai nekoriģētas anizometropijas gadījumos. B – stereoredzes sliekšnis noteikts subjektiem ar reālu vienas acs redzes asuma pazeminājumu.



6.8.zīm. Stereosliekšņa atkarība no inducētās anizometropijas veida. Statistiski nozīmīga atšķirība  $p < 0.05$ .

Tas nozīmē, ka situācijās, kad subjektam ir lielas acs optiskā stipruma un redzes asuma atšķirības acīs, pēc mūsu pētījuma rezultātiem varētu prognozēt sagaidāmo

stereoredzes sliksni, vai arī noteikt, ar kādu disparitāti labāk sākt stereoredzes stimulāciju, subjektiem kam tā netiek konstatēta ar klīniskiem stereotestiem. Mūsuprāt, ja cilvēkam tiek konstatēts primārais binokulārās redzes līmenis, ko nosaka ar *Schober* un *Worth* testiem, var sagaidīt, ka tam būs vismaz rupjā stereoredze.

## 6.2.Tabula

### Stereoredzes stimulēšanas metodes iegūtie rezultāti

	Stereoredze ar TNO testu pirms eksperimenta	Stereoredze ar jauno metodi	Stereoredze ar TNO testu pēc eksperimenta
<b>Subjekts Nr.1</b>	Netiek konstatēta	Izveidojas pēc 5-10 minūtēm	Redz 480"-240"
<b>Subjekts Nr.2</b>	Netiek konstatēta	Izveidojas pēc 5-10 minūtēm	Redz 480"
<b>Subjekts Nr.3</b>	Netiek konstatēta	Izveidojas pēc 20-25 minūtēm	Redz 480"-800"

Iegūtās trīs subjektu stereoredzes sliksņu vērtības pēc stereoredzes stimulēšanas metodes.

Stereoredzes stimulēšanas eksperimentā iesaistījās trīs subjekti ar augstas pakāpes ambliopiju. Ambliopijas cēlonis ir hipermetropijas anizotropija, un acu optiskā stipruma atšķirība visiem ir robežās 2.00-2.50 D. Visiem trim subjektiem konstatēta vāja binokulārā redze un ar klīnisko TNO stereotestu sākumā stereoredze netika konstatēta. Tad subjektiem uzdeva skatīties uz datora monitora izveidoto stereotestu, lietojot šķidro kristālu brilles. Attēliem bija liela horizontālā disparitāte (1000-2000 loka sekundes). Eksperimenta laikā tika mainīts apmieglojums, lai labi redzošās acs stimulētu kļūtu līdzvērtīgs ambliopās acs stimulam. Kad stereoredze tika iegūta, vēl vienu reizi mēģināja iegūt stereoredzi ar TNO stereotestu, papildus izmantojot gaismas filtru ar vismaz trīs reizes mazāku gaismas caurlaidību, lai nomāktu labi redzošās acs stimulu. TNO testa plate tika novietota tuvāk, lai iegūtu lielāku disparitāti, kas vairāk stimulētu stereoredzes veidošanos. Pēc tam tests tika nolikts pareizajā attālumā (40cm) un noteiktas stereosliksņa vērtības. Iegūtie rezultāti apkopoti 6.2.tabulā. Stereoredzes sajūta subjektiem ar ambliopiju veidojās ilgi – vairāk kā 40-60 sekundes tika aplūkots viens stereoattēls.

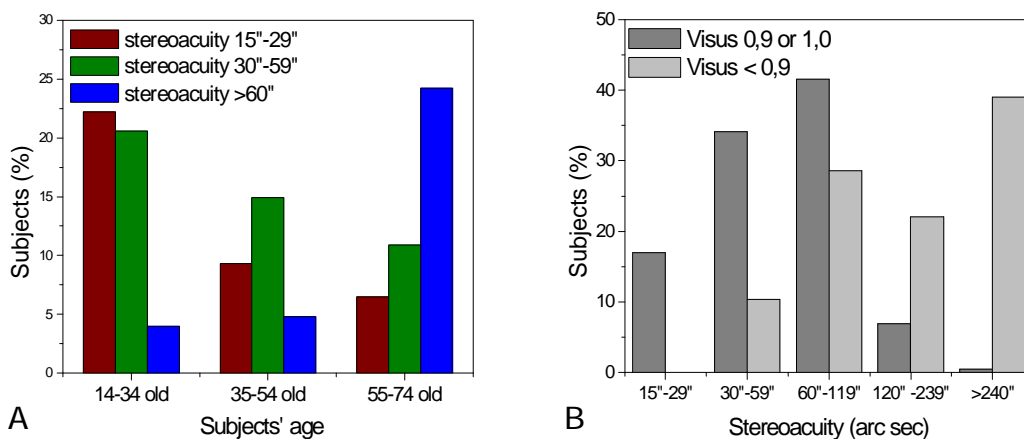
Stereoredzes sliksņa novērtēšanas klīniskajā pētījumā 223 subjekti ir iedalīti trijās vecuma grupās. Visiem redzes asums ir ne mazāks kā 0.9 (pēc decimālās sistēmas). Katram subjektam ir savs minimālais stereosliksnis, pie kura viņš spēj izšķirt dziļuma efektu un atšķirt attēla detaļas. Grafikā (skat. 6.9.A zīm.) redzam, ka pusmūža cilvēkiem stereoredzes sliksnis ir augstāks nekā jauniem subjektiem. Savukārt redzes asums 1.0, nebūt negarantē, ka subjektam būs ļoti zems stereosliksnis (skat. 6.9.B zīm.). No iegūtajiem datiem redzams, ka visbiežāk sastopamais stereosliksņa lielums ir robežās no 60 līdz 120 loka sekundēm.

Veicot pētījumu ar defokusācijas metodi 125 subjektiem, tika konstatēts, ka 50% gadījumu stereoredzes sliksnis pazeminās pēc eksperimenta, proti, eksperimenta procedūru var uzskatīt arī par stereoredzes treniņu (tā ilga aptuveni 20 minūtes). Šajā laikā subjekts iemācās koncentrēties un saskatīt apslēptā stereoattēla sīkās detaļas (piemēram, riņķī izgriezumu).

Iegūtie rezultāti par kontrasta un apmieglojuma ietekmi uz stereoredzes sliksņiem tika atļikti grafiski logaritmiskā skalā. Šādi tiek iegūtas sakarības, kuras var raksturot procesu ar lineāru funkciju, kurā koeficients  $k$  parāda efekta ietekmi uz stereosliksņa lielumu:

$$k = \frac{\Delta \log y}{\Delta x}, \quad [5]$$

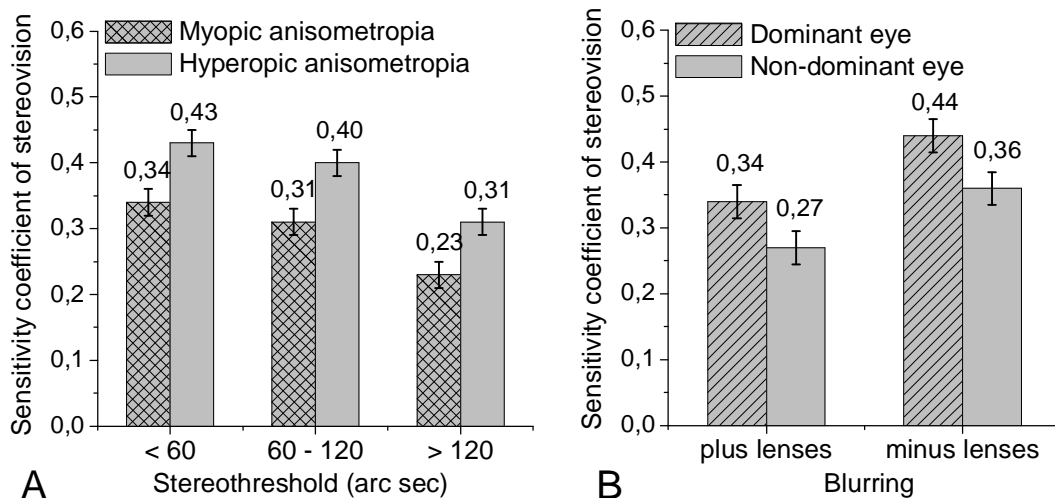
kur  $y$  – stereoslieksnis (loka sekundēs),  $x$  – parametrs, kas raksturo stimula apmiglojuma intensitāti vai kontrasta samazinājumu,  $k$  – koeficients. Parametru  $k$  var nosaukt par stereoredzes jutības koeficientu, kurš raksturo stereoredzes sliekšņa maiņas ātrumu atkarībā no kontrasta vai apmiglojuma intensitātes. Aprēķinot stereoredzes jutības koeficientu, var secināt, ka tas ir atkarīgs no subjektu vecuma, sākuma stereosliekšņa u.c. faktoriem.



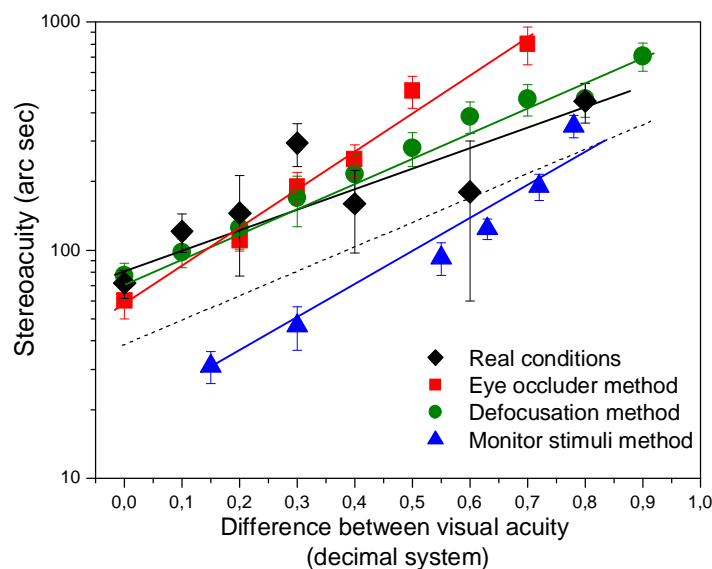
**6.9.zīm.** A – stereoredzes sliekšņa vērtības visiem subjektiem noteiktas ar TNO testu. B – stereoredzes sliekšnis 300 optikas pacientiem. Šie dati parāda, ka labs redzes asums abās acīs automātiski vēl nenozīmē arī labu stereoredzi. Viens no iespējamiem skaidrojumiem varētu būt netrenēta stereoredze, jo ikdienā nav nepieciešamība pēc tik labas stereoredzes.

Šis stereoredzes jutības koeficients ir atkarīgs no stereoredzes sākuma minimālā stereosliekšņa vērtības. Piemēram, ja subjektam sākuma stereoslieksnis ir 30 loka sekundes, tad koeficients būs lielāks nekā subjektam ar sākuma stereoslieksni 100 loka sekundes (skat. 6.10.A zīm.), proti, taisne, kas raksturo procesu, būs stāvāka. Ar šo koeficientu ir viegli aprakstīt stereoredzes sliekšņa izmaiņas arī citu faktoru ietekmē. Piemēram, analizēt to, kā apmiglojums vadošā acī izmaina stereoslieksni salīdzinot ar monokulāru apmiglojumu nevadošā acī. Izmantojot šos koeficientus var salīdzināt, cik daudz hipermetropa nekoriģēta anizotropija ietekmē stereoslieksni salīdzinot ar miopu nekoriģētu anizotropiju (skat. 6.10.B zīm.). Eksperimentā tika novērots, ka vadošās acs apmiglojums vairāk ietekmē stereoslieksni (proti, tas paaugstinās straujāk) nekā tāda pati apmiglojuma intensitāte nevadošai acij. Jo koeficients ir lielāks, jo stereoredzes sliekšnis paaugstinās straujāk. Atšķirība starp vadošās acs un nevadošās acs jutības koeficientiem ir statistiski nozīmīga ( $p < 0.05$ ).

6.11.zīmējumā dots kopsavilkums visām izmantotām metodēm stereosliekšņa lieluma novērtēšanai. No šī zīmējuma redzams, ka visaugstākais stereoslieksnis novērtēts ar acs aizsegu metodi, simulējot kataraktu (skat. 6.11.zīm. kvadrātu simbolus). Šajā grafikā vienojošais lielums ir redzes asuma atšķirības. No tā izriet, ka cilvēkiem ar kataraktu stereoslieksnis paaugstinās, kombinējoties apmiglojumam un samazinātam kontrastam. Savukārt defokusācijas metodē stereosliekšņa lielums mainās tikai apmiglojuma ietekmē. Līdz ar to no šīm divām līknēm var noteikt kontrasta ietekmes lielumu kataraktas gadījumā. Ja apskata monitora stimula metodē iegūtās stereosliekšņu vērtības dažādiem apmiglojumiem un ņem vērā, ka eksperimenta subjekti bija ar ļoti zemu stereoslieksni (ap 30 loka sekundēm), tad var novērot tendenci, ka šiem subjektiem stereoredzes sliekšnis paaugstinās straujāk nekā subjektiem, kuru sākuma vidējais stereoslieksnis ir ap 60-80 loka sekundēm, ko nosaka arī eksperimenta laikā aprēķinātie stereoredzes jutības koeficienti.



**6.10.zīm.** Stereoredzes jutības koeficients inducētas miopas un hipermetropas anizometropijas gadījumos. A – stereoredzes jutības koeficienta vērtības mainoties stereosliekšņa sākotnējai vērtībai un B – stereoredzes jutības koeficients monokulāram apmīglojumam vadošai un nevadošai acij. Ar pozitīvām lēcām tiek simulēta nekoriģēta miopa anizometropija, ar negatīvām lēcām – nekoriģēta anizometropija. Atšķirība starp vadošās acs un nevadošās acs jutības koeficientiem ir statistiski nozīmīga ( $p < 0,05$ )



**6.11.zīm.** Visu noteikto stereoredzes sliekšņu apkopojums. Ar rombiem apzīmēti stereosliekšņi subjektiem ar reālu pazeminātu redzes asumu vienā acī. Ar kvadrātiem – acs aizsega metodē iegūtie stereosliekšņi, kuri, salīdzinot ar pārējām metodēm, ir visaugstākie. Riņķi – defokusācijas metode ar optiskām lēcām, trīsstūri – rezultāti, kas iegūti ar monitora stimulu metodi. Ar raustīto līniju atzīmēti stereosliekšņi, ja TNO tests tiktu aizstāts ar melnbaltu stereotestu.

Salīdzinot mūsu eksperimenta noteiktās stereosliekšņa vērtības ar citu autoru iegūtajām vērtībām, jāņem vērā kontrasta sliekšņa atšķirības, kas noteiktas ar šķidro kristālu brillēm un gaismas filtriem (skat. 6.1.zīm), ja ir zināms, ka krāsas filtri ietekmē

stereoredzes sliekšņa vērtības un ka TNO testā stereosajūtu iegūst atdalot stimulus ar gaismas filtriem.

Šeit noteiktie kontrasta sliekšņi ar gaismas filtriem ir gandrīz divas reizes augstāki nekā ar šķidro kristālu brillēm. Līdz ar to iegūtās sliekšņu vērtības ar TNO testu ir lielākas nekā, ja tās meklētu ar līdzvērtīgu melni-baltu testu, novērtējot stereoredzes veidošanos nekoriģētas anizotropijas gadījumā (skat. 6.11.zīm. – raustītā līnija).

Līdz ar to visas metodes pie vienādiem nosacījumiem uzrādītu līdzīgus rezultātus, kas sakrīt arī ar reāli noteiktiem stereosliekšņiem subjektiem ar ambliopiju un/vai kataraktu. Papildus var atzīmēt, ka mūsu izstrādātā metode ar acs aizsegiem ir ļoti labi izmantojama kataraktas simulācijai un redzes funkciju pētīšanai.

## 7. Rezultātu analīze

Eksperimentu mērķis bija izpētīt stereoredzes sliekšņa lielumus, ja redzes sistēmu ierosina ar atšķirīgas kvalitātes stimuliem katrā acī un vienas acs stimula kvalitāti maina. Lai to realizētu, bija nepieciešams izpētīt arī dažādu metožu izmantošanas iespējas stereoredzes sliekšņa noteikšanai. Darbā izmantotās atšķirīgās stereoredzes sliekšņa noteikšanas metodes deva iespēju iegūt plašu informācijas lauku.

Stereoredzes asumu gan tās attīstības, gan dzīves laikā nelabvēlīgi var ietekmēt optiskie, motorie un sensorie faktori, kuru rezultātā tiek degradēta dziļuma uztvere. Optiskie faktori ir katarakta, ametropija un anizeikonija, kas rada ievērojamus stereoredzes traucējumus. Galvenais kritērijs šajos gadījumos ir redzes asums. Ja katarakta ir izveidojusies lēcas centrālajā daļā, tad strauji krītas redzes asums un izmainās arī stereoredze (*Scarpatteti* 1983; *Katsumi et al.* 1992; *Kwapiszewski et al.* 1996; *Sucker et al.* 2000). Starpība starp abu acu optiskajiem stīprumiem (anizotropija) var radīt anizeikoniju, kas var paaugstināt stereosliksni (*Lovasik & Szymkiw* 1985; *Jimenez et al.* 2002; *Holopigian et al.* 1986). Binokulārās redzes attīstību, tai skaitā arī stereoredzi, nosaka anizotropijas lielums. Ja anizotropija ir liela un netiek bērnam laicīgi uzlikta brilles, tad binokulārā redze var arī neattīstīties.

Ar defokusācijas metodi ir labi simulēt nekoriģētus anizotropijas apstākļus, ko nav iespējams radīt uz monitora ekrāna. Ļoti mazas optiskās atšķirības starp acīm var izsaukt anizo-akomodācijas darbību, kas minēta kā pozitīvs ieguldījums pie smalkās stereoredzes attīstības (*Marran & Schor* 1998), it sevišķi, ja aplūkojamais objekts atrodas tuvāk kā 40cm attālumā, un anizo-akomodācija ir izteiktāka (*Marran & Schor* 1999). Savukārt subjektam, skatoties ar vienu aci papildus cauri optiskai lēcai, mazliet rodas diskomforta sajūta, jo pēkšņi ir izveidojusies anizeikonija. Tā nav liela, šajos pētījumos lielākā sasniedz 7%, bet uz brīdi rada nepatīkas sajūtas. Šo sajūtu ļoti labi var novērst ar monitora stimula metodi, kur stimuliem ir vienāds lineārais izmērs, bet mainās tikai viena attēla apmieglojuma intensitāte vai kontrasts. Šajā metodē kā nepatīkams blakus efekts ir kadru nomaiņa, ko cilvēks ar aci neredz, bet neirālajos signālos tā ir, un ir subjekti, kuriem, ilgstoši skatoties caur šķidro kristālu brillēm tika novērots diskomforts. Līdz ar to eksperimenta laiks tika saīsināts, samazinot mērījumu skaitu, kas ienesa lielākas rezultātu izkliedes.

Ar acs aizsegu metodi var labi simulēt kataraktas situācijas un pētīt ne tikai stereoredzes veidošanos, bet arī citas redzes funkcijas. Vienīgi jāatceras, ka reālajā dzīvē kataraktas izpausmes var būt ļoti dažādas. Katarakta var būt arī ar apduļļojumiem perifērijā, kas neietekmēs centrālo redzes asumu un tātad stereoredzi. Turpretī, ja katarakta ir izveidojusies lēcas centrālajā daļā, tad strauji krītas redzes asums un izmainās arī stereoredze. Literatūrā ir minēti pētījumi, kuros ir salīdzināta stereoredzes kvalitāte pēc vienas acs ķirurģiskās kataraktas operācijas un parādīts, ka stereoredzes sliekšnis nepārsniedz 100 loka sekundes (*Scarpatteti* 1983; *Katsumi et al.* 1992). Lai gan tas ir atkarīgs, cik veiksmīga ir bijusi operācija un kādas lēcas tiek lietotas. Šajos pētījumos noteikts, ka izplatītākais stereosliksnis pēc operācijas ir 480 loka sekundes. Tātad, ja katarakta attīstās vienā acī un tās redzes asums samazinās līdz 0.5-0.1, tad tas ir kā indikācija, lai veiktu operāciju, lai gan labi redzošās acs redzes asums ir 1.0. Salīdzinot datus pirms un pēc operācijas, *Kwapiszewski et al.* (1996) un *Sucker et al.* (2000) konstatēja, ka stereoredzes asums uzlabojās lielākai daļai subjektu, kā arī noteica atkārtotu operāciju, ja pirmā nav bijusi veiksmīga (*Elliott et al.* 2000).

Larson (1988) izpētījis, ka TNO stereotestā izmantotie gaismas filtri ietekmē lokālo jeb rupjo stereoredzi. Ja gaismas filtri izmaina uz tīklenes nonākošās gaismas daudzumu, tad Lovasik & Szymkiw (1985) un Yap et al. (1994) secinājuši, ka tīklenes apgaismojums neizmaina stereoredzes sliekšni ne jauniem cilvēkiem, ne gados vecākiem.

Pēc literatūras (Hofstetter & Bertsch 1976; Coutant & Westheimer 1993; Brown et al. 1993) datiem ir zināms, ka stereoredze cilvēkiem vecumā no 8 līdz 50 gadiem tikpat kā nemainās, ap 20-25 gadiem tā ir sasniegusi savas jutības maksimumu, un pēc 50 gadiem stereoredze pasliktinās (Brown et al. 1993; Schneck et al. 2000). Vēl arvien nav zināmi iemesli, kāpēc ar gadiem pieaug stereoredzes sliekšnis, ja acs optiskās vides ir caurspīdīgas. Viens no skaidrojumiem varētu būt, ka stereoredzes asums pēc 50 gadu vecuma samazinās, tāpēc ka pasliktinās tīklenes attēla optiskā kvalitāte (Brunette et al. 2003). Dažāda veida optiskās aberācijas, kas ietekmē redzes asumu un kontrastjutību, novērojamas galvenokārt vecumā no 61 līdz 82 gadiem (Guirao et al. 1999; McLellan et al. 2001). Ir pētījumi, kuros ir novērtēts, ka pastāv nozīmīgas atšķirības kontrastjutībā jauniem un gados veciem cilvēkiem. Tas varētu būt viens no cēloņiem paaugstinātiem stereoredzes sliekšņiem subjektiem pēc 60 gadiem (Greene & Madden 1987; Schneck et al. 2000; Scialfa et al. 2002; Pardhan 2004). Stereoredzes pasliktināšanās pēc 60 gadiem var būt saistīta arī ar deģeneratīvām izmaiņām redzes vadītājceļos, smadzeņu redzes garozas substrātā, samazinoties šūnu daudzumam, kas nodrošina binokularitāti, un veido mazāku sinapšu skaitu ar citām šūnām (Marshall 1987).

Pētījumos stereoredzi novērtē ar dažādiem stereotestiem, un parasti tiek iegūti arī atšķirīgi tās raksturlielumi, taču kā pats labākais stereoslieksnis eksperimentāli ir noteikts robežās no 2 līdz 6 loka sekundēm pie ļoti labiem nosacījumiem (Westheimer & McKee 1978; Bach et al. 2001). Visizplatītākais stereosliekšņa lielums ir ap 120 loka sekundēm (97% cilvēku), bet 30 loka sekundes var sasniegt aptuveni 80% cilvēku. Veicot salīdzinošo datu analīzi svarīgi ir zināt, kuras metodes tiek izmantotas, jo parasti tās uzrāda atšķirīgus lielumus gan bērniem, gan pieaugušiem cilvēkiem (Lovasik & Szymkiw 1985; Goodwin & Romano 1985; Broadbent & Westall 1990; Hatch & Rickman 1994; Schmidt 1994; Ciner et al. 1996).

Stereoredzes sliekšnis ir atšķirīgs arī krustotās un nekrustotās disparitātes gadījumos, un tas ir labāks krustotās disparitātes gadījumos (Woo & Sillanpaa 1979; Landers & Cormack 1997), jo krustotā disparitāte attīstās ātrāk nekā nekrustotā (Birch & Gwiazda 1982). Pētījumos pierāda, ka 30% cilvēku var nebūt stereoredze pie vienas disparitātes, bet pie otras – var būt (Richards 1970, 1971). Šādos gadījumos ir svarīgi izmantot pareizos stereotestus (Larson 1990; Van Ee & Richards 2002; Van Ee 2003), taču visi klīniskie stereotesti tiek izmantoti pie krustotās disparitātes, un reti kad tiek pārbaudīta stereoredze arī pie nekrustotās disparitātes. Šos klīniskos testus var redzēt arī cilvēki ar nekrustoto disparitāti, kompensējot ar krustoto disparitāti, vienīgi nepieciešams ilgāks laiks. Cits skaidrojums – nekrustotās disparitātes gadījumos iegūst augstākus sliekšņus, jo ir grūtāk ieraugāmas attēla kontūras (Becker et al. 1999). Lam et al. (2002) atšķirības starp krustoto un nekrustoto disparitāti skaidro ar foriju ietekmi uz tām. Subjektiem ar ortoforiju ir vislabākais stereoasums, savukārt subjektiem ar eksoforiju labāka būs krustotā disparitāte nekā nekrustotā, savukārt subjektiem ar esoforiju nav vēl pietiekami izpētīts, kura disparitāte dominē (Lam et al. 2002). Pēc manām domām, liela nozīme ir bifoveālās fiksācijas stabilitātei un mehānismam, kas to nodrošina. Ja tīklenes korespondentie apgabali ir mazi, tad stereoskopiskās redzes kvalitāte arī būs zemāka.

Mūsu stereoredzes pētījumos subjektiem bija ilgstoši jāskatās stereotesti, lai noteiktu stereoredzes sliekšni. Gan acs akomodācija, gan acs kustību muskuļi piedalās telpiskās



uztveres veidošanā, ar ko ir skaidrojams acu nogurums, skatoties ilgstoši šos stereoattēlus (Fisher & Ciuffreda 1988; Koh & Charman 1998; Takeda et al. 1999). Savukārt ar gaismas krāsu filtriem subjekti izjūt vēl papildus binokulāro krāsu konkurenci (Boynton & Wisowaty 1984; Erkelens & Van Ee 2002; Van Lier & De Weert 2003), proti, brīžam attēls kļūst saskatāms vienā krāsā, tad otrā, kas var ietekmēt stereoredzes sliksni šajos krāsas kontrasta eksperimentos, jo subjektam ļoti jākoncentrējas. Savukārt salīdzinot testa rezultātus ar riņķa un kvadrāta stimulu, nav konstatētas atšķirības. Ir noskaidrots, ka ar šķidro kristālu brillēm var mazināt krāsu “pumpēšanās” efektu un iegūtie stereosliksņi ir zemāki.

Arī literatūrā (Livingstone & Hubel 1987; Simmons & Kingdom 1997, 1998, 2002) minēts, ka varētu eksistēt četri dažādi ceļi, kā stereoredze veidojas krāsu stimulu gadījumā. Viens skaidrojums – uzskata, ka kontrasts netiek iesaistīts stereoredzes mehānismā, otrs – krāsas kontrasts un spožums tiek lineāri summēti un tad veido stereosajūtu, trešais – krāsas kontrasts un spožums tiek nelineāri summēti, ceturtais – eksistē divi atšķirīgi ceļi, kuri analizē krāsas kontrastu un spožumu un iesaistās stereoredzes veidošanā. Tas arī varētu būt viens no cēloņiem lielajai rezultātu izkliedei krāsu stereotestu eksperimentos, kad subjektam ir grūtāk koncentrēties salīdzinot ar melni-baltu stereogrammu.

Eksperimentos ar šķidro kristālu brillēm samazinās arī stimula intensitātes zudumi. Atšķirības ir arī, kādus stimulus izvēlas un kādas atbildes tiek iegūtas. Ja subjektam jāizvēlas starp galējiem variantiem, vai viņš kaut ko redz vai nē, tad šajā gadījumā subjekts var kaut ko manīt un uzreiz nospieš klaviatūras pogu. Ja uzdevumu sarežģī, tad subjektam jānosaka attēla atrašanās attiecībā pret monitora plakni un arī jānosaka riņķa izgriezuma virziens, situācija ir sarežģītāka. Pēdējā gadījumā stereoredzes sliksnis tiek noteikts precīzāk.

Visiem subjektiem veicot krāsaino stereotestu bija nepatīkamas izjūtas, ko rada binokulārā konkurence, attēlu krāsa mainās – tad zila, tad sarkana. Līdz ar to šo eksperimentu subjekti parasti nespēja pildīt ilgāk par divdesmit minūtēm vienā reizē. Tai pat laikā, darbojoties ar melnbaltu stereotestu, grūtības viņiem neradās. Savukārt apskatot tīklenes anatomisko uzbūvi, ir zināms, ka krāsas uztver tikai vāļītes. Garo viļņu diapazona jutīgās vāļītes uztver impulsus, ja stimul ir redzamās gaismas sarkano viļņu diapazonā. Īso viļņu diapazona jutīgās vāļītes reaģēs tikai tad, ja stimul ir zilās gaismas viļņu diapazonā. Līdz ar to, skatoties krāsainos testus, darbosies divu veidu vāļītes. Zilās krāsas jutības vāļītes tīklenē ir mazāk (Roorda & Williams 1999), un tiek izvirzīta hipotēze, ka, skatoties krāsainos stereotestus, stimulu uztverē piedalās tikai daži disparātie lauki, kas rada stereosajūtu. Ja subjekts skatās melnbaltos stereotestus, tad šajā situācijā piedalās visu vāļīšu disparātie lauki, kas veido stereoredzi. Līdz ar to noteiktais kontrasta sliksnis ar melnbaltiem stimuliem samazinās vairāk nekā ar krāsainiem stimuliem. Kingdom & Simmons (1996) noteikuši, ka stereoredzes sliksnis ir augstāks hromatiskiem stimuliem (izoluminantem) salīdzinot ar izohromatiskiem stimuliem.

Ja stereoredzi novērtē ar krāsu testu, tad iegūtie stereosliksņi ir augstāki, proti, ir it kā sliktāki rezultāti. Tātad stereoskopisko krāsu testu vajadzētu retāk pielietot, bet ar šo testu ir iespējams noteikt stereoskopiskās redzes adaptāciju uz krāsām. Sarkanā un zaļā filtra maksimālā caurlaidība redzamajā gaismas spektrā atrodas ļoti tuvu. Interesanti būtu novērot stereoskopiskās redzes adaptāciju pie krāsām ar lielāku maksimālās gaismas spektrālās caurlaidības atšķirību.

Iegūtie un aprēķinātie dati konsekventi parāda, ka stereoskopiskās redzes kvalitāte mainās, ja maina vienas acs apmiglojumu vai kontrastu. Mūsu pētījuma galvenā būtība bija novērot stereopses izmaiņas lielumus bez cikloplēģijas (bez akomodācijas ierobežošanas),

proti, dabīgos apstākļos. Literatūrā minētie eksperimenti nereti veikti cikloplēģijas apstākļos, kad akomodācijas darbība ir pārtraukta. Optiskās virskorekcijas (Lovasik & Szymkiw 1985; Goodwin & Romano 1985; Schmidt 1994) ir veiktas ar binokulāru cikloplēģiju un tuvuma stereotestiem – Randot un Titmus, lai noskaidrotu, cik lielā mērā stereoslieksni ietekmē redzes asums un anizeikonija, kas rodas no briļļu lēcas korekcijas.

Lovasik & Szymkiw (1985), Lubkin et al. (1999) un Jimenez et al. (2002) ir izpētījuši mākslīgi radītas no 1.2% līdz 32.3% anizeikonijas (speciālus afokālos palielinātājus novietojot pirms vadošās acs) ietekmi uz stereoredzi. Viņi novērtējuši stereosliekšņa izmaiņu lielumu, pirms vadošās acs novietojot plus lēcas ar soli 0.5 D. Izmantoti Titmus un Randot testi. Stereoasums mērīts līdz brīdim, kamēr sākas monokulāra supresija, diplopija vai stereoasumu nav iespējams nomērīt ar testiem. Ja palielinās anizeikonijas lielums, tad samazinās stereoasums. Lovasik & Szymkiw (1985) apgalvo, ka 40 loka sekunžu stereoasums ir reāls pat pie 20% lielas anizeikonijas. Monokulāra plus lēcu anizotropija rada nestabilu akomodāciju, binokularitāti, tā konsekvēnti samazina stereoasumu. Lovasik & Szymkiw (1985) noteikuši, ka +1.50 D stipra lēca rada tādu pašu efektu uz stereoredzi kā 8% liela anizeikonija, bet +1.50 D lēcas palielinājums ir tikai 4%.

Radot mākslīgus anizotropijas apstākļus un nosakot redzes asumu un stereosliekšņa lielumu, atrodama sakarība starp šiem lielumiem. Taču reālā dzīvē ne vienmēr labs redzes asums atbilst zēmam stereoslieksnim. Normālam cilvēkam bez redzes pataloģijām ir samazināts stereoredzes asums (skat. 6.9.B zīm). Smadzenēm ir adaptēts mehānisms, ko dzīves pirmajos gados pielāgo noteiktiem apstākļiem. Līdz ar to cēlonis būtu meklējams stereoredzes attīstības periodā vai mēģināt stereoredzi šiem subjektiem trenēt un iegūt zemāku stereoslieksni.

Līdzīgu eksperimentu par anizotropijas ietekmi uz stereoredzi ir veikuši Lovasik & Szymkiw (1985), Goodwin & Romano (1985), Schmidt (1994) un Lam et al. (1996). Viņu galvenais mērķis bija izpētīt mākslīgi radītas ambliopijas ietekmi uz stereoredzi. Eksperimentā subjektiem tika veikta cikloplēģija un pēc pusstundas izpildīta redzes tuvuma korekcija, kur vienas acs redzes asums 20/20 un otras – 20/200. Acij, kurai redze sākumā bija 20/200, pakāpeniski redzes asums tiek uzlabots līdz 20/20 un noteikts zemākais stereoslieksnis. Otrs eksperiments tika veikts ar mākslīgi radītu binokulāro ambliopiju. Abu acu redzes asumi sākuma pozīcijā bija 20/200, un tie pakāpeniski tika uzlaboti līdz 20/20. Stereoasums noteikts ar Titmus testu. No optikas zināms, ka +4.00 D stipra lēca rada 11% lielu palielinājumu un +1.50 D stipra lēca rada 4% palielinājumu. Ja manā eksperimentā izmantotā stiprākā lēca bija 2.50 D, tad lēcu radītā lielākā anizeikonija ir aptuveni 7%. Pēc stereoskopiskās redzes jutības koeficienta var aprēķināt, ka stereoslieksnis palielinās aptuveni 2.5 līdz 3 reizes.

Goodwin & Romano (1985) min datus no reālās dzīves, kad cilvēkam ir monokulāra ambliopija, bet ir laba stereoskopiskā redze. Arī savā praksē esmu novērojusi gadījumus, kad vienas acs redzes asums ir pazemināts par trijām četrām redzes asuma līnijām, bet otrai acij ir labs redzes asums un stereoskopiskā redze ir laba. Savukārt 0.8% gadījumos no 793 optikas pacientiem bija labs redzes asums, binokulārā redze, bet tiem nebija stereoskopiskās redzes.

Donzis et al. (1983), Lovasik & Szymkiw (1985), Goodwin & Romano (1985) Schmidt (1994) un Lam et al. (1996) parāda relatīvās monokulārās apmīģošanas ietekmi uz stereoslieksni. Taču modeļos to domas dalās, un eksperimentālie dati atšķiras, jo ir dažādas pētīšanas metodes un sākuma nosacījumi, kā arī nav vienāds pētāmo grupu apjoms. Kvantitatīvos mērījumos Lovasik & Szymkiw (1985) noteikuši, ka stereoredzes sliekšņa izmaiņas lielumi 1.8 reizes straujāk paaugstinās, jo mērījumi izdarīti ar Titmus

testu, nevis ar *Randot* testu, ievērojot tādus pašus anizeikonijas un apmiglojuma nosacījumus. Tādējādi autori vēlas ieteikt lietot *Titmus* testu klīnikā, lai precīzāk diagnosticētu acu binokulārās redzes pataloģijas – mazas pakāpes anizeikoniju, refraktīvo ambliopiju un anizotropiju, kā pamatā ir izmaiņas abu acu tīkleņu attēlu lielumos. *Titmus* tests ir vieglāk uztverams un saprotams bērniem, tas jutīgāk reaģē uz binokularitātes traucējumiem.

Klīniskie testi atdala vienu aci no otras, un attēli abās acīs tiek uztverti nepārtraukti. Šādā situācijā acs, kura redz skaidru attēlu, parasti “ņem virsroku”. Miglainais attēls no slikti redzošās acs tiek supresēts (*Simpson 1991, Schmidt 1994*) un stereoredzes veidošanās procesā nemaz netiek iesaistīts. Līdz ar to veidojas situācija, ka no abām acīm nonākošie attēli smadzenēs netiek savienoti kopā un cilvēkam nerodas stereosajūta.

Mūsu eksperimentos ir radīti mākslīgi apstākļi, lai abi attēli – gan skaidrais, gan miglainais attēls – nonāk līdz smadzenēm un varbūt uzreiz netiek supresēti. Labās un kreisās acs stimuli tiek uz ekrāna demonstrēti pārmaiņus vienai un otrai acij. Šķidro kristālu brilles kalpo kā gaismas slēdzis sinhroni ar kadru maiņu, tādējādi panākot labās un kreisās acs stimulu atdalīšanu laikā.

Ar klīnikā izmantojamiem testiem ne vienmēr izdodas noteikt stereoredzi cilvēkiem ar ambliopiju vai tālu progresējušu kataraktu. Tāpat klīniskiem testiem ir atšķirīgs stereosliekšņa noteikšanas diapazons no 15-500 loka sekundēm. *Titmus* testā mušas attēls ir veidots apmēram ar 3000 loka sekunžu disparitāti, bet ar šo testu nav pārlicinoši iegūstami rezultāti par stereoredzes esamību, jo ir cilvēki, kuri pareizi neizprot šo testu. Parasti stereotesti tiek izmantoti ambliopijas, anizotropijas vai anizeikonijas noteikšanai, kas var nojaukt redzes binokulārās funkcijas, tai skaitā arī stereoredzi. Savukārt metodes, ar kurām varētu noteikt un atšķirt optiskos un neirālos uztveres graušanas cēloņus, vēl nav atrastas un izstrādātas. Pētnieki cenšas noteikt anizeikonijas kritērijus, kas grauj stereoredzi un samazina stereoasumu. Tiek meklētas sakarības starp monokulārām vai binokulārām ambliopijas pakāpēm un stereoredzes kvalitātes izmaiņām.

Eksperimenta laikā tika variēti apstākļi, apmiglojuma intensitāte lielāka bija labi redzošās acs stimulam, lai mēģinātu pārtraukt supresiju no ambliopās acs. Šīs metodes priekšrocība ir pārmaiņus stimula rādīšana gan vienai, gan otrai acij. Tas varētu stimulēt smadzenēs stereoredzes veidošanās neiroloģiskos mehānismus.

Iegūstot statistiski nozīmīgi atšķirīgus rezultātus pie miopas un hipermetropas anizotropijas, tiek secināts, ka stereoredzes attīstības laikā stereosliekšnis tiek vairāk ietekmēts hipermetropijas gadījumā. Viens no cēloņiem varētu būt tas, ka hipermetropijas gadījumā acij jāizsauc akomodācijas process, lai attēls būtu skaidrs uz tīklenes. Savukārt mazas pakāpes miopijas gadījumā viena acs redzēs skaidri tālumā, otra redzēs skaidri tuvumā. Šajā situācijā nav vispār jāizmanto akomodāciju. Mūsu smadzenes izvēlas mazāko piepūli, lai uz tīklenes veidotos skaidrs attēls.

*Rutstein & Corliss (1999)* konstatējuši, ka ambliopijas risks ir lielāks pie hipermetropas anizotropijas nekā pie miopas anizotropijas. Ja bērnam konstatēta starpība abu acu optiskiem stiprumiem ir +2.7D (hipermetropijas gadījumā) un -6.2D (miopijas gadījumā), tad gandrīz simtprocentīgi ir zināms, ka būs grūti nostabilizēt binokulārās funkcijas. Kā galveno faktoru viņi min skaidrā attēla veidošanos uz acs tīklenes un akomodācijas izmantošanu.

Cits skaidrojums šādiem gadījumiem varētu būt meklējams, analizējot optiskā attēla projekciju uz acs tīklenes. *Cheng et al. (2003)* izpētījuši dažādu aberāciju veidus un lielumus miopās, emetropās un hipermetropās acīs. Iegūtie rezultāti parāda, ka visu

aberāciju skaitliskais lielums ir vienāds pie augstas pakāpes miopijas (virs 6.00D) un hipermetropijas (līdz 3.00D). Savukārt apskatot iegūtos datus par vidējās modulācijas dziļumu optiskām lēcām (skat. konversijas 4.1.tabulu), nav redzamas lielas izmaiņas, kas varētu ietekmēt stereoslieksni. Galvenais stereoredzes veidošanās kritērijs tomēr ir attēla kvalitāte uz tīklenes un kā šis stimulš tiek aizvadīts pa redzes kanāliem līdz smadzenēm, kur to tālāk apstrādā un no tā veido vai neveido stereosajūtu.

Stereoredze ir pats augstākais līmenis binokulārās redzes hierarhijā. Stereosajūtas veidošanās notiek primārajā redzes garozā. Kā tas notiek, precīzi nezinām, jo tie ir minējumi, skaidrojumi, algoritmi, no kuriem zināmākie ir kooperatīvais disparitātes modelis, fāzu un enerģijas disparitātes modeļi (*Julesz 1974; Marr & Poggio 1976; Poggio & Poggio 1984; Ohzawa et al. 1997; Cumming & DeAngelis 2001; Grossberg & Howe 2003*), tāpēc, ka viss vēl nav atklāts un izpētīts. Kas tad var ietekmēt stereoredzi? Pirmkārt, tie ir visi faktori, kas grauj binokulārās redzes primāros līmeņus: no acs puses – anizotropija, anizeikonija, šķielēšana, iedzimtā katarakta un glaukoma, tīklenes pataloģijas. Visvairāk ir izpētītas binokulārās redzes funkcijas pie anizotropijas, šķielēšanas un ambliopijas gadījumos, kā galvenos cēloņus minot: redzes asumu, kontrastjutību, anomālo retinālo korespondenci, kura visbiežāk izveidojas šķielēšanas gadījumos (*Lovasik & Szymkiw 1985; Goodwin & Romano 1985; Holopigian et al. 1986; Stathacopoulos et al. 1993; Brooks et al. 1996; Rutstein & Corliss 1999; Lubkin et al. 1999; Lee & Isenberg 2003; Harwerth et al. 2003*). Otrkārt pašā stereoredzes sistēmā var būt izmaiņas, kuras tiek dēvētas par stereoanomāliju. Pie smalkās stereoredzes anomālijas ir paaugstināts statisku attēlu disparitātes izšķiršanas sliekšnis. Pamatojoties uz pētījumiem par stereopses neirālajiem mehānismiem, *Richards (1970, 1971)* izvirzīja hipotēzi, ka atšķirības starp rupjo un smalko stereopsi ir saistītas ar dažādu tipu dziļuma neironu darbību. Stereoaklums ir saistīts ar *tālo un tuvo* neironu darbības traucējumiem un, ja nefunkcionē viens no šo neironu veidiem, stereoaklums attiecīgi veidojas vai nu tikai pie krustotās, vai pie nekrustotās disparitātes. Savukārt smalkā stereoredze ir saistīta ar to neironu darbību, kuri reaģē uz nelielu vai nulles disparitāti, tāpēc šis stereopses veids var normāli darboties neatkarīgi no tā, kāda ir rupjās stereopses uztvere.

Ļoti bieži, pārbaudot binokulāro redzi, cilvēkiem ar pazeminātu vienas acs redzes asumu, tiek secināts, ka tiem nav stereoredzes, jo ar klīniskajiem stereotestiem tā netiek konstatēta. Pārbaudi veic ne ilgāk par 1-2 minūtēm, tas ir mazs laiks, lai pārlicinātos par stereoredzi ambliopijas gadījumos. Šķidro kristālu brillu izmantošanu pielieto bērnu redzes treniņos, kad tiek konstatēti binokulārās redzes traucējumi, lai to nostabilizētu vai attīstītu (*Bahn et al. 2001*). Ja treniņus un ambliopijas ārstēšanu sāk savlaicīgi, tad ir sagaidāmi pozitīvi rezultāti, savukārt ja nav veikti treniņi vai tie bijuši neveiksmīgi, tad redzes asums neizmainās un saglabājas visu mūžu nemainīgs.

Mana darba uzdevums bija izpētīt mākslīgi radītas anizotropijas ietekmi uz stereoredzes kvalitāti un novērtēt, vai pie augstas pakāpes anizotropijas ambliopijas ir iespējams iegūt rupjo stereoredzi, kā arī radīt apstākļus, kuri stimulētu stereoredzes veidošanos cilvēkam ar ambliopiju tad, ja tiem netika konstatēta stereoredze ar klīniskiem stereotestiem.

Iespējams, ka iegūtā stereoredze šiem subjektiem bija, bet klīniskos apstākļos stereoredzes novērtēšana noris ļoti ātri un viņi nevarēja redzēt stereoattēlus. Radot speciālu testu uz datora ekrāna, bija iespēja izveidot miglainu stimulu arī labi redzošai acij. Šādi smadzenēs nonāk divi apmigloti un vienāda izmēra attēli un iespējams, ka tie tika atpazīti kā līdzīgi. Ar šķidro kristālu brillēm ir iespējams kaut uz mirkli stimulēt arī ambliopo aci, proti, tā viena pati redz stimulu un šī informācija varētu nonākt līdz primārai redzes garozai,

tāpēc, ka nevajadzētu rasties pārtraukumam informācijas pārraidē. Šādi apstākļi varētu likt smadzenēm uztvert un savietot šos attēlus, lai izveidotu stereosajūtu. Pacientam ar ambliopiju ir vajadzīgs ilgāks laiks, lai “savaldītu” sensoro fūziju mehānismu stereoredzes procesā un galu galā varētu ieraudzīt stereoattēlu. Turpinot stereoattēlu skatīšanos pat pie lielām disparitātēm, subjektiem bija vajadzīgs ilgs adaptācijas laiks (vismaz 20-30 sekundes), kamēr ierauga stereoattēlu. Nekrustotās disparitātes gadījumā subjektiem stereoattēla ieraudzīšanai ir vajadzīgs vēl ilgāks laiks, un kā minēts arī literatūrā (*Birch & Gwiazda* 1982; *Landers & Cormack* 1997; *Lam et al.* 2002) krustotās disparitātes gadījumos ir iegūstams zemāks stereoslieksnis.

Pēc eksperimenta tika novērtēta stereoredze arī ar klīniskiem testiem un tā tika arī iegūta, bet pie nosacījumiem, ka stereotestu tur sākumā daudz tuvāk nekā tas ir paredzēts, līdz ar to mainās visi disparitātes lielumi un vajadzīgs bija ilgāks adaptācijas periods nekā tam velta laiku rutīnas redzes pārbaudes laikā.

Papildus pētījumā tika konstatēts, ka trim cilvēkiem ar ambliopiju stereoredze pēc treniņiem tika iegūta un stereoslieksnis pazeminās (stereoasums uzlabojas), ja labi redzošai acij priekšā pieliek krāsu filtru ar trīs reizes mazāku gaismas caurlaidību. Reālas ambliopijas gadījumā stereoredzes sliekšnis ir augstāks (stereoasums ir sliktāks), ja krāsu filtri ir ar vienādu gaismas caurlaidību.

Eksperimentā izveidotā metode palīdz subjektiem ar manifestu redzes asuma starpību starp abām acīm ieraudzīt izkļaidēto elementu stereogrammas. Stereosajūtu var radīt, padarot labi redzošās acs redzes stimulu vienādi miglainu ar stimulu slikti redzošajā acī, vai arī labi redzošajai acij priekšā pieliekot gaismas filtrus ar lielāku optisko blīvumu, tā “pielīdzinot” neirālos stimulus un izslēdzot supresiju slikti redzošajā acī. Izstrādātā metode stereoredzes stimulēšanai būtu izmantojama klīnikās, binokulārās redzes novērtēšanai un attīstīšanai bērniem, attiecīgi metodi adaptējot bērnu redzes uztverei.

Eksperimentāli noteikts, ka stereoredzi ir iespējams uztrenēt pat salīdzinoši īsā laika brīdī (20-30 minūtes, kamēr noris eksperiments), kā arī ar izstrādāto metodi ir iespējams iemācīt cilvēkiem ar pazeminātu vienas acs redzes asumu ieraudzīt stereoattēlus, vienīgais nosacījums – subjektam jābūt vismaz vājai binokulārai redzei.

Problēmas darbā radīja tas, ka daudzi subjekti ar šāda veida testiem saskārās pirmoreiz, tāpēc viņiem uzreiz neizdevās ieraudzīt stereoattēlu un bija grūtības ar testa būtības izpratni, kas varēja iespaidot eksperimenta rezultātus – paaugstināt stereoslieksni un palielināt rezultātu izkliedi. Negatīvs moments eksperimentā bija tā lielā laika ietilpība – 40 mērījumu sērija aizņēma aptuveni 20 minūtes, kuru laikā subjektam bija jākoncentrējas uz datora monitoru.

Par krāsu kontrasta testiem ir svarīgi piebilst, ka nepieciešams zināt katras metodes priekšrocības un trūkumi. Šajā gadījumā noteikts, ka, ar gaismas filtriem skatoties, kontrasta sliekšņi noteiktām stereodisparitātēm ir daudz augstāki nekā ar šķidro kristālu brillēm noteiktie kontrasta sliekšņi. Ja turpmāk pētīs stereoredzes veidošanos pie dažādu krāsu kontrasta izmaiņām, tad ir precīzi jānosaka katras krāsas luminoforu intensitāte un jālīdzsvaro ar otras krāsas intensitāti, lai smadzenes uztvertu līdzīgas intensitātes gaismas stimulus, taču paliek aktuāls jautājums par dažādu krāsu uztveri pie stereoredzes veidošanas.

Izmērītie sliekšņu lielumi katram subjektam bija individuāli. Dažiem subjektiem tie atšķīrās līdz pat trim reizēm viena eksperimenta ietvaros. Vairumam subjektu būtiski neatšķīrās rezultāti pie krustotās un nekrušotās disparitātes. Arī apskatot visu subjektu datus kopumā, nav būtisku atšķirību starp disparitātes veidiem, jo testā netika ieviests

skatīšanās limits, līdz ar to subjekts var kompensēt vienu disparitātes veidu ar otru disparitāti.

Ar izstrādātām metodēm var noteikt stereoredzes sliekšni ar divām dažādām psihofizikālām metodēm: pakāpeniskās tuvināšanās metodi un konstantā stimula metodi. Iegūtie krāsas kontrasta sliekšņi dažādām stereodisparitātēm atšķiras melnbaltā stereotesta gadījumā un zili-sarkanā testa gadījumā. Tas ir skaidrojams ar krāsu receptoru izvietojumu tīklenē un smadzenēs esošiem atsevišķiem krāsu un disparitātes ceļiem. Kā tad īsti notiek krāsu testa disparitātes uztveršana? Visticamāk, ka tas ir melnbaltais kontrasta kanāls, kurā krāsas tiek salīdzinātas melni-baltajā kontrasta līmenī.

Vēlētos atgādināt par TNO testa interesanto atklājumu, ko ir svarīgi zināt praksē. Ja tiek noteikts subjekta stereoslieksnis tuvumā, vajadzētu pamēģināt novietot monokulāri +0.50 D un pēc tam -0.50 D stipru virskorekciju un apskatīties, vai neizmainās stereoslieksņa lielums. Eksperimentā gaitā atklājās, ka aptuveni 50% gadījumu stereoslieksnis pazeminājās. Varbūt tas notiek tādēļ, ka aptuveni pusstundu tika skatīti stereoskopiskie attēli, un tas bija mazs treniņš, kas uzlaboja stereoredzes kvalitāti.

Noslēgumā varu secināt, ka trīs izstrādātās metodes var izmantot stereoredzes un binokulārās redzes pētījumos, laboratorijas apstākļos simulējot kataraktu, ambliopiju un nekoriģētu anizotropiju. No eksperimentāliem rezultātiem redzams, ka nekoriģētas hipermetropas anizotropijas gadījumā stereoredzes sliekšnis ir zemāks nekā nekoriģētas miopas anizotropijas gadījumā. Cilvēkiem pie nekoriģētas hipermetropas anizotropijas ir biežāk novērojama arī ambliopija nekā pie nekoriģētas miopas anizotropijas. Pētījumā tika novērota tendence, ka pie inducētas kataraktas un/vai ambliopijas stereoredzes sliekšnis paaugstinās straujāk, ja pasliktina redzes apstākļus vadošai acij.

## *Secinājumi*

- Darbā ir izveidotas un aprobētas metodes stereosliekšņa novērtēšanai gadījumos, kad vienas acs tīklenes attēla kvalitāte ir mākslīgi izmainīta:
  - ar defokusācijas metodi simulējot nekoriģētu anizotropiju vienlaicīgi ar mazas pakāpes anizeikoniju, anizo-akomodāciju un apmieglojumu;
  - lietojot acs aizsegi – PLZT un/vai PDLC plāksnītes, kas ļauj inducēt kontrolējamu gaismas izkliedi, lai izpētītu stereoredzi, kā arī citas redzes funkcijas mākslīgas kataraktas gadījumos, PLZT keramika un PDLC plāksnīte tika novērtētas kā labi viedie materiāli, kas veido optisko fantomu kataraktas simulēšanai;
  - tiešā stimula apmieglojuma uz datora monitora stereostimulus atdalot ar šķidrā kristāla brillēm, lai pētītu stereoredzi (izmantojot gan ahromatiskus, gan hromatiskus stimulus) inducētas ambliopijas un kataraktas gadījumos, izvairoties no anizotropijas izraisītām attēla lieluma izmaiņām uz acs tīklenes;
  - ir izstrādāta metodika, lai cilvēkus ar pazeminātu vienas acs redzes asumu apmācītu ieraudzīt stereoattēlus, kā arī stereoredzes sliekšņa uzlabošanas treniņiem;
  - izveidota konversijas tabula, kas atļauj novērtēt dažādu metožu veidotos stimulus.
- Eksperimentālie rezultāti parāda, ka stereoredzes sliekšņi inducētas nekoriģētas hipermetropas anizotropijas gadījumos ir augstāki salīdzinot ar stereosliekšņiem, kas noteikti inducētas miopas anizotropijas gadījumos. Tas pierāda, ka apmieglojums ir viens no galvenajiem faktoriem stereosliekšņa izmaiņām subjektiem ar reālu ambliopiju hipermetropas anizotropijas gadījumos.
- Parādīts, ka gadījumos, kad vienas acs vizuālā stimula kvalitāte tiek mākslīgi pazemināta, stereosliekšņa izmaiņas var aprakstīt ar lineāru sakarību  $k = \frac{\Delta \log y}{\Delta x}$ , kur  $y$  – stereoslieksnis (loka sekundēs),  $x$  – parametrs, kas raksturo stimula apmieglojuma pakāpi vai kontrasta samazinājumu,  $k$  – stereoredzes jutības koeficients (atkarīgs no subjektu vecuma, sākuma stereosliekšņa u.c. faktoriem).
- Eksperimentāli noteikts, ka stereoslieksnis subjektiem ar reālu ambliopiju vai kataraktu un redzes asuma atšķirībām starp abām acīm ir aptuveni tāds pats kā subjektiem inducētas ambliopijas un nekoriģētas anizotropijas gadījumos ar tādām pat redzes asuma atšķirībām starp labo un kreiso aci.
- Eksperimentā izveidotā metode palīdz subjektiem ar manifestu redzes asuma starpību starp abām acīm ieraudzīt izkliedēto elementu stereogrammas. Stereosajūtu var radīt, padarot labi redzošās acs redzes stimulu vienādi miglainu ar stimulu slikti redzošajā acī, vai arī labi redzošajai acij priekšā pieliekot gaismas filtrus ar lielāku optisko blīvumu, tā “pielīdzinot” neirālos stimulus un izslēdzot supresiju slikti redzošajā acī.
- Darbā tika konstatēts, ka 50% subjektu stereoslieksnis pazeminājās pēc ilgstoša eksperimenta un mazas monokulārās virskorekcijas.

## *Nobeigums un pateicības*

Stereoredze ir ļoti sarežģīts neiroloģisks process, kuru var ietekmēt gan dažādi ārēji, gan iekšēji faktori. Saprast vēl visu nav iespējams, jo cilvēka smadzenēm nemaz tik viegli nevar piekļūt. Studiju laikā man bija iespēja iegūt jaunas zināšanas par stereoredzes veidošanos un pats brīnišķīgākais mirklis bija, kad es beidzot arī varēju ieraudzīt sarežģītās izkliedēto elementu stereogrammas.

Nobeigumā gribu pateikties darba zinātniskiem vadītājiem profesoram Mārim Ozoliņam un profesoram Ivaram Lācim, kas palīdzēja ar padomiem gan publikāciju, gan promocijas darba kopsavilkuma tapšanā. Pateicoties vērtīgajām diskusijām ar darba vadītājiem, esmu ne tikai papildinājusi savas zināšanas redzes zinātnes jomā, bet arī optikā. Esmu ieraudzījusi zinātnisko pasauli plašākā skatījumā.

Vēlos pateikt lielu “paldies” savam vīram, kurš palīdzēja tikt galā ar jaunajām tehnoloģijām, kā arī saviem vecākiem par morālo atbalstu.

Tāpat vēlos pateikties studentēm Inārai Čipānei un Jeļenai Petrovai, kuras palīdzēja iegūt dažu eksperimentu datus; arī angļu valodas skolotājām Mārai Kreicbergai un Intai Augustānei par trešās svešvalodas mācīšanu un darbu tulkošanu.

Liels paldies visiem cilvēkiem par viņu atsaucību un pacietību, piedaloties stereoredzes eksperimentos.

*“Es ticu visam labajam un brīnumam, ko dzīve cilvēkiem dod. Ticot brīnumam un daloties ar labo, tu iegūsti spēku, kas tev palīdz dzīvot.”*

*Gunta Krūmiņa*



## *Izmantotā literatūra*

### **B**

Bach M., Schmitt C., Kromeier M., Kommerell G. "The Freiburg Stereoacuity Test: automatic measurement of stereo threshold." *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 239(8), pp.562-566 (2001).

Bahn Jieun, Choi Yong-Jin, Son Jung-Young, Kodratiev N.V., Elkhov V.A., Ovechkis Y.N., Chung Chan-sup. "A device for diagnosis and treatment of impairments on binocular vision and stereopsis." *Proc.SPIE "Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VIII"*, Edit. A.J. Woods, M.T. Bolas, J.O. Merritt, and S.A. Benton, 4297, pp.127-131 (2001).

Becker S., Bowd C., Shorter S., King K., Patterson R. "Occlusion contributes to temporal processing differences between crossed and uncrossed stereopsis in random-dot displays." *Vision Res*, 39(2), pp.331-339 (1999).

Birch E.E., Gwiazda J., Held R. "Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants." *Vision Res*, 22(5), pp.507-513 (1982).

Boynton R.M., Wisowaty J.J. "Selective color effects in dichoptic masking." *Vision Res*, 24(7), pp.667-675 (1984).

Broadbent H., Westall C. "An evaluation of techniques for measuring stereopsis in infants and young children." *Ophthalmic Physiol Opt*, 10(1), pp.3-7 (1990).

Brooks S.E., Johnson D., Fischer N. "Anisometropia and binocularity." *Ophthalmology*, 103(7), pp.1139-1143 (1996).

Brown B., Yap M.K., Fan W.C. "Decrease in stereoacuity in the seventh decade of life." *Ophthalmic Physiol Opt*, 13(2), pp.138-142 (1993).

Brunette I., Bueno J.M., Parent M., Hamam H., Simonet P. "Monochromatic aberrations as a function of age, from childhood to advanced age." *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 44(12), pp.5438-5446 (2003).

### **C**

Cheng X., Bradley A., Hong X., Thibos L.N. "Relationship between refractive error and monochromatic aberrations of the eye." *Optom Vis Sci*, 80(1), pp.43-49 (2003).

Ciner E.B., Schanel-Klitsch E., Herzberg C. "Stereoacuity development: 6 months to 5 years. A new tool for testing and screening." *Optom Vis Sci*, 73(1), pp.43-48 (1996).

Coutant B.E., Westheimer G. "Population distribution of stereoscopic ability." *Ophthalmic Physiol Opt*, 13(1), pp.3-7 (1993).

Cumming B.G., DeAngelis G.C. "The physiology of stereopsis." *Annu Rev Neurosci*, 24, pp.203-238 (2001).

### **D**

Donzis P.B., Rappazzo J.A., Burde R.M., Gordon M. "Effect of binocular variations of Snellen's visual acuity on Titmus stereoacuity." *Arch Ophthalmol*, 101(6), pp.930-932 (1983).

## E

Elliott D.B., Patla A.E., Furniss M., Adkin A. "Improvements in clinical and functional vision and quality of life after second eye cataract surgery." *Optom Vis Sci*, 77(1), pp.13-24 (2000).

Erkelens C.J., Van Ee R. "Multi-coloured stereograms unveil two binocular colour mechanisms in human vision." *Vision Res*, 42(9), pp.1103-1112 (2002).

## F

Fisher S.K., Ciuffreda K.J. "Accommodation and apparent distance." *Perception*, 17(5), pp.609-621 (1988).

## G

Goodwin R.T., Romano P.E. "Stereoacuity degradation by experimental and real monocular and binocular amblyopia." *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 26(7), pp.917-923 (1985).

Greene H.A., Madden D.J. "Adult age differences in visual acuity, stereopsis and contrast sensitivity." *Am J Optom Physiol Opt*, 64(10), pp.749-753 (1987).

Grossberg S., Howe P.D. "A laminar cortical model of stereopsis and three-dimensional surface perception." *Vision Res*, 43(7), pp.801-829 (2003).

Guirao A., Gonzalez C., Redondo M., Geraghty E., Norrby S., Artal P. "Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population" *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 40(1), pp.203-213 (1999).

## H

Harwerth R.S., Fredenburg P.M., Smith E.L. 3rd. "Temporal integration for stereoscopic vision." *Vision Res*, 43(5), pp.505-517 (2003).

Hatch S.W., Rickman J.E. "Stereopsis testing without polarized glasses: a comparison study on five new stereoacuity tests." *J Am Optom Assoc*, 65(9), pp.637-641 (1994).

Hofstetter H.W., Bertsch J.D. "Does stereopsis change with age?" *Am J Optom Physiol Opt*, 53(10), pp.664-667 (1976).

Holopigian K., Blake R., Greenwald M.J. "Selective losses in binocular vision in anisometropic amblyopes." *Vision Res*, 26(4), pp.621-630 (1986).

Hubel D.H., Wiesel T.N. "Brain mechanisms of vision." *Sci Am*, 241(3), pp.150-162 (1979).

Hubel D.H., Wiesel T.N. "Early exploration of the visual cortex. Review." *Neuron*, 20(3), pp.401-412 (1998).

## J

Jimenez J.R., Ponce A., Del Barco L.J., Diaz J.A., Perez-Ocon F. "Impact of induced aniseikonia on stereopsis with random-dot stereogram." *Optom Vis Sci*, 79(2), pp.121-125 (2002).

Julesz B. "Cooperative phenomena in binocular depth perception." *Am Sci*, 62(1), pp.32-43 (1974).

## K

Katsumi O., Miyajima H., Ogawa T., Hirose T. "Aniseikonia and stereoacuity in pseudophakic patients. Unilateral and bilateral cases." *Ophthalmology*, 99(8), pp.1270-1277 (1992).

Kingdom F.A.A., Simmons D.R. "Stereoacuity and colour contrast." *Vision Res*, 36(9), pp.1311-1319 (1996).

Koh L.H., Charman W.N. "Accommodation to perceived depth in stereotests." *Ophthalmic Physiol Opt*, 18(3), pp.279-284 (1998).

Kwapieszski B.R., Gallagher C.C., Holmes J.M. "Improved stereoacuity: an indication for unilateral cataract surgery." *J Cataract Refract Surg*, 22(4), pp.441-445 (1996).

## L

Lam A.K., Chau A.S., Lam W.Y., Leung G.Y., Man B.S. "Effect of naturally occurring visual acuity differences between two eyes in stereoacuity." *Ophthalmic Physiol Opt*, 16(3), pp.189-95 (1996).

Lam A.K., Tse P., Choy E., Chung M. "Crossed and uncrossed stereoacuity at distance and the effect from heterophoria." *Ophthalmic Physiol Opt*, 22(3), pp.189-193 (2002).

Landers D.D., Cormack L.K. "Asymmetries and errors in perception of depth from disparity suggest a multicomponent model of disparity processing." *Percept Psychophys*, 59(2), pp.219-231 (1997).

Larson W.L. "An investigation of the difference in stereoacuity between crossed and uncrossed disparities using Frisby and TNO tests." *Optom Vis Sci*, 67(3), pp.157-161 (1990).

Larson W.L. "Effect of TNO red-green glasses on local stereoacuity." *Am J Optom Physiol Opt*, 65(12), pp.946-50 (1988).

Lee S.Y., Isenberg S.J. "The relationship between stereopsis and visual acuity after occlusion therapy for amblyopia." *Ophthalmology*, 110(11), pp.2088-2092 (2003).

Livingstone M.S., Hubel D.H. "Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth." *J Neurosci*, 7(11), pp.3416-3468 (1987).

Lovasik J.V., Szymkiw M. "Effects of aniseikonia, anisometropia, accommodation, retinal illuminance, and pupil size on stereopsis." *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 26(5), pp.741-750 (1985).

Lubkin V., Kramer P., Meininger D., Shippman S., Bennett G., Visintainer P. "Aniseikonia in relation to strabismus, anisometropia and amblyopia." *Binocul Vis Strabismus Q*, 14(3), pp.203-207 (1999).

## M

Marr D., Poggio T. "Cooperative computation of stereo disparity." *Science*, 194(4262), pp.283-287 (1976).

Marran L., Schor C.M. "Lens induced aniso-accommodation." *Vision Res*, 38(22), pp.3601-3619 (1998).

Marran L., Schor C.M. "The effect of target proximity on the aniso-accommodative response." *Ophthalmic Physiol Opt*, 19(5), pp.376-92 (1999).

Marshall J. "The ageing retina: physiology or pathology." *Eye*, 1, pp.282-295 (1987).

McLellan J.S., Marcos S., Burns S.A. "Age-Related Changes in Monochromatic Wave Aberrations of the Human Eye." *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 42(6), pp.1390-1395 (2001).

## O

Ohzawa I., DeAngelis G.C., Freeman R.D. "The neural coding of stereoscopic depth." *Neuroreport*, 10;8(3), pp.3-12 (1997).

Ozolinsh M., Daae K.I., Bruenech D., Lacin I. "Time response of the vision binocularity by use of dynamic suppression of retinal images." In: "*International Conference on Biomedical Optics*" Eds. Qingming Luo, Britton Chance, Lihong V. Wang, Steven L. Jacques, *Proc.SPIE*, 3863, pp.214-218 (1999).

## P

Pardhan S. "Contrast sensitivity loss with aging: sampling efficiency and equivalent noise at different spatial frequencies." *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 21(2), pp.169-75 (2004).

Poggio G.F., Poggio T. "The analysis of stereopsis." *Annu Rev Neurosci*, 7, pp.379-412 (1984).

## R

Richards W. "Anomalous stereoscopic depth perception." *J Opt Soc Am*, 61(3), pp.410-414 (1971).

Richards W. "Stereopsis and stereoblindness." *Exp Brain Res*, 10(4), pp.380-388 (1970).

Rohaly A.M., Wilson H.R. "The effects of contrast on perceived depth and depth discrimination." *Vision Res*, 39(1), pp.9-18 (1999).

Roorda A., Williams D.R. "The arrangement of the three cone classes in the living human eye." *Nature*, 397, pp.520-522 (1999).

Rutstein R.P., Corliss D. "Relationship between anisometropia, amblyopia, and binocularity." *Optom Vis Sci*, 76(4), pp.229-233 (1999).

## S

Scarpattetti A. "Binocular vision after lens implantation." *Acta Ophthalmol*, 61(5), pp.844-850 (1983).

Schmidt P.P. "Sensitivity of random dot stereoacuity and snellen acuity to optical blur." *Optom Vis Sci*, 71(7), pp.466-471 (1994).

Schneck M.E., Haegerstrom-Portnoy G., Lott L.A., Brabyn J.A. "Ocular contributions to age-related loss in coarse stereopsis." *Optom Vis Sci*, 77(10), pp.531-536 (2000).

Scialfa C.T., Kline D.W., Wood P.K. "Structural modeling of contrast sensitivity in adulthood." *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 19(1), pp.158-65 (2002).

Simmons D.R., Kingdom F.A.A. "Interactions between chromatic- and luminance-contrast-sensitive stereopsis mechanisms." *Vision Res*, 42(12), pp.1535-1545 (2002).

Simmons D.R., Kingdom F.A.A. "On the binocular summation of chromatic contrast." *Vision Res*, 38(8), pp.1063-1071 (1998).

Simmons D.R., Kingdom F.A.A. "On the independence of chromatic and achromatic stereopsis mechanisms." *Vision Res*, 37(10), pp.1271-1280 (1997).

Simpson T. "The suppression effect of simulated anisometropia." *Ophthalmic Physiol Opt*, 11(4), pp.350-358 (1991).

Stathacopoulos R.A., Rosenbaum A.L., Zanoni D., Stager D.R., McCall L.C., Ziffer A.J., Everett M. "Distance stereoacuity. Assessing control in intermittent exotropia." *Ophthalmology*, 100(4), pp.495-500 (1993).

Sucker J., Zvizdic M., Vogten H. "Stereosehen vor und nach Kataraktextraktion mit Kunststofflinsenimplantation." *Ophthalmologe*, 97(10), pp.676-681 (2000).

## T

Takeda T., Hashimoto K., Hiruma N., Fukui Y. "Characteristics of accommodation toward apparent depth." *Vision Res*, 39(12), pp.2087-2097 (1999).

## V

Van Ee R. "Correlation between stereoanomaly and perceived depth when disparity and motion interact in binocular matching." *Perception*, 32(1), pp.67-84 (2003).

Van Ee R., Richards W. "A planar and a volumetric test for stereoanomaly." *Perception*, 31(1), pp.51-64 (2002).

Van Lier R., de Weert C.M. "Intra- and interocular colour-specific activation during dichoptic suppression." *Vision Res*, 43(10), pp.1111-1116 (2003).

## W

Westheimer G., McKee S.P. "Stereoscopic acuity for moving retinal images." *J Opt Soc Am*, 68(4), pp.450-455 (1978).

Wilcox L.M., Hess R.F. "When stereopsis does not improve with increasing contrast." *Vision Res*, 38(23), pp.3671-3679 (1998).

Woo GC, Sillanpaa V. "Absolute stereoscopic thresholds as measured by crossed and uncrossed disparities." *Am J Optom Physiol Opt*, 56(6), pp.350-355 (1979).

## Y

Yap M., Brown B., Clarke J. "Reduction in stereoacuity with age and reduced retinal illuminance." *Ophthalmic Physiol Opt*, 14(3), pp.298-301 (1994).

PI

# Stereovision studies by disbalanced images

Gunta Papelba\*, Inara Cipane, and Maris Ozolinsh

Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Riga, Latvia

## ABSTRACT

Studies are focused on design and appraisal of an objective test of the quality of stereovision depending on optical stimuli blurring and detecting of the stereovision threshold at various stimuli blur degree. The method is based on the principles of grayscale and color random dot stereotests<sup>1</sup> (B.Julesz 1974). Experiments may be divided with respect to the principle of demonstration: 1) the blur is modeled by defocusing an optical lens – the strength of the optical system is varied at a constant quality of the stimulus, or 2) the blur is simulated on the computer screen – here the quality of the stimulus varies. To obtain an independent description and to measure blurring the experimentally demonstrated images are analyzed with regard to modulation depth, Fourier frequencies and by cross-correlation.

**Keywords:** stereovision, random dot stereo test, blur, stereovision threshold, modulation depth, Fourier filtering, cross-correlation.

## 1. INTRODUCTION

Stereovision is a functional part of vision that provides a more comprehensive representation of the surrounding reality. Stereovision is founded on a complicated mechanism of psychomotoric function. Depending on location the image is being formed, a distinction is made between the fine and the coarse stereovision.

The eyes are strongly interrelated. They compare and exchange information to complete the task impossible for a single eye – measuring of the relative distance to an object. The system of vision is capable of combining the two slightly different images of a three-dimensional object forming in each eye. That is stereovision – the ability to assess the relative distance to an object by means of binocular vision exclusively. It is possible due to and dependent on, a very small disparity, if there is a small displacement between images of the object on the retinas in both eyes.

Stereovision is sensitive to the set of spatial frequencies of the stimulus. The blur obscuring stimuli can be simulated by means of positive lenses or light scattering media. The blurring produced by lenses reduces (diminishes the energy of) the higher spatial frequencies of the image and changes its size. Usually the higher spatial frequencies are more important for perception of three-dimensional objects<sup>2,3</sup>.

As in the case of a reduced contrast, the stereo threshold is more disturbed by monocular rather than binocular blurring. Compared with contact lenses, blurring caused by conventional glasses created a stronger disturbance of stereovision<sup>4</sup>. Light scattering media reduces the contrast without affecting the size of the image. They change the distribution of spatial frequencies but the analysis of that is complicated by other factor<sup>3</sup>.

Since stereovision is based on binocular information, its quality is essentially affected by the difference between the images emerging in each eye. Images of different quality on the retina may arise because of uncorrected anisometropia, cataract, amblyopia, and damage of the optical system of the eye. The situations are modeled and studied by static blurring produced by light filters, light scatters, and hypercorrection suppressing reaction of accommodation in the healthy eye<sup>5-7</sup>.

---

\* [papelba@tiger.cfi.lu.lv](mailto:papelba@tiger.cfi.lu.lv); fax 00371 7260796; Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Kengaraga str 8., LV-1063, Riga, LATVIA

Stereovision measurements are important in screening and diagnostics of different anomalies of binocular vision; tests are assigned as one of the screening procedures to detect amblyopia, anisometropia, or aniseikonia. The number of modern professions that require normal stereovision is growing.

The objective of the present studies is to develop a method for assessment of stereovision that examines the effects of monocular stereoimage quality on stereovision. The tasks have been:

- To design computer-controlled stereo tests where a blur image is seen by one eye while a clear and sharp one – by the other. Blurring of one stimulus is simulated on the computer screen.
- To perform measurements for computer simulated blurred stereostimuli (*method 1*) and for standard TNO stereo tests with a monocular blur produced by a positive lens (*method 2*) that examines the relationship between the stereovision acuity and the blurring of the monocular image that still does not upset the stereovision and to compare both techniques.
- To find an independent way to assess the quality of stereo stimuli that measures and analyzes stereovision.

## 2. METHOD 1

A random dot stereopair was displayed on the monitor screen (Fig. 1). Each image of the pair was a square with a smaller square in its center. The latter, imperceptible at monocular observation, appeared as a three-dimensional object out of the plane of reference at superposition of the images. The top image was constant during the experiment – it was clear with black and white random dots, the smallest of which was 1 pixel. The bottom image varied from blurred to clear. The program performed 40 series of measurements and the central square in a series was randomly shifted to right or left by 1 to 4 pixels. Within one series each blur image was displayed for 1 sec. The size of the square stereo pairs was  $7\pm 0.1$  cm. The size of central squares was  $3.5\pm 0.1$  cm.

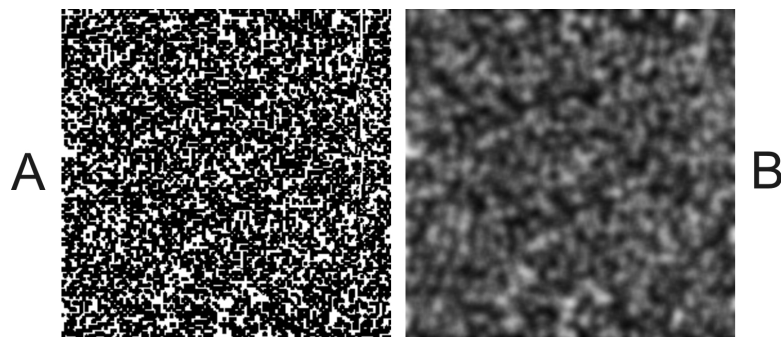


Figure 1: The stimuli of stereotest. A – one eye had sharp image, B – the second eye had a successive approximation image from sharp to blur and vice versa.

The blur images of the stereopairs were produced by *Corel Photo Paint* blur effect using Gaussian filter. The radii of blur effect in one series varied 0.1 to 5 pixels by steps of 0.1 pixel.

The stereopair images were merged by use of liquid crystal goggles<sup>8</sup>. A special adapter was used doubling the frame frequency. Thus the upper part of the frame (blurred stimulus) was displayed as whole even frames for one eye, and bottom part of the initial frame – as uneven frames displayed for other eye. The frame frequency was doubled from 60 to 120 Hz. The blur threshold at which the stereosensation appeared was experimentally determined for one eye at different stereo disparities under the condition that the other eye saw a constant image of high contrast. The program fixed the number of the relevant blurring image (the radius of the blur effect).

## 3. METHOD 2

In the other part of the experiment the stereo threshold was assessed by the standard near TNO stereo test assigned for the distance of 40 cm. It was also based on the random dot principle, in combination with the anaglyph method. The



TNO test plates contained small red and green elements as in Method 1. Red and green filters were placed in front of the eyes providing far correction for a young subject or near correction in case of presbyopia. In case of binocularity (the subject used both eyes simultaneously) a spatial image appeared – a circle in which a sector is cut out, thus stereoacuity threshold is determined.

After that refraction of the right eye was changed by a  $-2.50 D$  or  $+2.50 D$  lens and the stereovision threshold detected by starting demonstration from images with greater disparity. Further the strength of the lens was decreased by  $0.50 D$ , and the last visible stereoscopic image was fixed at each step. After returning to the original setting (no additional lenses), stereovision was tested again to see if the subject discriminates images at the same level as in the beginning. The same procedure was repeated for the left eye.

#### 4. ASSESSMENT OF THE IMAGE QUALITY

In the computer experiment the stereo threshold was fixed in terms (for combination) of the blurring radius in pixels and the disparity (disparity is a partial dissociation of two eyes). In the TNO test the value of minimum resolvable stereoangle was determined.

One way to compare blur was using a CCD camera ( $f = 18\text{mm}$ ) as an eye model to take blurred and clear computer simulated random dot pictures (the latter besides are additionally defocused using corresponding positive lenses taking pictures). Depicted images were a subject of Fourier analyses.

To specify the degree of blurring it was necessary to find a measure independent of the way the stereo image is obtained. The measure would describe the stereo stimulus and qualify the stereovision itself if images are used as stereostimuli. Each image of the stereopair might be analyzed separately using:

- the average modulation amplitude,
- frequency analysis of stimuli Fourier images,
- cross-correlation.

We have used the average modulation amplitude in the following way. One pixel wide line (in the center of the square) of the blur images was selected to draw the RGB values (Fig. 2).

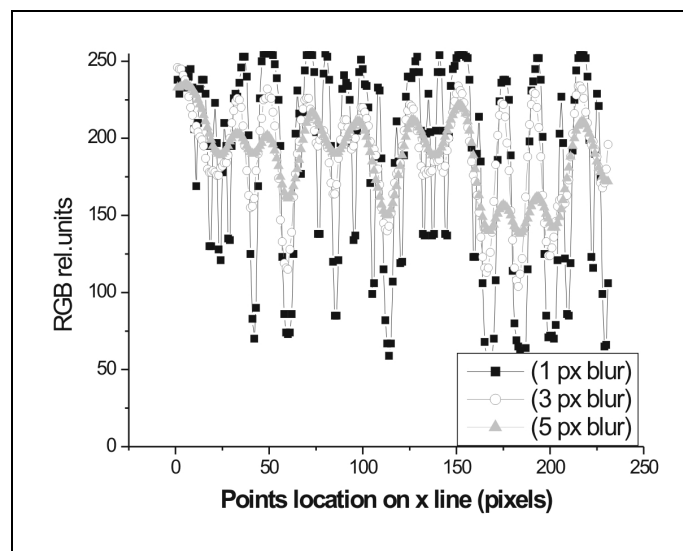


Figure 2: One version of the stimuli quality analysis. We have determined the modulation depth, which is an objective parameter that characterizes degree of blurring. Figure shows modulation depth for one pixel row.

For each dip on the obtained graphs the modulation depth (MD):

$$MD = \frac{I_{MIN} \times 100}{I_{MAX}} \quad (1),$$

and the average value characterizing the given image was calculated (Fig. 3).

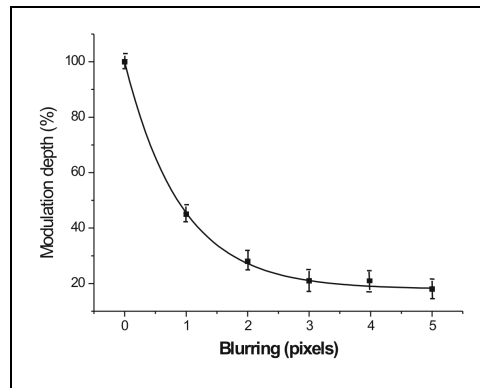


Figure 3: The average value of modulation depth for one pixel row.

Since the human vision system is more sensitive to variation of higher frequencies<sup>5</sup>, it is reasonable to analyze changes of only the higher frequencies in the blur images.

The profiles representing functions of frequency distribution with respect to the spatial frequency (proportional to number of oscillations per pixel) obtained from 1 pixel wide lines in centers of Fourier patterns of the stereo images are shown in Fig. 4.

The curve corresponding to a clear image has a gentle slope – a contribution of higher spatial frequencies as compared with spatial zero frequency at the center is higher. The integral:

$$\int_0^{n_0 x} I \cdot \partial V_x = K_F (V_{0x}) \quad (2),$$

where  $I$  is the maximum of the frequency distribution and  $V_{ox}$  – an arbitrary frequency, may be considered as a parameter specific to the image characteristics (pixel size of clear image, and eventually disparity if used for stereostimuli). If a small enough  $V_{ox}$  is chosen, then the more blurred the image, the bigger the corresponding integral (Fig. 4. B).

Cross-correlation were made to compare two images and to find the degree of similarity by looking for similar regions in both images (Fig. 5). The experimentally obtained relationships were as expected – within the examined disparity interval dependence of the blurring threshold of a monocular image on the degree of stereovision could be described by a linear function.

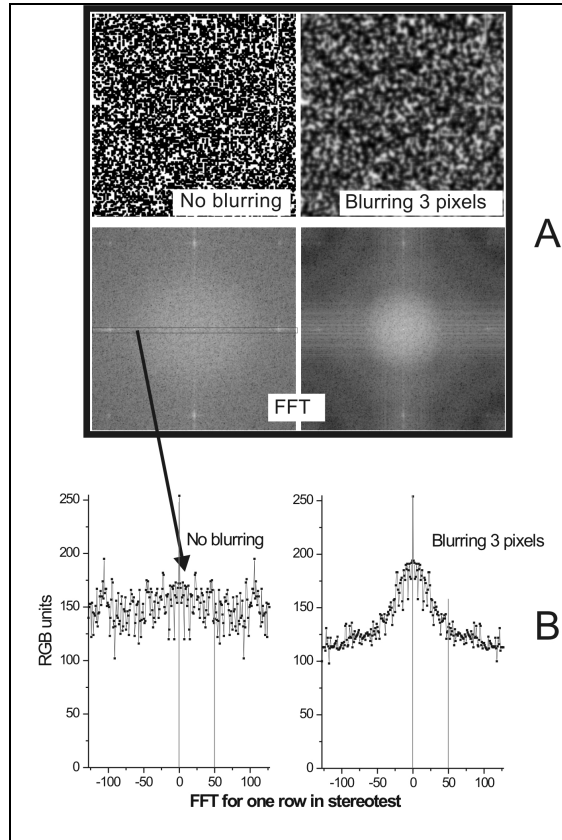


Figure 4: The blurred image quality can be analyzed with FFT. In figure A – the upper images are real stimuli, while in the bottom images – stimuli is analyzed with FFT. The corresponding profiles of FFT central part (1 pixel horizontal row) are shown in Figure B. The decrease of the integration's area at high frequencies are used as an objective parameter.

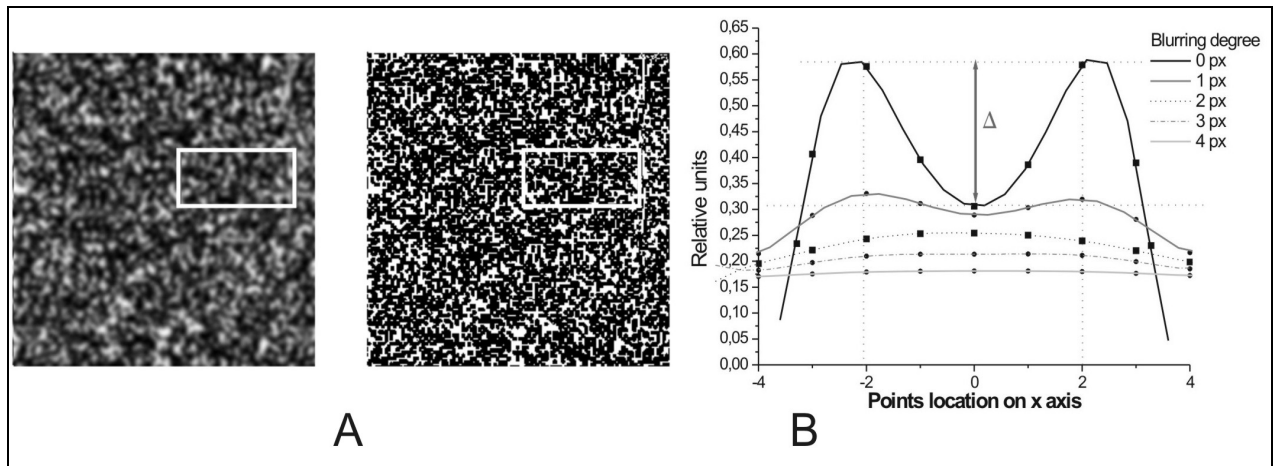


Figure 5: The figure shows cross-correlation results of stimuli. One stimulus is blurred with Gaussian distribution (A – left image). Such processing would be similar to neural signal processing in the human brain. B – the stereimage can be perceived at positive and close-to-zero values of DELTA.

Cross-correlation is one more method of image analysis. The mechanism by which the images are compared and stereovision forms in the brain may be very similar. In this case a good image of zero displacement should be compared with a good image, the central figure of which is displaced by one to four pixels. After that a good image should be compared with the blurred image.

## 5. SUBJECTS

In the computerized experiment a 15 inch monitor was used to appraise the method on 11 subjects, ages 21-23. All of the subjects had a good visual acuity: monocular *Visus* = 1.0 – 1.2 in far and in near. Eight subjects were emmetrops, three had myopia and astigmatism (they employed their individual corrections during the experiment). Stereoacuity of the subjects tested by the standard *Titmus* test were within the limits 40-60", the pupil distance – from 57 to 68 mm.

100 subjects were examined using method 2: TNO stereotest inducing monocular blur with positive lenses and negative lenses (Fig. 6). Complete near and far distance corrections were determined and functions of binocular vision estimated. If necessary, the corrections in near were made to provide binocular vision acuity at least a 0.9 or 1.0 the distance of 40 cm.

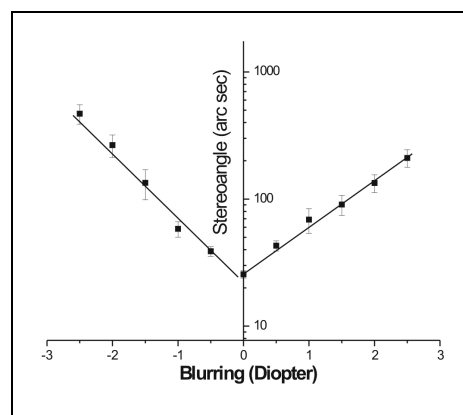


Figure 6: Subjects' stereoacuity threshold. The Stereocangle was measured with constant stimuli methods and standard TNO test.

The selected subjects had neither eye traumas, nor serious eye diseases, nor amblyopia. The measurements were made at artificial illumination of 200 – 400 lx. It has been reported<sup>9</sup> that such oscillations of illumination do not affect stereovision.

## 6. RESULTS

The magnitude of stereovision  $\omega$  in radians was calculated from the formula:

$$w = \frac{PD \times \Delta l}{l^2}, \text{ and } \Delta l = \frac{l \times y_p}{PD \pm y_p} \quad (3)$$

where  $\omega$  is the stereoangle (rad),  $y_p$  - the stereoparallax or displacement of images (or disparity) (m),  $l$  – the distance of the fixed point to eyes (m),  $PD$  – the pupil distance (m).

In most studies of effects of monocular contrast on stereovision relation between the magnitudes is described by a power function  $y = a \times x^b$  and data are analyzed in the logarithmic scale (Fig. 7).

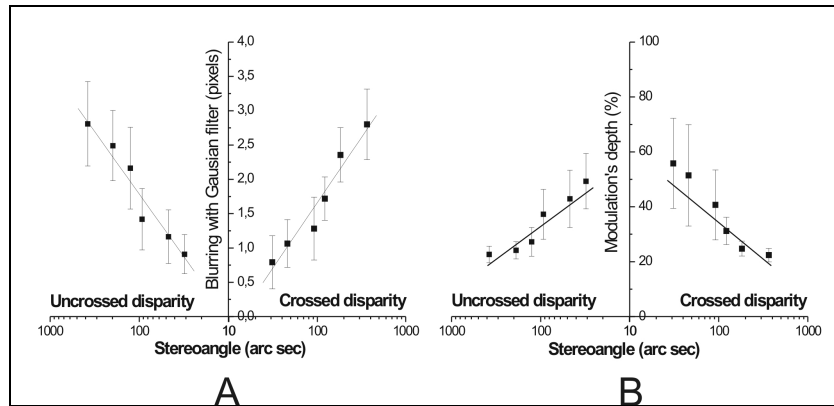


Figure 7: Blurring effect of one eye stimuli on stereoacuity. A - blurring was measured in pixels. B - modulation's depth of blurring, blurring effect was made with Gaussian filter.

Since the present experiments refer to a rather narrow disparity interval, relation between stereovision and blurring of the image was assumed to be linear and analyzed in linear co-ordinates, the same relation correlated equally well with a linear function in linear co-ordinates and with a power function in logarithmic co-ordinates. The average values of the blur threshold of monocular image for all the subjects at each of the considered disparities are shown in Fig. 7.

## 7. CONCLUSIONS

The described computer-controlled method allows measuring the minimum resolvable stereoangle and its change with the intensity of blurring while the blur effect can be simulated on the computer screen. Within a narrow disparity interval the effect of blur (the average modulation depth, Fourier frequencies or image cross-correlation) on stereovision may be described by a linear function.

## REFERENCES

1. B. Julesz, "Cooperative phenomena in binocular depth perception," *Am. Sci.* **62**, pp. 32-43, 1974.
2. D. L. Halpern and R. R. Blake, "How contrast affects stereoacuity," *Perception* **17**, pp. 483-495, 1988.
3. L. M. Wilcox, J. H. Elder, and R. F. Hess, "The effect of blur and size on monocular and stereoscopic localization," *Vision Res.* **40**, pp. 3575-3584, 2000.
4. P. P. Schmidt, "Sensitivity of random dot stereoacuity and Snellen acuity to optical blur," *Optom. Vis. Sci.* **71**, pp. 466-471, 1994.
5. G. Papelba and M. Ozolinsh, "Blurring effect to stereoscopic vision," 99.Tagung der Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, Berlin, report, 2001.
6. H. Oguz and V. Oguz, "The effects of experimentally induced anisometropia on stereopsis," *J. Pediatr. Ophthalmol. Strabismus* **37**, pp. 214-218, 2000.
7. W. L. Larson and M. Bolduc, "Effect of induced blur on visual acuity and stereoacuity," *Optom. Vis. Sci.* **68**, pp. 294-298, 1991.
1. Ji-eun Bahn, Yong-jin Choi, Jung-young Son, N. Kondratiev, V. Elkhov, Yu. N. Ovechkis, and Chan-sup Chung, "A device for diagnosis and treatment of impairments on binocular vision and stereopsis," *Proc.SPIE "Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VIII"*, Edit. A.J. Woods, M.T. Bolas, J.O. Merritt, and S.A. Benton, **4297**, pp.127-131, 2001.
8. J. V. Lovasik and M. Szymkiw, "Effects of aniseikonia, anisometropia, accommodation, retinal illuminance, and pupil size on stereopsis," *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* **26**, pp. 741-750, 1985.



# Stereoacuity determination at changing contrast of colored stereostimuli

Gunta Papelba<sup>\*</sup>, Maris Ozolinsh, Jelena Petrova, and Inara Cipane  
Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Riga, Latvia

## ABSTRACT

Studies are focused on design and appraisal of an objective test for assessment of the stereovision quality in unfavorable conditions. Stereostimuli of different colors are used while the contrast of one of the stimulus being varied. Tests are based on principles of black-and-white and two primary color random dot stereotests<sup>1</sup> (B.Julesz 1974). Experiments are divided by the method of stimuli display and separation: 1) stereoeffect is obtained haploscopically – by use of spectacles with color filters (blue and red) or prisms, 2) stimuli separation is obtained by liquid crystal shutters when both eye stimuli are demonstrated with a different delay. The stereovision threshold is determined at different stimuli disparities simulating the random dot stereotests on a computer monitor with a variable contrast of one-color stimuli. The applied tests differ by stimuli geometry, separation of vision channels, and by data processing. Tests have been appraised and may be used in stereovision studies.

**Keywords:** stereovision, random dot stereotest, color stereotest, color contrast threshold, stereoacuity.

## 1. INTRODUCTION

Stereovision is a functional part of vision providing a more comprehensive representation of the surrounding reality. Stereovision is founded on a complicated mechanism of the psychophysiological function. Depending on image location on retina distinction is made between the fine and the coarse stereovision<sup>2</sup>.

That is hard to imagine a colorless everyday life. Colors mean enjoyment and are signs of attention, enrichment and apprehension of life. Perception of colors is provided by three types of photoreceptors, which makes one to suppose that processing of color information should be complicated to provide the ability of discriminating more colors and tints.

Stereovision and color perception are important constituents of visual conception inseparable from life. Eyes are strongly interrelated. They compare and exchange information to complete the task impossible for a single eye – measuring of the relative distance between objects. The visual system is capable of combining two slightly different images of a three-dimensional object forming in each eye. That is stereovision – the ability to assess the relative distance to an object by means of binocular vision exclusively. That is possible due to and is dependent on a very small disparity if there is a small displacement between corresponding parts of the object images on retinas in both eyes.

Measurements of stereovision are important in a number of diagnostic anomalies of binocular vision to detect amblyopia, anisometropia or aniseikonia.

Progressing cataract changes the eye optical and transparent media deteriorating contrast vision. At the same time cataract either in the dominant or non-dominant eye has an effect on the individual's perception of surroundings and his/her feeling of comfort. Most often feeling of discomfort accompanies the development of cataract in the dominant eye. It is not clear, however, if the dissatisfaction is related to the loss of visual acuity or to destruction of the function of binocular vision as well.

---

<sup>\*</sup> [papelba@tiger.cfi.lu.lv](mailto:papelba@tiger.cfi.lu.lv); fax 00371 7260796; Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Kengaraga str 8., LV-1063, Riga, LATVIA

Since stereovision is founded on binocularly obtained information the quality of stereovision may be essentially affected if unequal images are formed in the eyes. Formation of different images on retinas may be caused by anisometropia (aniseikonia), cataract, amblyopia, etc. It is possible to model and to study these situations by static mist, light filters, light scatterers, and by hypercorrection to suppress reaction of the retina. In a case of cataract the major loss of the image quality is a decrease of its contrast. The present study has concentrated on the development of a method for assessment of the change of stereovision acuity, if the contrast of one eye stimulus is varied – in a case of isochromatic (grayscale in our study) stimuli and in a case the stereosensation is obtained by stimuli of two different colors for the right and left eye, correspondingly.

## 2. METHOD AND STIMULI

For such studies it is necessary to perform the following tasks.

1. To realize the separation of vision channels – using spectacles with colored (red and blue for our case) filters or liquid crystal shutters synchronized with stimuli displaying on a computer screen.
2. To determine a spectrum of radiation of the PC monitor screen phosphors and transmission spectra of light filters used in the experiment.
3. To evaluate the screen luminance as a function of the RGB videosignal and to perform  $\gamma$ -correction.
4. To provide a software for projection of two colors (black-white and blue-red) random dot stereostimuli on the monitor screen to assess psychophysically the stereovision threshold at variation of the stimuli contrast by:
  - a) successive approximations,
  - b) method of constant stimulus.

The diagram of stereovision studies to determine effects of different factors on the stereovision contrast threshold is shown in Fig. 1. Part of these experiments have been accomplished while appraising the methods, the rest (showed by dashed lines) are in progress.

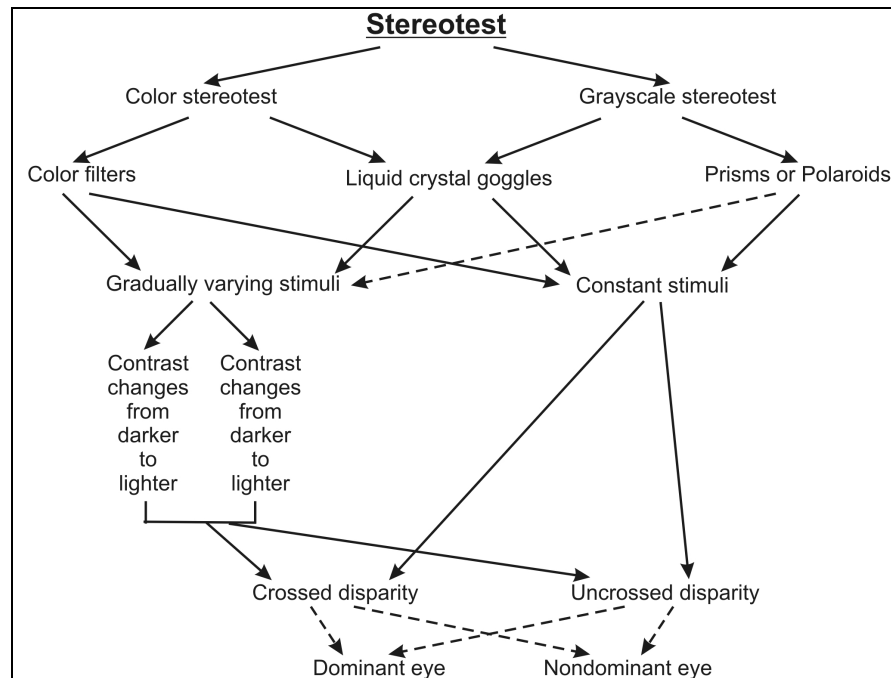


Figure 1: Scheme of studies (realized experiments marked with solid lines, experiments in progress with dashed lines).



We used *Visual Basic* software to simulate the random dot stereopair stimuli. Basically they represent either a circle or a square comprising black and white or blue and red random dots. In the central part of the stimuli a smaller circle (a segment of which is cut out) or a square is contoured. The contoured area also is hidden by random dots, however in one eye stimulus the marked out region is displaced to the right or to the left by a small distance – the stereoscopic parallax (Fig. 2). If an individual has developed stereovision he can see a three-dimensional object at the stimulus center after two non-identical figures are fused in his brain.

The contoured figure – the area of random dots at the center creating the stereosensation is shifted by one or more pixels aside. In this case both stimuli images are not identical, and the small difference between them is perceived in the brain. To the observer the figure shifted aside seems out of the monitor screen plane – to be pulled forward or pushed backward. The central figure of the image being shifted by one to five pixels to the left or to the right provides the stereopair with five crossed or uncrossed disparities. The corresponding stimuli stereoangle  $\omega$  is calculated from equation (1):

$$w = \frac{PD \times \Delta l}{l^2}, \text{ and } \Delta l = \frac{l \times y_p}{PD \pm y_p}, \quad (1)$$

where  $\omega$  is the stereoangle (rad),  $y_p$  - the stereoparallax or displacement of out of plane images (m),  $l$  – the distance of the fixed point to eyes (m), PD – the pupil distance (m).

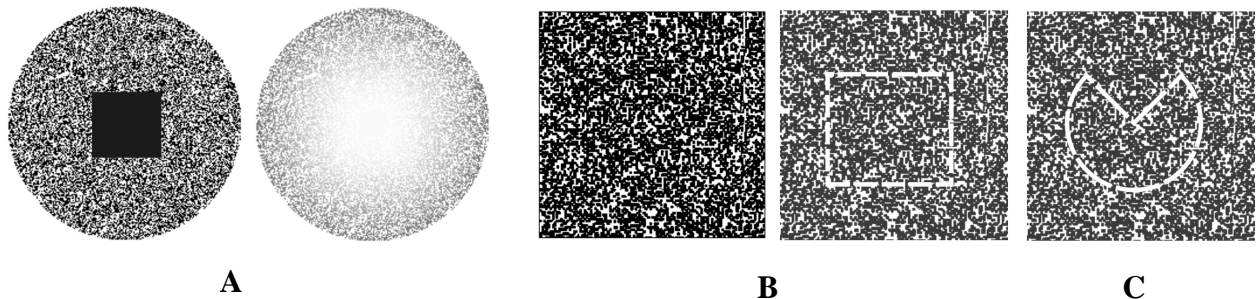


Figure 2: Pairs of random dot stereostimuli generated on PC screen: A – shows the grayscale stimuli with different contrast, B, C – stimuli for color stereotest (actually the areas of contoured figures consisting of similar random dots). When marked figures in center are shifted, in 3-D they seem to be pulled forward or pushed backward.

The contrast of the stimulus of one eye is maintained constant during the whole experiment – the random dots are either black or white, or black or red. In the RGB (red, green, blue) color system the black dots were formed with RGB values  $R = G = B = 0$ , white – as  $R = G = B = 255$ , and the red – as  $R = 255, G = B = 0$ . The red stimulus is chosen as the one with the constant and highest contrast for the reason that in a case of a cataract eye the intensity of scattered long-wave (red) radiation is the weakest compared to short-wave (blue) radiation. With account for the  $\gamma$ -correction of the display luminance  $I(RGB) = f(GB)$ , the contrast is defined as:

$$K(\%) = \frac{(I_{MAX} - I_{MIN})}{I_{MAX}} \times 100\% \quad (2)$$

The contrast of the stimulus for the other eye is continuously increased during the test either uniformly over the whole stimulus area or by Gaussian distribution (the lowest contrast in the central part). The test starts with a zero contrast – the small square or circle and surrounding random dots are white in case of the black and white stereotest, and all the image is uniformly blue  $B = B_{max}$ , and  $R = G = 0$ , in a case of the color stereotest. Compared with the black-and-white Freiburg stereotest<sup>3</sup> ours differs with an additional decrease of contrast in the center of the field of vision, so that the out of plane object contours are not seen before the stimuli images are merged.

### 3. TEST PROTOCOL

We used two psychometric methods to measure stereovision – of successive approximations and of constant stimuli. To find the values the stereoacuity threshold by successive approximations the contrast of the central figure in the random dot test is varied continuously from low to high (and also vice versa). The change of contrast is quit and the subject answer fixed when a spatial image is noticed. The respondent is forced to choose one of the answers: the object is pulled forward, pushed backward, detection the side of which the segment is cut out, or the stereoisage is absent. At the beginning of the test the subject stereosensation is absent since at low contrast levels the stereopairs on the screen do not create a stereoscopic image.

The other test program, using a constant stimuli method, randomly generates the stimuli of different contrast levels and different disparities to obtain the psychometric curves. They arouse the subject stereosensation immediately. The subject is forced to detect whether the spatial image is pulled forward, pushed backward, or is not seen. The right and wrong answers are stored for the further analysis of results.

Catch trials – occasions with “zero” parallax unable to cause stereopsis are included in both experiments. The flat images allow ascertaining whether or not guesses are made.

Before the tests the essence of the experiments is explained to subjects and operation of programs is demonstrated. At least five minutes are allowed for a training experiment. Subjects are seated at a distance of 60-180cm ( $\pm 1$ cm) from the monitor and provided with liquid crystal shutters or color filter goggles. As soon as the stereosensation is experienced the subject takes part in test cycles. He specifies the corresponding forced choice. At a given distance 40 measurements are made in each cycle. The measurements taking about 60 minutes include twelve different disparities: six crossed and six uncrossed.

Two stages of the experiment may be distinguished: experiment comprises 40 cycles of different parallax values (crossed or uncrossed disparity) and 40 steps in the second stage changing contrast of the color. The test program allows setting the contrast increment corresponding to 1 to 6 relative RGB units (changing the corresponding **R**, **G** and/or **B** value by 1 to 6).

### 4. EXPERIMENT

Using the *OceanOptics S2000 Fiber Optics spectrometer*<sup>4</sup> transmission spectra of the light filters were measured as well the spectral distribution of the screen phosphors radiation to ensure that each of the subject eye would see a single color stimulus in the color stereotests (Fig. 3A and 3B).

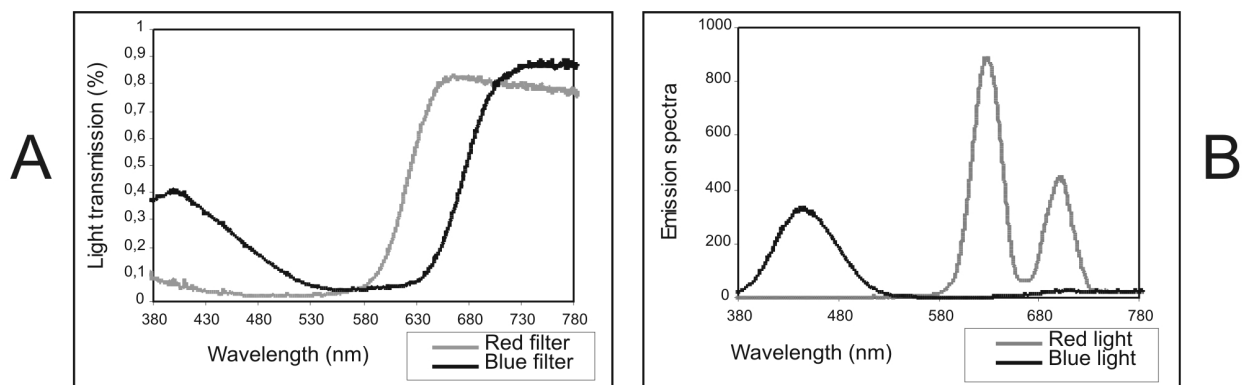


Figure 3: Used filters transmission spectra (A) and PC screen's phosphors emission spectra (B).

In vision experiments using computer monitors it is necessary to evaluate the physical parameters of the stimuli. The screen brightness as function of the RGB video signal values (Fig. 4) was obtained by means of a digital luxmeter LUX

LD12Q-631. The photometric radiation characteristics of red, green, blue and composite white channels are shown in Fig. 4.

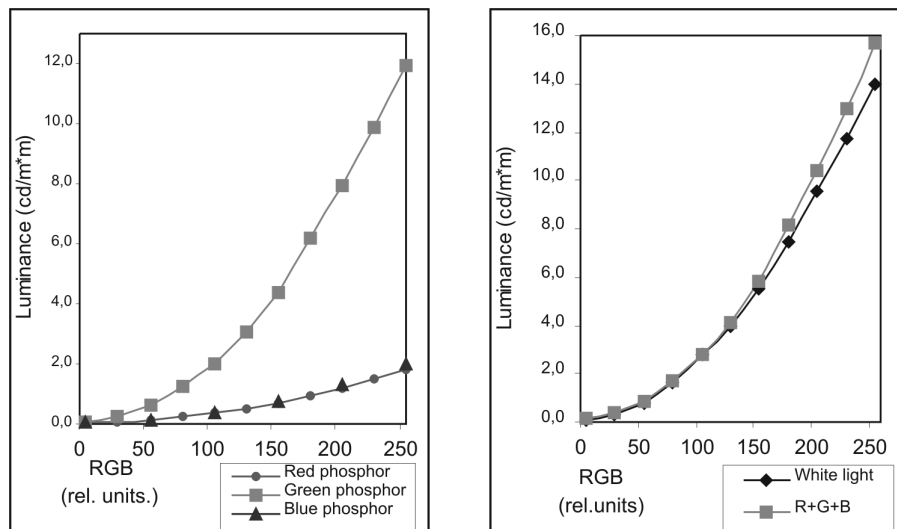


Figure 4: PC screen calibration's curves. Vertical axis – screen luminance ( $\text{cd/m}^2$ ) measured by a luxmeter attached to the screen. Horizontal axis – monitor video signal in RGB units. R+G+B – summation of three phosphors luminance.

In a case the colored spectacles are used, each eye distinguishes its own stimulus since color filters block the information assigned to the other eye. In a case of liquid crystal shutters an unnoticeable in time occlusion of each eye is switched at a frequency of 120 Hz. Thus, the stimulus is demonstrated to each eye 60 times per second<sup>5, 6</sup>. Since relaxation of the human visual system is slower as compared to the stimuli delay demonstrated to each eye, the stimuli are superimposed by the brain and perceived “simultaneously.” As well light filters as the liquid crystal goggles decrease the stimuli luminance and, correspondingly, the retinal illuminance (measured composite transmission value of used LC (liquid crystal) shutters was<sup>7</sup> 21%).

Monitors used in experiments have 17 inch screens (0.27 mm/pix). Thus at the distance of 60 cm the stereostimuli are demonstrated to the subject at the minimum stereoangle of 92 arc sec. Using monitors with a resolution 0.28 mm/pix, the minimum stereoangle – 96 arc sec.

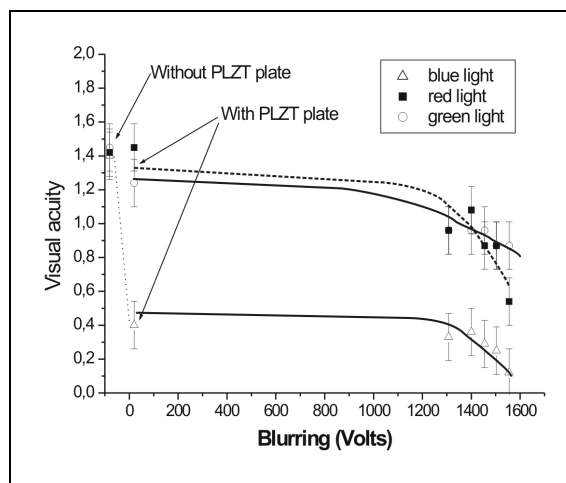


Figure 5: Before our experiments we detected visual acuity with colored Landolt C stimuli. Black figures were displayed on blue color screen (triangles), on red color screen (squares), and on green color screen (circles).

The blue image of the stereopair was chosen as a stimulus with changing contrast partially due to the greater scattering of the blue light present in a cataract case. We have used a test (similar to *Freiburg Visual acuity test*<sup>3</sup>, however by displaying Landolt C figures with only R, G or B monitor phosphors) to determine vision acuity for three primary colors. The dependence of visual acuity on the light scattering (caused by a special PLZT obstacle, allowing continuously increase the light scattering depending on the voltage applied to the obstacle<sup>8</sup>) is shown in Fig. 5.

## 5. RESULTS

The method has been appraised on 11 subjects, ages 20-24. All of them had binocular vision, good stereovision, corrected distant and near vision acuity  $Visus \geq 1.0$  (decimal).

Eight subjects had emmetropia. Three of subjects had second order myopia. The subjects used correction of vision during the experiments. The subjects' stereoacuity determined by the standard *Titmus* test was between 40 and 60 arc sec. The subjects had a pupil distance within the 57 to 68 mm limits. All had normal color vision.

The stereogram disparity is one of parameters affecting the contrast threshold of stereovision. The value of the stereoangle  $\omega$  (1) calculated from the pupil distance  $PD$  and the distance of subject from the screen increases by 0.01 arc sec – at increase of the pupil distance  $PD$  by 1 mm (at displacement of images 1 pixel, when the operation distance is kept  $l$  being constant within the 45 to 120 cm limits). For the screen disparities  $-5$  to  $+5$  measured in pixels (under condition the horizontal and vertical scanning are calibrated correctly) the corresponding stereoangles for different operating distances are given in Table 1.

**Table 1**

Distance	Disparities									
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5
45 cm	657"	523"	391"	259"	129"	128"	255"	380"	505"	628"
60 cm	493"	392"	293"	194"	97"	96"	191"	285"	378"	471"
1,2 m	246"	196"	146"	97"	48"	48"	95"	143"	189"	235"

Disparities in table are given in pixels on the PC screen (0.27 mm/pix). For negative screen disparities the central figure is perceived behind the basic plane (formation of uncrossed disparity). The given values are for subject's  $PD=62$  mm.

By changing the pupil distance  $PD$  from 55 to 70 mm the corresponding change of the stereoangle is less than one *arc sec* within viewing distances between 60 and 180 cm. A higher error (3,7%) may be caused by the change of the dot size on the screen from 0.28 mm to 0.27 mm.

After determining of the set-up characteristics and preliminary tests, series of experiments were made to find the color stereovision threshold by variation of the contrast of one color (blue) stimulus, and to obtain the contrast threshold value at which the stimulus is still perceived as spatial the stereodisparity being fixed.

In the first test series the contrast of the stimulus was changed continuously – the threshold was determined by successive approximations the stimuli being separated by color filters or liquid crystal shutters. Results obtained for subject A at repeated tests are shown in Fig. 6.

The test program allowed determining the stereovision threshold changing the contrast of the blue stimulus. At higher disparities (5 pixels on the screen or 493 arc sec) the psychometric functions are steep (Fig. 7), and the threshold is determined more accurately. As the disparity decreases the psychometric curves are sloping gently and the obtained threshold values are less reliable.

In this region a linear relation between stereovision and the image contrast was assumed. It was analyzed in linear co-ordinates (the same relation correlates with a linear function in linear co-ordinates as well as with a power function in logarithmic co-ordinates).

After the first measurements it may be concluded that the software allows measuring the stereoangle and stereovision threshold if the image quality in one eye is varied. In the black and white test at the stereoangles 31-378 arc sec the stereosense threshold contrast values were  $\Delta\text{RGB}/\text{RGB}_{\text{max}} = 0.1 - 0.2$  in RGB relative units. For the color stereotest the minimal blue contrast level was  $\Delta\text{RGB}/\text{RGB}_{\text{max}} = 0.2 - 0.4$  in RGB relative units.

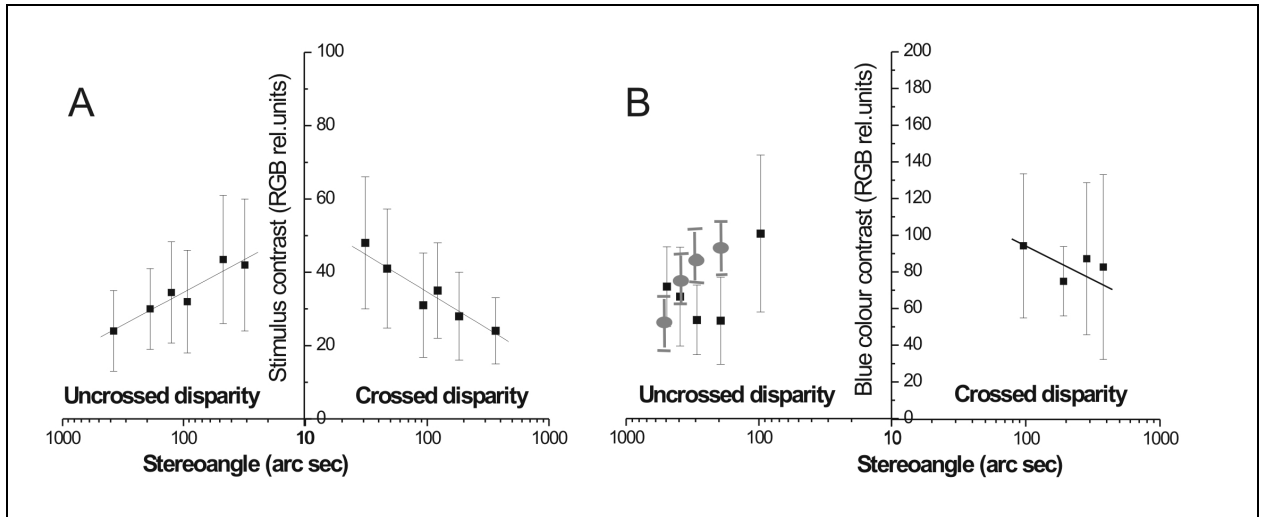


Figure 6: One eye stereostimuli contrast thresholds at different stereoangles were determined using stimuli successive approximation. A – grayscale stereotest results; B – red-blue stereotest results. Color contrast was measured in RGB relative units (color coding system units from 0 to 255). The gray circles (in B) show the blue color stimuli contrast thresholds that are appreciated with the constant stimuli method.

## 6. DISCUSSION

A lasting attention is required from subjects during experiments approaching the threshold gradually. Besides, due to binocular rivalry, – t he dominating tint of the perceived binocularly color stimulus periodically varies. The “pumping” of colors is one of the factors causing a rather wide dispersion of results since the subject has difficulties to concentrate. With respect to dispersion, results obtained with constant circle stimulus are not much different from the square stimulus test with color filters.

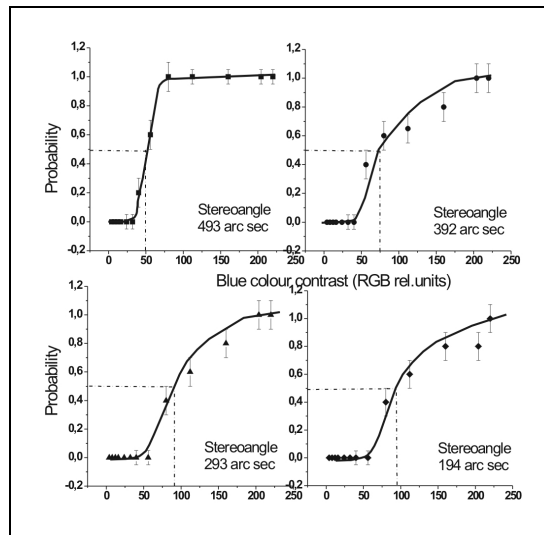


Figure 7: Psychometrical measurements with constant stimuli. Color contrast thresholds are shown with dashed lines.

Experiments with liquid crystal shutters to compare situations when both eyes are simultaneously subject to periodically interrupted stimulation in “opposite phases”<sup>9,10</sup>. Using liquid crystal shutters we wished to soften the effect of binocular rivalry on the process and results of the experiment, and we partly succeeded. The comfort of observing improved, and dispersion of results, compared with demonstration of similar stimuli separated by color filters, decreased (Fig. 6).

In most studies of effects of mono-ocular contrast on stereovision<sup>11-14</sup> relation between the magnitudes is described by a power function  $y = a \times e^{b \times x}$  and data are analyzed in the logarithmic scale. Compared to recent studies<sup>15, 16</sup>, we have considered a relatively narrow disparity interval.

Because of a rather wide dispersion the first results obtained with the color stereo test were not satisfying. In this case subject A had to choose between answers “seen” and “not seen” at observing the stereo image of a protruded square. Better results were obtained in a similar test with a hidden disk: the contrast of one color was varied continuously and the subject had to detect which side of the disk had a cut.

The stereovision software allowed finding the threshold value from measurements of psychophysical functions obtained by constant stimulus varying the contrast of one color stimulus. As the disparity decreases, the obtained threshold values are less reliable.

Results obtained with liquid crystal shutters are closer to what is expected: dispersion is reduced and the stereovision threshold appears at a lower contrast. Results obtained with a similar method in case of grayscale stimuli are less dispersed. However, with respect to stereoacuity, they are not much different from those obtained with blue-red stereostimuli separated by liquid crystal shutters.

Binocular rivalry at the color test causes an unpleasant feeling to the subject: the color of images varies between blue and red. The subject is unable to stand it longer than sixty minutes at a time. It is known from the retinal anatomy that the cones perceive colors only. The cones sensitive to long-wave radiation are stimulated by red light. The cones sensitive to the short-wave radiation respond to stimuli in the blue part of visible spectrum. Since there are much fewer cones sensitive to short-wave radiation in the retina area responsible for the central vision<sup>17</sup>, it is supposed that fewer disparity fields creating the stereovision effect are involved in color tests. In case of grayscale tests, all disparity fields of the cones participate in stereovision. For that reason the stereovision threshold values found by means of grayscale stimuli of variable contrast are less dispersed (do not decrease) compared with results of color tests.

## 7. CONCLUSIONS

The method has been appraised and may be used to study the effects of contrast on the stereovision threshold. It is easier to work with constant stimuli in which case the obtained results are more accurate however these experiments take more time. The method will be used for modeling of more complicated situations of vision optics and to study the effects of external factors on the stereoacuity problems.

## REFERENCES

1. B. Julesz, “Cooperative phenomena in binocular depth perception,” *Am. Sci.* **62**, pp. 32-43, 1974.
2. D. Regan, “Binocular vision” vol.9, In: “*Vision and visual dysfunction*”, Ed. J. R. Cronly-Dillon, Macmillan Press, London, 1991.
3. M. Bach, C. Schmitt, M. Kromeier, and G. Kommerell, “The Freiburg stereoacuity test: automatic measurement of stereo threshold,” *Graefe’s Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* **239**, pp. 562-566, 2001.
4. [www.OceanOptics.com](http://www.OceanOptics.com)
5. Ji-eun Bahn, Yong-jin Choi, Jung-young Son, N. Kondratiev, V. Elkhov, Yu. N. Ovechkis, and Chan-sup Chung, “A device for diagnosis and treatment of impairments on binocular vision and stereopsis,” *Proc.SPIE “Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VIII”*, Edit. A.J. Woods, M.T. Bolas, J.O. Merritt, and S.A. Benton, **4297**, pp.127-131, 2001.
6. S. W. Hatch and J. E. Richman, “Stereopsis testing without polarized glasses: a comparison study on five new stereoacuity tests,” *J. Am. Optom. Assoc.* **65**, pp. 637-641, 1994.

7. M. Ozolinsh, G. Papelba, and G. Andersson, "Liquid crystal goggles for vision science," *Proc.SPIE "Optics for the Quality of Life"*, Edit. A. Consortini and G.C. Righini, **4829**, pp.1021-1022, 2002.
8. M. Ozolinsh, K. I. Daae, D. Bruenech, and I. Lacis, "Studies of time response of the vision binocularity by use of dynamic suppressing of retinal images," *Proc.SPIE "1999 International Conference on Biomedical Optics"*, Edit. Q.M. Luo, B. Chance, L.H. Wang, and S.L. Jacques, **3863**, pp.521-525, 1999.
9. F. A. A. Kingdom and H. C. Li, E. J. MacAulay, "The role of chromatic contrast and luminance polarity in stereoscopic segmentation," *Vision Res.* **41**, pp. 375-383, 2001.
10. D. R. Simmons and F. A. A. Kingdom, "Differences between stereopsis with isoluminant and isochromatic stimuli," *J. Opt. Soc. Am. A.* **12**, pp. 2094-2104, 1995.
11. D. L. Halpern and R. R. Blake, "How contrast affects stereoacuity," *Perception* **17**, pp. 438-495, 1988.
12. M. Rohaly and H. R. Wilson, "The effects of contrast on perceived depth and depth discrimination," *Vision Res.* **39**, pp. 9-18, 1999.
13. T. Geib and C. Baumann, "Effect of luminance and contrast on stereoscopic acuity," *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* **228**, pp. 310-315, 1990.
14. L. K. Cormack, S. B. Stevenson, and C. M. Schor, "Interocular correlation, luminance contrast and cyclopean processing," *Vision Res.* **31**, pp. 2195-2207, 1991.
15. L. M. Wilcox and R. F. Hess, "When stereopsis does not improve with increasing contrast," *Vision Res.* **38**, pp. 3671-3679, 1998.
16. L. K. Cormack, S. B. Stevenson, and D. L. Landers, "Interactions of spatial frequency and unequal monocular contrasts in stereopsis," *Perception* **26**, pp. 1121-1136, 1997.
17. Roorda and D. R. Williams, "The arrangement of the three cone classes in the living human eye," *Nature* **397**, pp. 520-522, 1999, [www.opt.uh.edu/research/aroorda](http://www.opt.uh.edu/research/aroorda).

P III



# Liquid crystal goggles for vision science applications

Maris Ozolinsh<sup>a</sup>, Gunta Papelba<sup>a</sup>, and Gunnar Andersson<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Department of Optometry and vision science, University of Latvia ([ozoma@latnet.lv](mailto:ozoma@latnet.lv))

<sup>b</sup>Chalmers TH, Göteborg, Sweden

## ABSTRACT

Spectral and switching characteristics of two manufacturer liquid crystal goggles are tested, and a contrast ratio for the computer display phosphors wavelengths is determined. Goggles are used in vision science experiments for random dot stereo stimuli phase separation. The human stereovision acuity and threshold was studied for case, when one eye random dot stereo stimulus simulated on the display is continuously blurred or the stimulus contrast is decreased.

Keywords: liquid crystal goggles, vision science, stereovision.

## 1. INTRODUCTION

Eye image separation is needed in several vision science experiments, mainly studying human stereovision. Separation can be realized haploscopically, by color filters<sup>1</sup> or applying so called phase separation technique,<sup>2, 3</sup> when stimuli for both eyes are displayed periodically for a short while only for the left or right eye. In most cases stimuli are simulated by computer and showed on the PC screen. To realize the phase separation special shutters placed before eyes are used. Ferroelectric PLZT ceramics<sup>4</sup> goggles used formerly for this purpose<sup>5</sup> had sufficient transmission, an excellent contrast ratio and switching speed, however they needed high control voltages and were expensive. In the last years experiments have been carried out using liquid crystal (LC) goggles<sup>2,6,7</sup> - they have a lower switching speed, a lower contrast ratio. However due to the great popularity of various virtual reality, mass production of such glasses sharply has decreased their price.

LC are offered by companies distributing scientific instrumentation *Cambridge Research Systems Ltd.* (they offered also more sophisticated and more expensive ferroelectric LC goggles),<sup>5</sup> *Moscow Institute of Cinematography*<sup>3</sup> and by computer hardware companies as "*ELSA*".<sup>8</sup> The proposed LC goggles have a number of figures given in specification, characterizing their performance in vision science, however a more detailed characterizing fails. Nowhere one can find LC of which class are used, that can help to predict the overall LC goggles performance. That is of a great interest when LC goggles are used for other vision care applications as studies and treatment of children ambliopia.<sup>7,9</sup>

The aim of the present paper is to report the spectral and switching characteristics for LC goggles of different origin used in a series of stereovision experiments.

## 2. RESULTS

Commercially available nonferroelectric LC goggles of two origin (*Moscow Institute of Cinematography (IC)*, and "*ELSA*") have been studied to determine the following characteristics: a) transmission switching characteristics applying "fast" (corresponding to the frame frequency 2x60 Hz) rectangular pulses and "slow" saw pulses; b) spectral transmission for ON and OFF states (using "*Ocean Optics*" spectrometer); c) contrast ratio for 3 fixed wavelengths

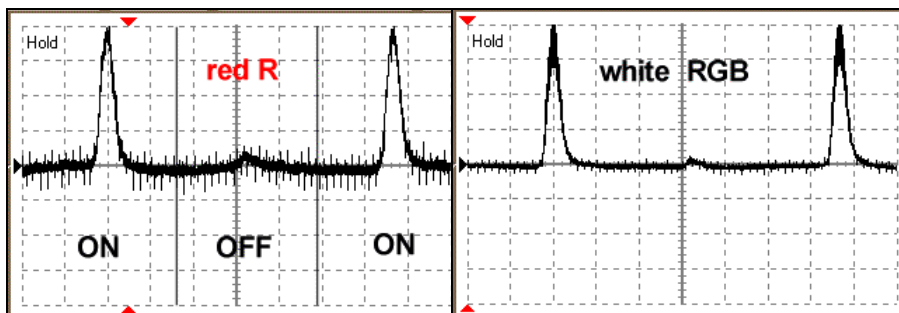


Fig.1. Transmission vs. time for different monitor phosphors: red (left), composite white (right). High frequency spikes have electric origin from a LCD control circuit.

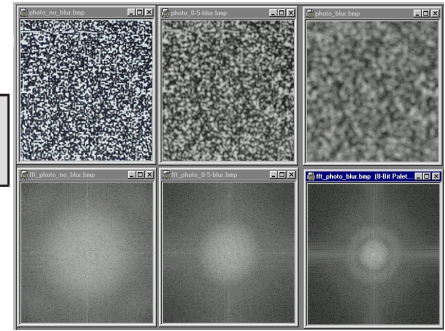
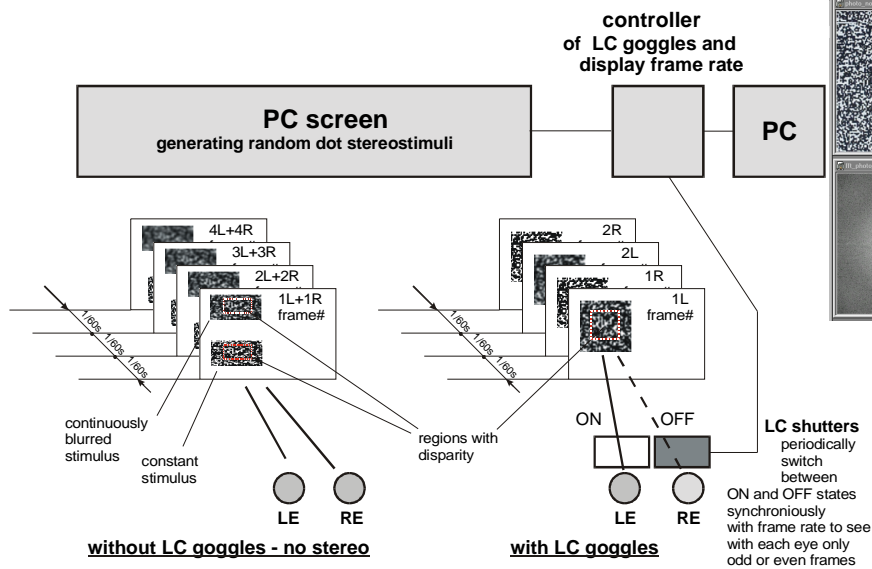


Fig.2. Experimental to measure stereo-threshold when one eye stereo stimulus is continuously blurred (left). LC goggles and PC monitor control is as in the paper.<sup>3</sup> Fourier image of blurred stimulus to quantify the blur degree (left).

(using as a source blue, green, and red LED, and PC screen R, G, and B phosphors). Fig.1 shows the time dependence of the relative transmittance of the LC goggles<sup>3</sup> within the spectral range of the monitor red phosphor - left, and of the composite white signal RGB (255,255,255) - right. The higher peaks correspond to the even frames when the LC goggles are switched **ON**, the lower peaks to odd frames when goggles are switched **OFF**. The overall contrast ratio for a composite white phosphor is 1:20, as compared with the lowest contrast ratio - 1:13 observed for the red phosphor. As the contrast ratio is lowering with the increase of the wavelength, one can proposed that the reason would be insufficient retardation of the LC cell by the applied voltage for switching **OFF**. The measured composite transmission values were - 21% for **IC** goggles and 25% for **ELSA** goggles.

Using the mentioned goggles we have successfully developed some stereovision diagnostics techniques to simulate conditions when the optical quality of one eye is diminished due to refractive errors or by a lens cataract. These techniques allow to study stereo threshold dependence using gray random dot stereo stimuli when - a) either dominant or non-dominant eye stimulus is continuously blurred; or - b) the contrast is decreasing uniformly within the area of all stimuli, or corresponding to the Gaussian distribution. We have applied the LC goggles also to compare the stereo threshold in a similar situation when stereo sense is induced by two isoluminant monochromatic (red and blue) stimuli, and stimuli separation is realized: a) using the color filters, b) by phase separation with LC goggles. In a situation when the contrast of the stimulus for one eye is much less as for other eye, and due to the different stimulus color and therefore due to a bad correspondence of the eyes receptive fields, the binocular rivalry easy switches on. Simultaneously oscillating suppression of one eye image takes place. Phase separation using LC goggles allowed to diminish this effect and to obtain more unambiguous results. Fig.2 shows the experimental scheme to study the stereovision threshold and acuity when the stimulus of one eye is continuously blurred. Stimuli are generated on the PC screen. An adapter controls switching the LC goggles and doubling of the display frame rate.<sup>3</sup> Fourier analysis is used to measure the degree of stimulus blurring.

## CONCLUSIONS

Spectral and switching characteristics of two LC goggles are tested. As compared with the *Cambridge* ferroelectric LC goggles the studied goggles have a lower contrast ratio, however they still allow successfully to design diagnostic techniques to measure the stereo acuity if stimuli images on the both eyes retina have disbalanced quality.

## REFERENCES

1. A.G. Bennett, R.B. Rabbetts, *Clinical visual optics* (Butterworths, London, 1984).
2. M. Bach, C. Schmitt, M. Kromeier, and G. Kommerell, *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, **239**, 562 (2001).

3. J.E. Bahn, Y.J. Choi, J.Y. Son, N.V. Kodratiev, V.A. Elkhov, Yu.N. Ovechkis, and C.S. Chung, Proc. SPIE, **4297**, 127 (2001).
4. M. Ozolinsh, A. Kapenieks, and A. Krumins, Ferroelectrics Lett., **21**, 111 (1984).
5. <http://www.crs ltd.com/catalog/stereo-goggles/>
6. F.A.A. Kingdom and D.R. Simons, Vision Research, **36**, 1311 (1996).
7. V.A. Elkhov, Y. N. Ovechkis, L.A.Pautova, Y.Z.Rosenblum, O.S.Lev, and A.A.Pautov, Proc.SPIE, **4611** (in print).
8. <http://www.elsa.com>
9. S.Villani , Proc. IX Baltic Congr.of Ophthalmology&Optometry, Riga, R42 (1998).



PERCEPTION

VOLUME 31 SUPPLEMENT



25TH EUROPEAN CONFERENCE

ON VISUAL PERCEPTION

GLASGOW, 25-29 AUGUST 2002



ABSTRACTS



## **The effect of image blurring degree, luminance, and chromatic contrast in one eye on stereovision**

G.Papelba, M.Ozolinsh, I.Cipane, and J.Petrova

Department of Optometry and Vision Science

University of Latvia, Riga, LATVIA

The main goal of this investigation was studies of the stereovision threshold when the stimulus in one eye undergoes blurring, or when it loses intensity or colour contrast.

In our experiments we used red – blue (R/B) and black – white (B/W) random-dot pairs of stereostimuli generated on PC screen. Stimuli presented to the right eye and the left eye were separated: (a) haploscopically, with prisms, (b) with blue and red filters, and (c) by phase separation, with liquid-crystal shutters that were synchronised with the display frame rate. Two ways of stimulus imbalance were applied: optical blur, and B/W and R/B colour contrast change in the stimulus presented to one eye. The sequence of blurring images was generated according to the continuous Gaussian distribution (FFT analysis and cross-correlation were used as an objective measure of blur in parallel with the subjects’ ‘vision acuity’, and testing against the Landolt C chart with the same degree of blurring). The subjects’ task was to mark when they lost and regained stereopsis. In order to study the effect of contrast of the stimuli presented to one eye on stereoacuity. The B/W and R/B contrast of the stimuli presented to the dominant or nondominant eye stimuli was continuously changed – either uniformly or more in the centre than in peripheral area according to the Gaussian distribution.

The stereovision acuity decreased with the change of colour contrast and with blurring intensity. The minimal contrast level needed for depth perception was 6 % – 8% for R/B colours, and 2% – 6% for B/W if contrast in the stimulus presented to the other eye was held 100%. But the actual values depended on the size and type of disparity.

P V

**The Journal of the  
American Academy of Optometry**

**Supplement to:**

**Optometry  
and Vision  
Science**

**Academy 2003  
American Academy of Optometry  
Annual Meeting  
December 4-7, 2003  
Dallas, Texas**



**LIPPINCOTT  
WILLIAMS & WILKINS**



## **Clinical investigation of stereoacuity for patients having real or induced anisometropia and cataract**

**Gunta Krumina, Maris Ozolinsh**

University of Latvia, Department of Optometry and Vision Science  
Riga, LATVIA

**Purpose:** To determine how stereopsis is affected in conditions induced anisometropia and induced cataract and compared the data of patients with anisometropic amblyopia and with cataract.

**Methods:** The induced anisometropia was simulated with ophthalmic lenses and the induced cataract was simulated on computer screen. Stereovision was detected using the clinical TNO test, an established random dot test. We have tested 300 patients of age 13 to 79. In experiment stereopsis was measured in both crossed and uncrossed disparity. We have simulated blurring (as in cataract) with a special program and have tested the 12 subjects' stereothreshold. We have measured the stereoacuity of 135 subjects with the condition of simulated anisometropia.

**Results:** We have observed that blurring effect in one eye in both situations (induced anisometropia and cataract) decreases stereoacuity. The condition of anisometropia decreases stereoacuity more than blurring in both eyes together. Approximately 40 percent from patients have difference between the stereoacuity of crossed and uncrossed disparity. Stereovision threshold are better for younger patients and for older patients without cataract.

**Conclusion:** Stereoacuity depends on visual acuity in one or in both eyes. Difference between visual acuity of the eyes decreases stereoacuity. Induced anisometropic amblyopia and cataract show approximately the same effect as in real eye conditions.



## **Eye cataract simulation using polymer dispersed liquid crystal scattering obstacles**

Maris Ozolinsh and Gunta Papelba

*University of Latvia, Kengaraga 8, LV-1063 Riga, Latvia*

*ozoma@latnet.lv*

Polymer dispersed liquid crystals with electrically induced variations of light scattering extent similar to that of transparent PLZT ceramics are used for simulation of different development stages of eye cataract. Wavelength dependencies of scattering are determined in the visible spectral range, and human visual response looking through the scattering obstacle to the onset of various spatial frequency stimuli is determined psychophysically and electrophysiologically in order to find correlation between the scattering extent, visual acuity and visual evoked potential VEP chromatic characteristics.

### INTRODUCTION

Human's response to visual stimuli passes along a complicated and branched visual pathway (1). The first stage of it is an optical one – light goes through the transparent segments of the eye reaching well-arranged neural cells of the retina. Further the neural activity waves emerging from the retinal ganglion cells travel toward the brain visual cortex, where the binocularly originated information flows together and is processed. Here in visual cortex zones the sensation of the spatial and colour structured image is created, the feedback for the eye accommodation and vergence functions is provided, the higher-level sensation (recognition, depth sensation, binocular suppression and rivalry, *etc.*) are achieved. Some eye pathologies affect the visual response at the first stage – like as eye cataract. However a decreased quality of the eye retinal image influences all processes in the following pathway. In the case of eye cataract regions of the eye lens is filled with globules, protein coagulates fatty droplets and detritus with the refractive indices differing from surrounding lens tissues (2). That causes less or more remarkable light scattering in the eye and formation of opaque eye lens regions. Evaluation of the retinal image quality in various stages of cataract development; determination of the image quality loss impact to the further neural visual response; introducing objective measures correlating with the cataract development – these are the direct tasks in focus of investigators for early diagnostics and treatment of cataract. Same significant is to get a taste of the cataract

stages knowing the actual retinal image, or some specific measures characterizing the stage of cataract. Such measures can be obtained as well in a subjective way psychophysically determining the overall response to the different spatial frequency and colour visual stimuli or objectively measuring the stimulus induced neural activity – so called visual evoked potentials VEP. Getting answers to these questions needs investigation of a great number of patients at different cataract development stages, thus very helpful is implementing of the cataract simulation for subjects with normal visual function.

Previously to simulate cataract we used obstacles from transparent PLZT ceramics with electrically controllable light scattering (3). The present paper reports on studies where artificial cataract is created using polymer dispersed liquid crystal (PDLC) cells. We had the following tasks of our studies.

1. To ensure conditions where changeable and sufficient light scattering would be obtained in a simple way using the voltage low enough for convenient PC control. To determine spectral and voltage characteristics of the efficiency of the light scattering of PDLC obstacles.
2. To determine characteristics of the optical transfer of the system: “PDLC obstacle - artificial eye – CCD” for objects of different spatial frequencies and colours.
3. To study the impact of the experimentally induced cataract on the overall visual acuity determined psychophysically and on VEP signals in order to introduce a measure characterizing the degree of light scattering of artificial cataract.

## RESULTS AND DISCUSSION

PDLC cells used in experiments as eye obstacles consist of two glass plates with transparent ITO electrodes forming a 10 microns gap  $d$  of a composite polymer (PN393 *MerckKgaA*) with dispersed liquid crystal (BL035 *MerckKgaA*) droplets of micrometers size. Values of the refractive index were – for polymer  $n=1.473$  (589nm) and for liquid crystal  $n_o=1.528$  and  $n_e$  same as for polymer. Applying the AC voltage  $U$  aligns directors of liquid crystal droplets along the direction of the electric field  $E$  in the layer - light passing the cell does not meet refractive index variations, and no scattering takes place. At absence of an external influence droplets are randomly oriented causing local optical non-homogeneities and light scattering. Optical anisotropy created by droplets is high, and noticeable light scattering occurs passing through a PDLC layer (4,5). The scattered light  $I_s$  is strongly wavelength dependent in visible spectral range. Fig.1 shows the spectral dependencies of attenuation of the directly transmitted light. As such obstacles oft are used

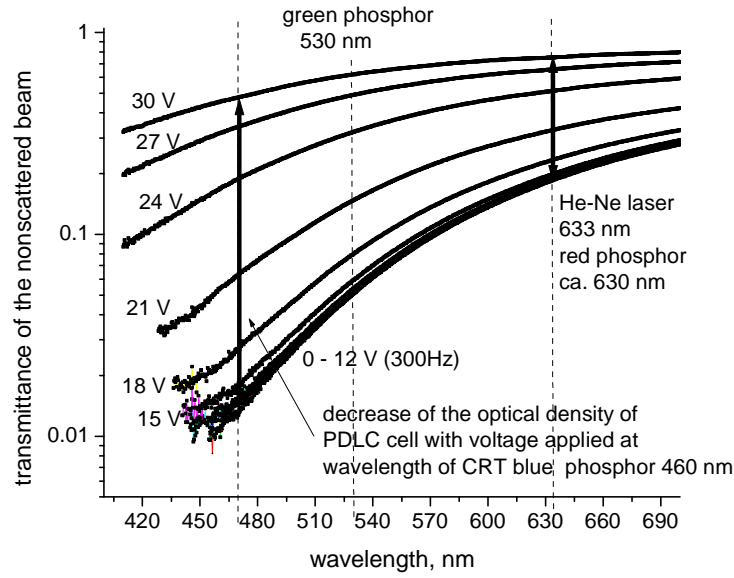


Figure 1. Spectral dependencies of transmittance of PDLC for directly transmitted light at different voltages applied to the cell. CRT phosphor emission maxima wavelength at 460 (blue), 530 (green) and 630 nm (red) are marked with dashed lines.

detecting visual stimuli demonstrated on colour CRT, the emission wavelengths of the red **R**, green **G** and blue **B** phosphors are depicted in the same graph. As compared with similar previous experiments when transparent PLZT ceramics were used for the electrically induced scattering, the effective scattering coefficient of PDLC

$m_s = \frac{1}{d} \ln \left( \frac{I_T}{I_0} \right)$  is much higher (up to  $3 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  for blue light), however the active PDLC

layer thickness is much less than the scattering PLZT ceramics plate thickness 1.5mm. Scattering follows the Mie theory, the scattered light is still polarized for the case of

polarized incident radiation (6). The degree of polarization ( $p = \frac{I_{s_{par}} - I_{s_{per}}}{I_{s_{par}} + I_{s_{per}}}$ , where of  $I_{s_{par}}$

and  $I_{s_{per}}$  are fractions of the scattered light with polarization parallel and perpendicular to polarization of the incident beam  $I_0$ ) of the scattered light decreases with the extent of scattering. Figure 2 shows the scattering indicatrix of the red He-Ne laser beam ( $\lambda=633\text{nm}$ ) passing through one PDLC cell in the absence of the electric field.

In previous studies Bueno *et al.* have proposed the loss of the light polarization as a criterion to evaluate the early eye cataract development (7). Such criterion is an objective and easy achievable one in the model conditions, however using this way in vivo diagnostics for human eye needs applying a complicated ellipsometric double-pass

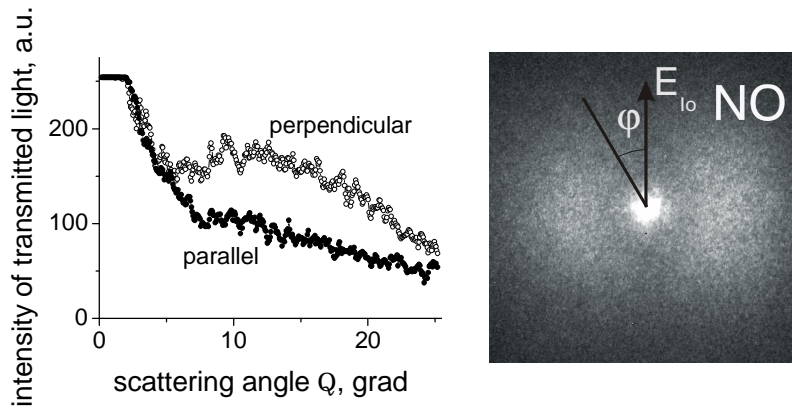


Figure 2. Intensity indicatrix of the transmitted light along directions  $j = 0$  and  $j = 90^\circ$  according to the linear polarized incident light electrical field vector  $E_{10}$ .

measuring technique (8). IN PDLC the scattering extent can be induced continuously and repeatable within voltage  $U=0-30V$ , easy achievable by an appropriate PC control. Higher scattering can be ensured combining in series more than one PDLC cell. In order to find correlation of the scattering in the eye (or in model experiments using scattering obstacle in front of a normal eye) with parameters of the visual response one can take two ways - either psychophysical determination of the overall visual response; or measuring objectively neural activity caused by the onset of different visual stimuli. We have used both of these methods. Firstly, we have determined visual acuity for different colour stimuli having either various luminance or chromatic contrast. Secondly, we have measured visual evoked potentials VEP, demonstrating on the CRT screen different colour and size check pattern reversals.

Visual acuity at different degrees of the induced light scattering was determined from psychometric function using constant stimuli method. In this method subject was forced to choose one of four available orientation of the standard Landolt **C** demonstrated on PC screen in series with random size and orientation. Scattering has remarkable wavelength dependence, thus we used the following stimuli: high contrast black on white background, black-blue, white-yellow, and white-grey with luminance contrast similar to those of white-yellow stimuli. An eye of humans has a complicated structure of retinal photoreceptors and receptive fields. In the eye central part (*fovea*), responsible of the visual acuity, the density of red (long wavelength **L**) and green (middle - **M**) cones is much higher and intermediate distance much shorter as for blue (short - **S**) cones (9). Light scattering decreases the contrast of the retinal image comparing to the contrast of stimuli, besides, in greater extent

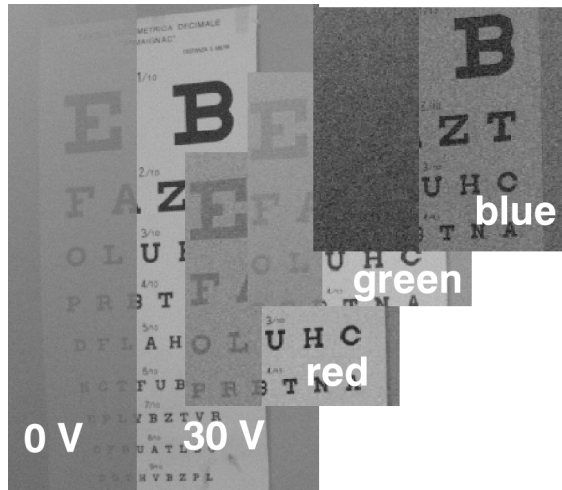


Figure 3. Snapshot of the visual acuity chart through PDLC scattering cell (left side – cell at scattering state  $U = 0V$ , right side – transparent state  $U = 30V$ ). The image separated **R**, **G** and **B** channels are shown as excerpts at right.

for blue as for red. In Fig.3 a composition of snapshots of the visual acuity chart taken by CCD camera with focal length 18mm through the PDLC cell is depicted: the left side of the chart - with PDLC in the nonscattered state ( $U=30V$ ); on the right - in the opaque state ( $U=0V$ ). At the right, images splitting **R**, **G**, and **B** channels reveal the strong difference in the focal image contrasts for different colour stimuli.

Figure 4 shows results of subjects visual acuity obtained in a subjective way. The most drastic decrease of the visual acuity is observed for black-blue (display RGB values –  $0,0,0$  for black and –  $0,0,255$  for blue) and for white-yellow ( $255,255,255$  – for white and  $255,255,0$  – for yellow) Landolt **C** stimuli. In both of these cases the only colour channel

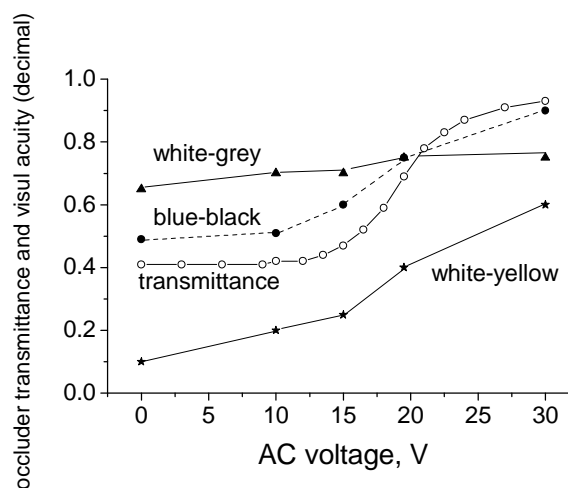


Figure 4. Occluder transmittance and visual acuity vs. voltage applied to PDLC cell. Stimuli: high contrast blue on black background, low contrast (10%) white on gray and white on yellow background.

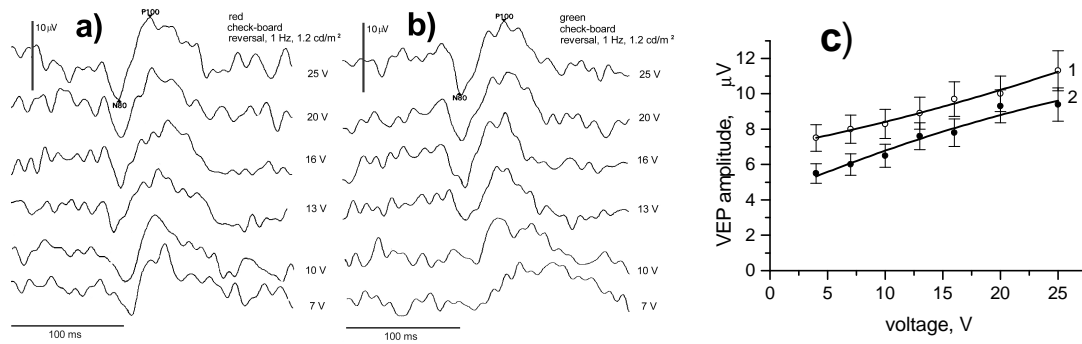


Figure 5. Visual evoked potentials, when red-black (a) and green-black (b) check board reversals are demonstrated (monocular) through PLDC cell with different AC voltage applied. Two maxima - negative N80 and positive P100 occur with delay *ca.* 80 and 100ms, respectively, after stimuli reversal. VEP amplitude (the potential difference between two maxima points) decreases at higher scattering extent (c) for red (curve 1) and green (curve 2) stimuli.

participating in stimuli recognition is the most scattered **B** channel. Comparing results for the white-yellow and white-grey stimuli with the same luminance contrast, a lower specific contribution of the **B** channel in white-grey case determined much less decrease of the visual acuity comparing to the white-yellow stimuli.

For the objective evaluation of the visual response to polychromatic stimuli when the induced light scattering is ensured by the PDLC cell we used modified *Tomey* EP-1000 visual evoked potential system. Potentials were recorded for coloured check-board reversals with frequency 1Hz and different check size, technique reported elsewhere (10). The flow of neural activity initiated by the reversal of such visual chess-board like stimuli responds as manifest oscillations of potential measured attaching an electrode at the scalp occipital area Oz, uppermost of them – minimum N80 (observable with a 80ms delay after reversal – latency) and maximum P100 (100ms latency). The latencies grow and the amplitude – the potential difference between N80 and P100 diminishes if visual stimuli initiate lower neural response. Figure 5 shows VEP waveforms for red-black and green-black check-board reversals (both of average luminance  $1.2\text{cd/m}^2$ , and check size  $0.3^\circ$ ) for different voltages applied to the scattering PDLC obstacle.

One can see the diminishing of the amplitude by increasing the scattering, caused by lowering of the retinal image contrast. Using blue-black check-board diminishing of the VEP amplitude is more obvious, however the waveforms are harder to analyse, eventually due to the smaller and nonregular retinal density of the blue photoreceptors per image unit check size. The data of electrophysiological VEP diagnostics – decrease of the VEP values



at calibrated stimuli luminance, and changes in amplitude ratio values  $r = \text{VEP}_{\text{green}}/\text{VEP}_{\text{red}}$  can be used as some objective parameters to characterize eye cataract in different development studies.

## SUMMARY

Polymer dispersed liquid crystal cells have been successfully adapted to vision research experiments to simulate different development stages of artificial eye cataract. Using simulation experiments, various light scattering for different wavelength and different red **L**, green **M** and blue **S** cone sensitivity and retinal density allow to find criteria for evaluation of the cataract development.

The authors would like to thank A.Kozachenko and G.Ikaunieks for their essential help in development and setting up of experiments.

## REFERENCES

1. Hart WM. Adler's Physiology of the Eye, Mosby Year Book. Missouri: Mosby-Year Book; 1992.
2. Tuchin V. Tissue optics: light scattering methods and instruments for medical diagnosis. Bellingham: SPIE Press; 2000.
3. Ozolinsh M, Lacinis I, Paeglis R, Sternberg A, Svanberg S, Andersson-Engels S, and Swartling J. Electrooptic PLZT Ceramics Devices for Vision Science Applications *Ferroelectrics* 2002; 273: 131-136.
4. Cox SJ, Reshetnyak VYu, and Sluckin TJ. Theory of dielectric and optical properties of PDLC films. *Mol Crystals and Liquid Crystals* 1998; 320: 301-320.
5. Cox SJ, Reshetnyak VYu, and Sluckin TJ. Effective Medium Theory of Light Scattering in PDLC films. *J Phys D: Appl Phys* 1998; 31: 1611-1625.
6. Born M, Wolf E. Principles of Optics. Cambridge: Cambridge University Press; 1999.
7. Bueno JM, Berrio E, Ozolinsh M, and Artal P. Degree of polarization as an objective tool to evaluate scattered light in the human eye. In: Friesem AA, Turunen J, eds. Selected papers 8, University of Joensuu. Joensuu: University of Joensuu; 2003: 128-129.
8. Bueno JM, Artal P. Double-pass imaging polarimetry in the human eye. *Opt Lett* 1999; 24:64-66.
9. Roorda A, Williams DR. The arrangement of the three cone classes in the living human eye. *Nature* 1999; 397: 520-522.
10. Porciatti V, Sartucci F. Normative data for onset to red-green and blue-yellow chromatic contrast. *Clin Neurophys* 1999; 110: 772-781.



## STEREOVISION BY VISUAL STIMULUS OF DIFFERENT QUALITY

G.Krumina<sup>1</sup>, M.Ozolinsh<sup>1</sup>, V.A.Lyakhovetskii<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Latvia, Department of Optometry and Vision Science, Latvia, [gkrumina@cfi.lu.lv](mailto:gkrumina@cfi.lu.lv)

<sup>2</sup> Saint-Petersburg Electrotechnical University, Saint-Petersburg, Russia

### Abstract

**Abstract.** *Purpose:* a) investigation of the stereovision formation for subjects with induced amblyopia (aniso-accommodation) or real amblyopia, and/or with uncorrected anisometropia; b) to compare estimated stereothresholds with actual data of subjects with visual acuity difference in both eyes.

*Method:* In our experiments amblyopia and uncorrected anisometropia were induced by different blurring intensities with the defocusing method (positive and negative optical lenses were placed in front of the left and right eyes) and with similar stimuli generation on the computer screen. The program presents on the screen stereostimuli with small and large disparity sizes thus allowing to investigate fine and course stereovision, with continuously changes of the "bad seeing eye" retinal image quality.

*Results:* In induced cases of uncorrected anisometropia the stereothreshold increases more in hyperopic anisometropia as in myopic anisometropia. The stereothreshold values of induced amblyopia and/or of uncorrected anisometropia are close to the values of the stereothreshold of real conditions of amblyopia. Two subjects with a high degree of amblyopia (not seeing clinical TNO test) took participation in a collateral experiment. The new method gave chance them to see course stereovision images.

*Conclusion:* The stereothreshold changes depend on the quality of images in both eyes. By greater differences in perceived images the stereothreshold is higher, and stereovision couldn't develop ever or it can be destroyed.

**Ke ywords:** stereoacuity, stereoangle, liquid crystal goggles, anisometropia, blurring, random-dot stereotest.

### Introduction

Binocular vision consists of three levels – bifoveal fixation, fusion and the highest level – stereovision. The main function of stereovision is to assist in subjects' orientation, to help in an accurate determination of distances between objects in space. It is an essential aid for drivers in safe manoeuvring, for surgeons, for sportsmen – basketball players, golf players and others. At the same time subjects lacking stereovision have found different other ways of monocular accommodation facilitating to adapt in surroundings.

Stereovision cannot develop without bifoveal fixation and fusion. The presence of binocular vision at levels of bifoveal fixation and fusion however does not assure the presence stereovision. The positive test of stereovision at the same time verifies the full binocular vision and further independent tests of bifoveal fixation and fusion are needless. Assessing binocular vision in a clinic uses different stereo tests.

Doctor devotes usually no more than 1-2 minutes to assess stereovision. If the subject does not recognize various stereo stimuli during this period of time the test is interrupted. In clinics such procedure is considered to be sufficient to prove the presence or absence of stereovision. Actually the negative test according to such procedure leaves over the answer. Most likely subjects do have stereovision that can be revealed under special conditions helping them to identify stereostimuli.

Goodwin and Romano[1], and Lovasik and Szymkiw[2] have estimated stereothreshold changes in cycloplegia for different eye pupil sizes and object illumination, when conditions of aniseikonia, and blurring condition were induced for one or both eyes with optical lenses. Authors have concluded that stereothreshold changes are greater if one only eye is blurred. In these experiments the visual acuity was chosen as a criterion to interpret stereovision formation at different right and left eye conditions.

The purpose of our investigation was to create and to develop a stereotest with a wide range of disparity from small stereoangle values below the stereoacuity level up to high (1000 and more arc sec) disparity values, together with facilities to simulate worse seeing conditions for the better seeing (dominant or non-amblyopic) eye. Such method gives a choice to practise stereovision and to improve stereoacuity as well to investigate stereovision for subjects with amblyopia and cataract as well for subjects without any vision deficiency however in induced amblyopia and cataract conditions.

People with a high degree of amblyopia have vision acuity less than 0.2 in the eye with low vision. This eye has produced a blurred image since childhood. Thus in the absence of stereovision it is not known, either stereovision is not developed by the blurred image on the amblyopic eye retina[1,3] or that is a result of other eventually neural factors. Perhaps in order to facilitate recognition of the stereostimuli it is valuable to create more balanced neural response of amblyopic and non-amblyopic eyes making both the stimuli similarly blurred – for non-amblyopic eye in a forced manner.

The present research is devoted to characterize stereovision in cases when one eye retinal image or neural response are less or more inefficient as compared with other eye response. The main task of our research was studies of the formation of stereovision without cycloplegia (blocking the accommodation process) in order to investigate the difference between myopic and hyperopic anisometropia and degree of amblyopia on the stereothreshold: a) for patients with eye anisometropia, and b) for patients with induced anisometropia using monocular blurring of retinal image with positive and negative lenses, or blurring of one eye stimuli on PC monitor. An additional task was studies of the test methods possibilities to teach and train subjects with amblyopia and cataract skills to recognize and to see random-dot stereotests.

### **Method**

In the first stage of our experiments induced anisometropic conditions were simulated in real conditions (without accommodation) using monocular overcorrection with positive and negative lenses. The highest degree of aniseikonia produced by lenses was up to 7%. 125 clinic patients with different types of ametropia age of 14 to 79 served as subjects. As stimuli we used the standard TNO stereotest at 40 cm distance provided for detection of stereoacuity within 15 to 800 arc sec ranges.

A number of these subjects were involved in the next stage of studies, when stereostimuli were presented on the flat computer screen. They were, at first, ten subjects with a good visual acuity (*visus* 1.0); secondly, two subjects with a high degree of amblyopia in one eye (*visus* 0.1 without and *visus* 0.2 with correction). Amblyopia had developed for both subjects due to the great difference between both eyes refraction (2.5-3.0 diopters). Both subjects had a hypermetropic refraction of amblyopic eyes. The subjects have had the amblyopic treatment in childhood without any positive results, and the vision acuity of the amblyopic eye has not improved. Binocular vision using *Schober* and *Worth* tests was determined as a weakly pronounced. An attempt to determine stereovision for these two patients with a clinical TNO test was not successful.

For ten subjects having good stereovision we applied blurring for one eye as a result of induced anisometropia a) by optical lenses, b) by eye visual stimuli on computer screen.

In our stereo test the random-dot stereopair was demonstrated on the computer screen. The left and right eye stereo stimuli were separated using liquid crystal goggles synchronized with the even and odd PC screen frame sequence. It gives a possibility to demonstrate a clear stimulus for the amblyopic eye that project a blurred image to our brain. For the eye with good vision the stimulus is blurred already on the PC screen. Thus stimuli, when they reach the brain, are equally blurred and eventually they might create at least crude stereovision for an amblyopic subject. The method is designed with a computer program using special video cards ensuring the formation of stereo pictures with special liquid crystal stereo goggles. In case of amblyopia program can fix the time needed to form a stereo picture.

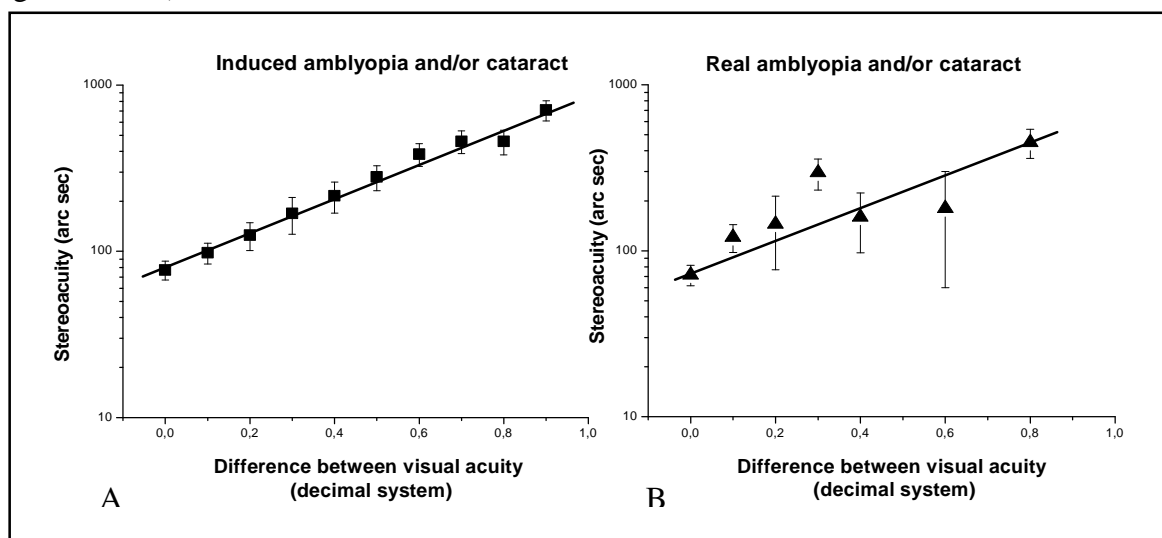
To learn to see stereostimuli and formation of stereovision in case of amblyopia takes much time. It is necessary to find the optimum blur in one or both eyes, as well to perform the stereotest at the optimum disparity value. The first step is when using additional density filters for the non-amblyopic eye in combination with blurring stereovision at last is acquired. The next step is to check either subject recognize stereostimuli in the clinical TNO test also based on the random-dot method. As extra density colour filters we used goggles with transparency for the eye with good vision up to three times less as compared with colour filter for amblyopic eye.

### Results

Oft that is hard or even impossible to determine stereovision for people with far progressed cataract or amblyopia with standard tests used in clinics. The stimuli stereoangle of these clinical tests lies within 15 – 500 arc second range.

The technique used in our experiments allows to assess both the coarse and fine stereovision both for crossed and uncrossed disparity. Random-dot stereograms exclude any indications where the stereo picture is going to form when looking only with one eye. It is clarified that 30% people may not have stereovision at one disparity, however they have it at the opposite disparity[4]. However, all clinical stereo tests are used at crossed disparity and stereovision at uncrossed disparity is not checked at all.

Considering the obtained results for more than one hundred subjects on the influence of artificial amblyopia on the quality of stereovision one can see a pronounced diminishing of the stereoacuity on difference in the both eye visual acuity (close to linear in the reference frame  $\log(\text{stereothreshold})$  vs. difference in visual acuity). For the visual acuity difference  $\Delta VS=0.8$  (decimal) the stereothreshold value is  $360\pm 50$  arc sec. For patients with real amblyopia and cataract the stereothreshold value at  $\Delta VS=0.8$  equals to  $330\pm 90$  arc sec (see Fig.1 A and B).

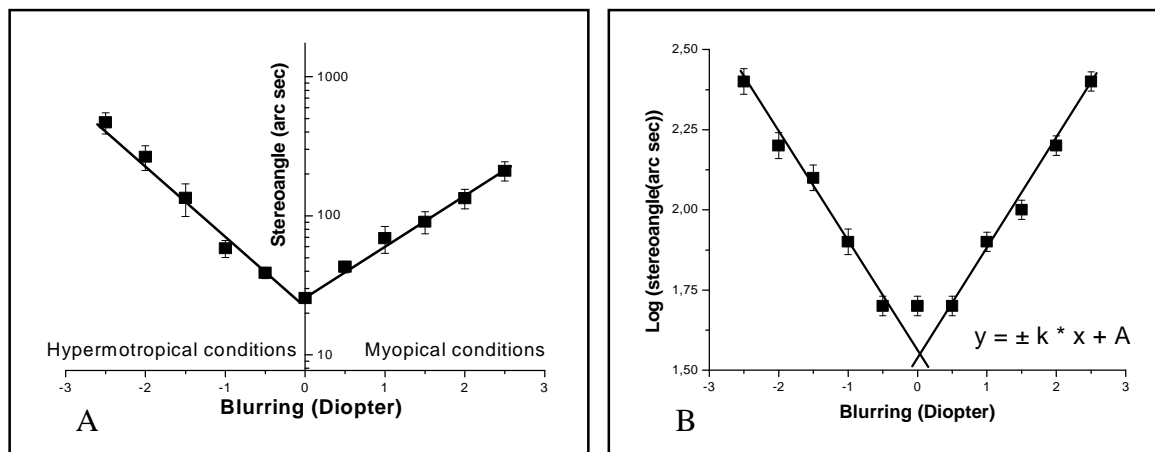


**Figure 1** Dependence of stereothreshold – minimum resolved stereodisparity in arc sec on difference between the left and right eye visual acuities: a) for subjects without eye pathologies when amblyopia was induced by blurring one eye retinal image using positive and negative lenses, b) for subjects with real amblyopia and cataract.

It means that in cases when the difference of the left and right eye visual acuity is very big we could predict that an approximate threshold of stereovision is comparatively high and tests and trainings of stereovision is reasonable to begin at big stereoangles. For such patient having the primary binocular level determined by *Schober* and *Worth* tests we would still predict the presence of the coarse stereovision. At induced anisometropia we have observed tendency that the decrease of stereoacuity depends on the eye refraction (hypermetropia, myopia). If there is emmetropia in one eye and hypermetropia in another then for the difference of eye refraction 2.5 diopters the threshold of stereo vision is very low – about

530±35 arc sec. Contrary, if the individual has emmetropia in one eye and myopia in another, then the stereo threshold at same 2.5 diopters refraction difference equals to 214±21 arc sec (see Figure 2 A).

Data from the overcorrection of one eye are presented in a semilog graph. Averaged data lie along a straight-line for positive as well for negative overcorrection with a slope coefficient  $k$  that can be considered as a sensitivity coefficient of stereovision. It should be mentioned that all measurements are done for subjects in the longer time interval. Within it subject's vision can be influenced by many factors the most essential of which is feeling well and the state of one's health. That leads to data deviations different to each of individuals.



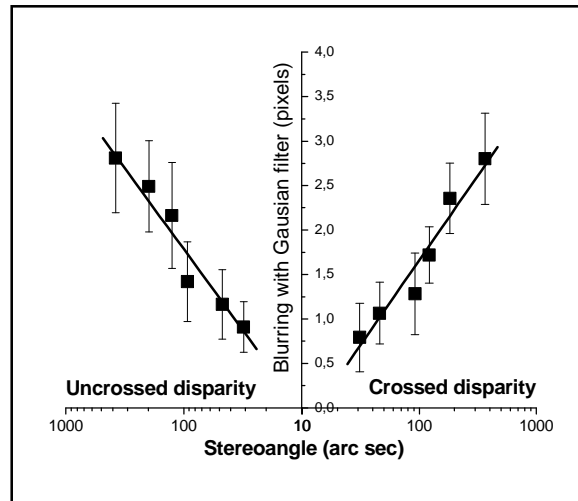
**Figure 2** Stereothreshold dependences on induced anisometropia by positive lenses (myopic conditions) and by negative lenses (hypermetropical conditions) placed in front of one eye. Left graph (A) – experimental values (averaged for 125 subjects); right graph (B) – schema of the calculation of stereovision sensitivity coefficient (average value  $0,34 \pm 0,18 \log(\text{stereo angle})/D$  – ratio of  $\log(\text{stereothreshold})$  and monocular overcorrection;  $k = \Delta \log(\text{stereothreshold}[\text{arc sec}]) / \Delta D[\text{diopter}]$ .

They can vary within days and even hours of the current test. However we are sure about one conclusion – the relationship between the stereovision minimum angle and the optical overcorrection is a linear one in the interval from -2.50 to +2.50 D.

Extrapolation of two straight lines gives an intersection point. The point found in such way determines the expected minimal stereoscopic angle. Some authors think that the highest stereoacuity is 5-10 arc sec and that it is possible to improve the minimal stereoscopic angle with a help of special exercises. How much it is possible to improve for each subject we don't know. However we have observed that manipulating with the optical overcorrection in ca. 50% of cases a better stereoacuity was obtained using a small overcorrection as compared to stereoacuity without overcorrection, (i.e. at the initial position). The ordinate of the intersection point shows at which overcorrection diopters we can expect maximum improvement if stereovision is determined by a TNO test (see Fig.2 B). Under induced conditions of cataract it is found that stereo acuity decreases both in the case of crossed and uncrossed disparity if the vision acuity decreases in one eye (see Figure 3).

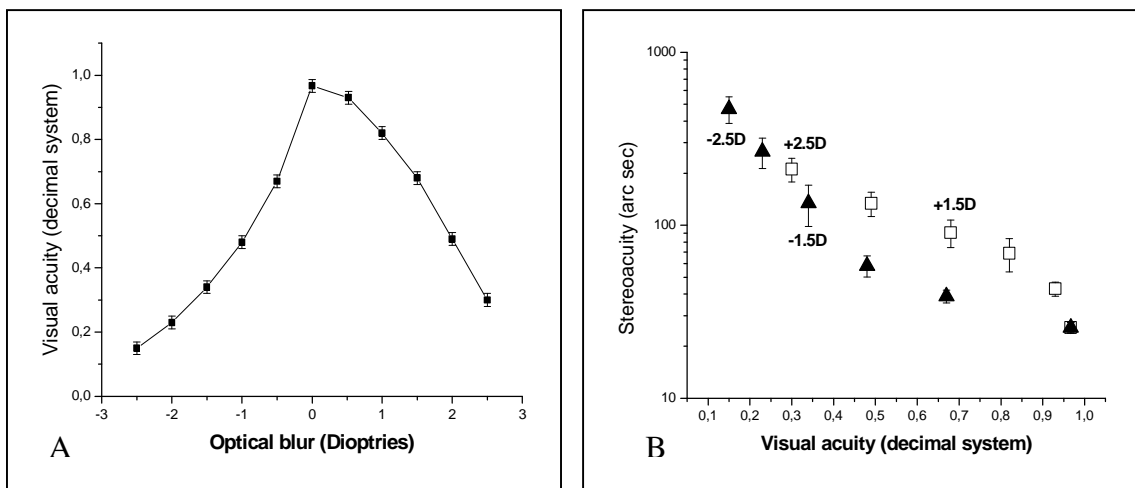
We have estimated the monocular visual acuity by positive and negative overcorrection for presbyops - subjects without the accommodation facility. That is not possible for young subjects, because by added negative lenses they can use accommodation thus compensating overcorrection and seeing the image clear.

Figure 4 A shows the estimated visual acuity for presbyops with different added optical lenses in the overcorrection range from -2.5 D to +2.5 D. One can see in the diagrams that with adding negative overcorrection lenses the visual acuity decreased more than in the case of positive overcorrection. In its turn Figure 4 B shows the relationship between the visual acuity and the stereothreshold values, both detected applying additional optical lenses to simulate hyperopic and myopic anisometropia.



**Figure 3** Relationship between stereothreshold and stereodisparity values when one of the stereopair image demonstrated on PC screen is blurred using Gauss filter for two kinds of stereodisparities – crossed (right side of graph) and uncrossed (left side of the graph) disparities.

In standard clinical tests stereoisimages are separated using colour filters or polarizers, and both eyes perceive images simultaneously. In such case the eye that sees a clear image becomes the leading eye. The blurred picture from the eye not seeing well can be suppressed[3] due to competition of the brain activities. Due to that the images from the both eyes are not fused together, and the individual does not see the stereo tests.



**Figure 4** Dependences of visual acuity on optical blur using monocular overcorrection (A) and stereothreshold on visual acuity of the blurred seeing eye (B). In the monocular overcorrection with negative lenses the slope acuity/blur is steeper as compared with overcorrection with positive lenses. In the right graph (B) stereothreshold was estimated with negative lenses (closed triangle) and positive lenses (open square).

In order to diminish the great eye dominance of amblyopic subjects we have used stereostimuli phase separation. It was accomplished alternately switching stimuli for the left and the right eye with the liquid crystal goggles – controllable light shutters switching in time with the display frame rate. The even PC frame sequence displays stimuli for stimulating the right eye and the uneven sequence – for stimulating the left eye. The alteration of sequences is sequential and quick in order not to destroy the perception mechanism of binocular vision.

Such stereovision separating forms compulsory conditions so that both images – the clear and the blurred one reach the brain and possibly are not suppressed at once.

The procedure of teaching subjects with amblyopia to recognize stereotest images had several stages. At first subjects looked at these tests for a long time (40-60 seconds) trying to catch sight of the hidden depth object, the initial stereodisparity of the random-dot stimuli was within the range of 1000-2000 arc sec.

The following actions was taken in further steps: a) the stimulus for the well seeing eye was blurred, and subjects should to look for a long time at the stereotest; b) the stimuli for both eyes were blurred. When the stereo sense was eventually provoked, it was checked once again with the clinical TNO test. In this case the stimulus of the well seeing eye was deliberately suppressed so helping to avoid suppressing the amblyopic eye image. Bringing the test plates closer to the eyes enlarged the stereo angle, and finally the stereovision was aroused also with the TNO test. Afterwards the plates were held at the correct distance and the stereo acuity was assessed repeatedly. The obtained data are given in Table 1.

**1.Table**

	<b>Stereovision with TNO test before experiment</b>	<b>Stereovision with new method</b>	<b>Stereovision with TNO test after the experiment</b>
<b>Subject 1</b>	Not found	Forms in 5- 10 minutes	Sees 480''-240''
<b>Subject 2</b>	Not found	Forms in 5- 10 minutes	Sees 480''

Besides the steps of the procedure outlined above, the well seeing eye was deliberately covered with a lens blurring the picture. Another way taken in experiments was placing in the front of the better seeing eye a filter reducing the stimulus luminance much below the bad seeing eye stimulus. Such action diminished neural activity flowing out of the non-amblyopic eye, and similarly the dominance of this eye could be depressed for the reasons described above.

### **Discussion**

During tests of the binocular vision for individuals who have a reduced visual acuity, the lack of stereovision very often is – diagnosed because it is not found using the clinical tests. Rutstein and Corliss[5] have concluded that the critical level of amblyopia for hyperopic anisometropia was 2.72 D and for myopic anisometropia was 6.21 D.

That means that the retina of the more ametropic eye in hyperopic anisometropia rarely receives a clear image, and however in the case of mild myopic anisometropia the more myopic eye can sometimes be used for near work. By standard clinical tests assessment of stereovision lasts no longer than 1-2 minutes. In the case of amblyopia this time mostly is not enough to make sure conclusions about the presence of stereovision. Ophthalmologists and optometrists prescribe a number of exercises for treatments of amblyopia in childhood. Also liquid crystal goggles are applied in vision practice for children with disturbances of binocular vision to stabilize and develop it[6]. If no practicing was done in childhood or it was ineffective, the vision acuity does not improve and remains unchanged for the rest of life.

One aim of our research was to investigate the influence of induced anisometropia on the quality of stereovision and to assess the prognosis to obtain – the coarse stereovision at high degrees of anisometropic amblyopia. Further we liked to create conditions to facilitate provoking of stereovision for individuals with amblyopia, and for those failed in diagnosis of stereovision with the clinical stereo tests.

Possibly also amblyopic subjects have stereovision, however they yet cannot give an affirmative answer looking on stereostimuli of the standard clinical tests due to the lack of experience and the restricted test time.

A special test[7] developed by us displaying random-dot stereostimuli on a computer screen, first of all allowed to produce a blurred stimulus also for the well seeing eye. Thus two blurred pictures of the same size reach the brain, and perhaps they are perceived in our brain as more similar thus diminishing one eye dominance. Using the liquid crystal shutters it is



possible to stimulate the amblyopic eye at least for some moment, i.e. eye alone sees the stimulus and this information reach the primary vision cortex

Such conditions could make the brain to receive both eye images and to fuse them without suppression to form stereo sensation. A patient with amblyopia needs a longer time to “control” the sensor fusion mechanism in the process of stereovision, however thereafter he is capable to see the hidden depth image. Going on with looking at the stereo stimuli even with great disparities subjects needed long adaptation time (at least 20-30 seconds) until they saw the stereo image. A difference in the ease to recognize stereostimuli exists also for normal subjects. Thus time needed to see crossed disparity images is shorter as compared with uncrossed disparity stimuli[8]. Authors have mentioned also that comparing stereoacuity for such cases, the acuity by crossed disparity was better.

After the amblyopic patients for the first time affirmed their depth sense while applying the random-dot stereotest as described above, the stereovision was assessed also by clinical tests. To ease at the beginning the clinical stereotest – we held the TNO test much closer to eyes than it is prescribed (increasing the disparity angles). Besides the longer adaptation period than during the clinical vision test was needed. Usually stereotests are used to determine amblyopia, anisometropia or aniseikonia that can destroy the binocular functions of vision, stereopsis included.

However methods to state and unambiguously to distinguish the destroying factors of optical and neural perception have not been found and worked out yet. The researchers try to fix criteria for aniseikonia[2] destroying stereovision and decreasing stereoacuity. It is necessary to establish relationships between degrees of monocular and binocular amblyopia and the change in the quality of stereovision[2,3,5,9]. Some authors have found that good visual acuity only does not prove the existence of stereopsis or the quality of stereovision[1].

We have observed in our practice cases when vision acuity in one eye was decreased for three or four decimal vision acuity lines together with good vision acuity for another eye, however subjects still had good stereoscopic vision. In opposite, in 0.8% cases out of 793 optical patients we found good vision acuity and binocular vision but no stereoscopic vision was tested with standard clinical tests.

Other authors[2,9,10] concluded the influence of relative monocular blurring (loss of monocular visual acuity) on stereovision. The authors represent different outlooks, presented experimental data differs – eventually as a result of different research methods and initial conditions.

It is revealed in quantitative measurements that the stereothreshold increase inducing aniseikonia and blurring measured by the Titmus test is almost twice greater as compared with the increase obtained at same conditions by the Randot test[2]. Thus authors want to suggest advantages of the Titmus test in clinics to diagnose more precisely the pathologies of binocular vision high degree aniseikonia, refractive amblyopia and anisometropia based on difference in retinal image sizes. The Titmus test is also easier perceived and understood by children, and it is more sensitive to the disturbances of binocularity.

Based on our research we could conclude that the stereothreshold is higher (i.e., stereoacuity is worse) in uncorrected hypermetropic anisometropia compared to uncorrected myopic anisometropia cases. It is known from literature that subjects with hypermetropic anisometropia more often have amblyopia than subjects with myopic anisometropia[5]. We observed that stereothreshold stereoacuity increased in induced cataract and/or amblyopia if the quality of visual stimuli has been declined for the dominant eye.

In our studies we have established that the stereoacuity could be improved for amblyopic subjects with adding for the good eye extra filters with three times less light transparency. Using colour filters with the equal transparency supplied with the standard TNO stereotest for real amblyopic subjects stereothreshold is higher.

## Conclusion

That can be shown that the standard clinical stereotests carried out in the restricted time can fail to diagnose the presence of stereovision in cases of amblyopia, aniso-accommodation and cataract – for subjects with lower level binocular vision and) decreased visual acuity in one of eyes. We have investigated patients with real amblyopia, aniso-accommodation and cataract and simulated pathologies (using optical blur by positive and negative lens overcorrection and stimuli blurring on PC screen) to study influence of the induced uncorrected anisometropia, amblyopia and cataract on the subjects' stereoacuity. It is determined, that for the case of uncorrected hypermetropic anisometropia stereothreshold is higher compared to uncorrected myopic anisometropia. Comparing obtained data for subjects with artificially induced uncorrected anisometropia, amblyopia and cataract with values for subjects with real pathologies the degree of the stereoacuity worsening is similar if the visual acuity is chosen as the influence criterion.

The techniques developed in our research can be used in vision assessment to diagnose stereovision and to create a stereo test adapted to the clinical conditions so that the quality of stereovision can be assessed as quickly as possible. The stereotest has a wide range of the stimuli stereodisparity capable to facilitate provocation of stereo sense for patients with high degree of amblyopia and to train patients without and with pathologies in order to improve their stereoacuity.

## References

1. R.T.Goodwin, P.E.Romano. Stereoacuity degradation by experimental and real monocular and binocular amblyopia. – *Invest.Ophthalmol.Vis.Sci.*, **26**, pp.917 – 923 (1985).
2. J.V.Lovasik, M.Szymkiw. Effects of aniseikonia, anisometropia, accommodation, retinal illuminance and pupil size on Stereopsis. – *Invest.Ophthalmol.Vis.Sci.*, **26**, pp.741 – 750 (1985).
3. T.Simpson. The suppression effect of simulated anisometropia. *Ophtha.Physiol.Opt.*, **11**, pp.350-358 (1991).
4. R.van Ee, W.Richards. A planar and a volumetric test for stereoanomaly. – *Perception*, **31**, pp.51-64 (2002).
5. R.P.Rutstein, D.Corliss. Relationship between anisometropia, amblyopia, and binocularity. – *Optom.Vis.Sci.*, **76**, pp.229-233 (1999).
6. Ji-eun Bahn, Yong-jin Choi, Jung-young Son, N. Kondratiev, V. Elkhov, Yu. N. Ovechkis, and Chan-sup Chung, “A device for diagnosis and treatment of impairments on binocular vision and stereopsis,” *Proc.SPIE “Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VIII”*, Edit. A.J. Woods, M.T. Bolas, J.O. Merritt, and S.A. Benton, **4297**, pp.127-131 (2001).
7. G.Papelba, I.Cipane, and M.Ozolinsh. Stereovision studies by disbalanced images. *Proc.SPIE “Advanced optical devices”*, Edit. J.Spigulis, J.Teteris, M.Ozolinsh, and A.Lusis, **5123**, pp.334-340, (2003).
8. A.K.C.Lam, P.Tse, E.Choy, and M.Chung. Crossed and uncrossed stereoacuity at distance and the effect from heterophoria. – *Ophthal.Physiol.Opt.*, **22**, pp.189-193 (2002).
9. A.K.C.Lam, A.S.Y.Chau, W.Y.Lam, G.Y.O.Leung, and B.S.H.Man. Effect of naturally occurring visual acuity differences between two eyes in stereoacuity. – *Ophthal.Physiol.Opt.*, **16**, pp.189-195 (1996).
10. P.P.Schmidt. Sensitivity of random dot stereoacuity and snellen acuity to optical blur. – *Optom.Vis.Sci.*, **71**, pp.466 – 471 (1994).

T I-VIII

## **Stereoresistance – a new characterisation of stereothreshold under external influence**

**Gunta Papelba, Ivars Lacis, Maris Ozolinsh,**

Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Riga, Latvia

**Kjell Inge Daae**

Institutt for Optometri, Hogskolen I Buskerud, Kongsberg, Norway

**Purpose.** The main goal of this investigation was to study the stereovision threshold under static and dynamic conditions of blurring of the stimulus for one eye.

**Method.** Three different test techniques were developed. First, studies of stereovision quality at near using monocular overcorrection with a standard TNO test. Second, determination of the influence of monocular overcorrection on the maximal stereoangle at far using original projection line test technique with polaroids or colour filters for stimuli separation. Third, studies in static and dynamic conditions of correlation between the decrease of the monocular acuity and the stereothreshold using a light-scattering obstacles placed between one eye and a random dot stereopair. The obstacle made of electrooptic PLZT ceramics provided a continuous quasistatic and dynamic change of blurring of a retinal image, thus decreasing the contrast of the stimulus.

**Result.** For tests both at near and at far a decrease of the stereovision quality with overcorrection is close to linear. A ratio between the stereothreshold (in lines for TNO test) and overcorrection would be taken as a measure of stereo-resistance (sensitivity). The stereoresistance differs for positive and negative overcorrection and for near vision has an average value, for 125 patients, from  $-1,5$  to  $+1,6$  (lines/D), having the tendency for negative value being bigger. Using the third method, light scattering induced by applying the voltage to the PLZT ceramics obstacle, decreased the monocular acuity at far down to 0.5, causing the loss of the stereosense for value of disparity of  $2\infty$  within 0.5 s after switching on scattering.

**Conclusion.** Three different test methods are used to evaluate the external influence to the stereovision quality. A new term – stereoresistance – is proposed to characterise diminishing of the stereosense with overcorrection. More detailed studies comparing stereovision changes caused by overcorrection and by blurring due to light scattering would give additional information of the impact of anisometropia on the stereothreshold.

## **Blurring effect to stereoscopic vision**

**Gunta Papelba, Maris Ozolinsh**

Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Latvia

**PURPOSE:** The main goal of this investigation was studies of the stereovision threshold under static and dynamic conditions. These stimuli were blurring (with electrooptic PLZT ceramic) of the stimulus for one eye.

**METHODS:** Studies in static and dynamic conditions of correlation between the decrease of the monocular acuity and the stereothreshold using a light scattering obstacle placed between one eye and a random dot stereopair. The obstacle made of electrooptic PLZT ceramics provided a continuo quasistatic and dynamic change of blurring of a retinal image, thus decreasing the contrast of the stimulus. Subject must determine the figure with the highest stereoangle seen when the light scattering is dynamically switched on.

**RESULTS:** By increasing intensity of blurring, the stereoacuity and the visual acuity remain constantly. Contrast vision is sensitive to minimal change of blurring. Achieving critical point, where  $U/U_{vs}=0,5 = 0.68$  the stereoacuity and the visual acuity start to change gradually (the stereoacuity increases, but the visual acuity decreases), but contrast vision in the critical point is declined approximately to half.

**CONCLUSION:** Contrast vision is more sensitive to the intensity of blurring than visual acuity. Quality of stereovision strongly depends on intensity of blurring and frequency of blurring appearance. It seems that, change of contrast vision is the most affecting to stereoscopic vision.

## Spatial and temporal transmittance of liquid crystal goggles used in vision tests

M.Ozolinsh<sup>1</sup>, G. Papelba<sup>2</sup>

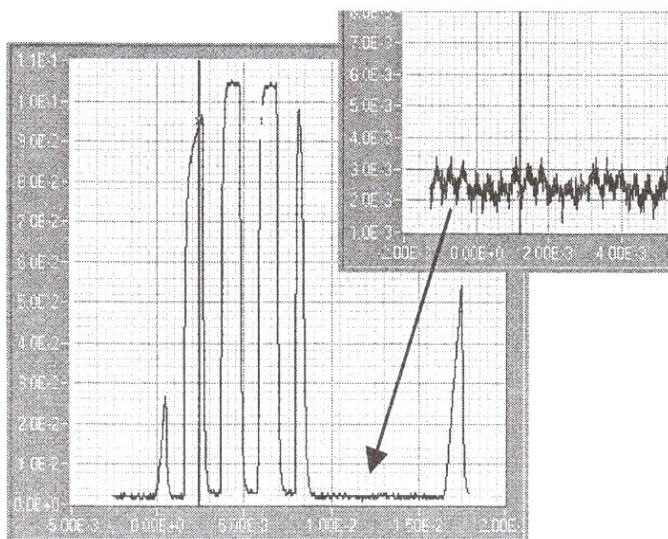
Institute of Solid State Physics and Department of Optometry and Vision Science,  
University of Latvia, Riga

G. Andersson

Chalmers TH, Göteborg, SWEDEN

Characteristics of two liquid crystal (LC) stereogoggle kits - first one, designed in the Inst. of Cinematography (*IC*), Moscow [1], and second one, as a 3-D device distributed for mass consuming by a company "*ELSA*" [2] have been studied. In both goggles twisted nematic LC shutters were used, thus their switching speed and contrast ratio were lower comparing with special goggles using ferroelectric ceramics or ferroelectric LC cells [3]. To switch the twisted nematic LC cells from the ON (maximum transmittance) to OFF state, bursts of square wave, sinusoidal, either of more complicate positive-negative waveform are applied. Thus the ON-OFF transient of such goggles depends of the control waveform amplitude and little on pulse frequency (0.5-1.5 kHz), the transient is forced, and it happens relatively fast (*ca.* ms). The OFF-ON transient after removal the control voltage is activated by the elastic fields in LC, and it depend on LC viscosity, thus on temperature. Figure below shows an example of the optical response of a strobe pulse LED light source (2 ms) passing the goggle LC cell. Testing both types of the goggles in quasistatic conditions (by a constant amplitude alternating squarewave voltage) the obtained ON-OFF contrast ratio was greater as 100:1 for all three used for testing LED wavelength (red - 635nm, green - 565nm, blue - 470nm), if the incident light was normal to the cell surfaces. For normal incidence in dynamic conditions the ON-OFF ratio was worse, besides it was time dependent (from the vision science experimental point of view - dependent on stimuli placement on the computer screen). However the main decrease of the ON-OFF contrast ratio is caused by oblique viewing the stimuli on the screen - that can diminish the contrast ratio for composite white RGB stimuli till 30:1. The measured white light transmission values for the open LC shutters without applied voltage were - 28% for *ELSA* goggles (22% for red, 31% - green, 28% - blue), and 20% for *IC* goggles and, and for dynamic use in open state (at the end of the ON state) - 24% for *ELSA* goggles and 18% for *IC* goggles.

Experimental use of the goggles for the stereovision tests approved their ability for vision science applications.



**Figure** Transmittance vs. time for **IC** goggles. ON state corresponds to one frame (120frame/sec). A green LED is used as a strobe light source. Insert shows with greater resolution the OFF state transmittance.

[1] J.Bahn, Y.Choi, J.Son, N.Kodratiev, V.Elkhov, Y.N.Ovechkis, C.Chung, A Device for Diagnosis and Treatment of Impairments on Binocular Vision and Stereopsis, Proc.SPIE, 4297, 127-131(2001).

[2] <http://www.elsa.com>

[3] <http://www.crsLtd.com/catalog/fe-l/>, "FE-1 Goggles"

## Method of determination of stereopsis colour contrast threshold

G. Papelba, M. Ozolinsh, and J. Petrova

Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Riga,  
LATVIA

The goal of this investigation was to develop a technique of the stereovision threshold's determination if the colour contrast of the right and left eye stereopair images differ. Using the basic principles of random-element stereovision's test, a red-blue (**R/B**) stereogram is created and shown on the PC screen, where the blue image contrast ratio is continuously increased. We used in experiments different stereostimuli: 1) a square in the middle with randomly generated different and either crossed or uncrossed disparity (a square before or behind the main plane); 2) a circle with a cut-out segment, and, 3) a square in the middle, with additional reference stereostimuli placed in the periphery with a maximum **R/B** colour contrast. A subject should determine segment's orientation and distinguish the crossed or uncrossed disparity. For the stimuli separation we used colour filters. Stereostimuli **R** and **B** images differed not only spatially within the disparity region, however they had an essential difference in the colour contrast within all stimulus area. That caused a serious binocular rivalry - continuous perception pulsations in time between red and blue images, more manifest when the low contrast stimulus was shown for the dominant eye. The rivalry effects became less manifest when instead of colour filter separation a phase separation with liquid crystal shutters was used. For three tested subjects the stereothreshold decreased by increasing the low contrast image contrast ratio. To distinguish stereostimuli with disparity of 10 arcsec the minimal contrast level of blue **B** image was 6-8% (red **R** image contrast kept 100%).

[1] A.A.F.Kingdom, D.R.Simmons, The Relationship between Colour Vision and Stereoscopic Depth Perception, 1, 10-19 (2000)

[2] D.R.Simmons, A.A.F.Kingdom, The Role of Chromatic Contrast and Luminance Polarity in Stereoscopic Segmentation, *Vision Research*, **41**, 375-383 (2001)

[3] J.Bahn, Y.Choi, J.Son, N.Kodratiev, V.Elkhov, Y.N.Ovechkis, C.C.Hung, A Device for Diagnosis and Treatment of Impairments on Binocular Vision and Stereopsis, *Proc.SPIE*, **4291**, 127-131 (2001)

## **Evaluation of image's quality to stereovision acuity**

**G.Papelba, M.Ozolinsh, I.Cipane**

Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Riga,  
LATVIA

We report on development of experimental technique and studies of stereovision acuity by disbalanced image quality for the left eye (LE) and right eye (RE), when stimuli as black-white random dot stereopairs are displaced on a computer screen. We separated RE and LE stimuli a) with haploscopic technique - prisms; and b) with phase separation - with liquid crystal shutters synchronised with the display frame rate. Two ways of stimuli disbalanced were applied — optical blur, and contrast change of one eye stimulus.

To detect the blur extend needed to suppress stereopsis, a stimulus for one eye as a serie of image files was composed. Each next image of the sequentially has underwent the directional and Gaussian smooth (the FFT analysis and cross-correlation were used as parameters). The destination of experiment is to fix when a subject can distinguish the crossed and uncrossed disparity when the quality of the stimulus worst image is improving, and *vice versa*. To study the stimuli contrast effect on stereoacuity, the contrast of the one eye stimuli was continuously changed - either uniformly or more in the centre as in peripheral area according to the Gaussian distribution.

We have the first results of three subjects with this method. If the contrast of the best stimuli image kept  $\wedge 100\%$ , subjects detect stereopsis with disparity of 10 arcsec above the first image contrast level of 2-6%. This method gives other possibilities to investigate stereovision under various blurring effects.

[1] D.R.Simmons, The Minimum Contrast Requirements of Stereopsis, *Perception*, 27, 1333-1343,(1998)

[2] J.Bahn.,Y.Choi, J.Son, N.Kodratiev, V.Elkhov, Y.N.Ovechkis, C.Chung, A Device for Diagnosis and Treatment of Impairments on Binocular Vision and Stereopsis, *Proc.SPIE*, 4297,127-131,(2001)

[3] S.B.Stevenson, L.K.Cormack, A Contrast Paradox in Stereopsis, Motion Detection and Vernier Acuity, *Vision Research*, 40, 2881-2884, (2000)



## **STEREOVISION ACUITY STUDIES BY DISBALANCED EYE IMAGE QUALITY**

Papelba G., Cipane I., Petrova J.

Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Riga, Latvia

We report on development of experimental technique and studies of stereovision acuity by disbalanced image quality for the left eye (LE) and right eye (RE), when stimuli as black-white random dot stereopairs are displaced on a computer screen. We separated RE and LE stimuli a) with haploscopic technique – prisms; and b) with phase separation – with liquid crystal shutters synchronised with the display frame rate. Two ways of stimuli disbalanced were applied – optical blur, and contrast change of one eye stimulus.

To detect the blur extend needed to suppress stereopsis, a stimulus for one eye as a movie .gif file was composed. Each next frame of the sequentially has underwent the directional smooth (the FFT analysis was used as parameters). Stimuli were separated haploscopically. The destination of experiment is to fix when subject loss the stereopsis or regained it back. To study the stimuli contrast effect on stereoacuity, the contrast of the one eye stimuli was continuously changed – either uniformly or more in the centre as in peripheral area according to the Gaussian distribution.

## **THE INFLUENCE OF BLUE-RED COLOUR'S CONTRAST TO STEREOACUITY**

Papelba G., Petrova J., Cipane I.

Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia, Riga, Latvia

**Purpose.** The main goal of this investigation was studies of the stereovision threshold under colour (blue and red) contrast changing.

**Method.** Using the basic principles of random-element stereovision's test is created red-blue stereogram where contrast level is changed in the determined time. We have three programs for red-blue stereograms: 1) square in the middle, what can change its position before and behind screen, 2) ring with segment, and subject must determine segment's orientation and the position of ring (before and behind screen), 3) square in the middle, but in periphery are greater stereoacuity elements. Program fixates the subjective answer, when stereoimage is seen and subject must determine crossed and uncrossed disparity's situations. Simultaneously is recorded the contrast's level of correspondent colour. Additionally we measure patient's visual acuity and the illumination's intensity of room.

**Results.** Three subjects have the individual minimal threshold of stereovision, approximately 2-5 arcsec, which depends on the external influence and the time of training. The quality of stereovision acuity decreases by changing of contrast. But it depends on disparity's size and disparity's type too.

## ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВОСПРИЯТИЯ ГЛУБИНЫ ОБЪЕКТОВ ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗОБРАЖЕНИЙ.

**В.А. Ляховецкий\*, Г. Папелба\*\***

*\*Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет*

*\*\*Department of Optometry and Vision Science, University of Latvia*

В настоящее время благодаря увеличению быстродействия и объемов хранимой информации стало возможным появление систем виртуальной реальности, при работе с которыми ощущается эффект присутствия. Одной из важных составляющих этого эффекта является ощущение глубины сцены – объекты виртуальной реальности должны быть или казаться трехмерными. Для создания устойчивого ощущения глубины необходимо, чтобы глаза наблюдателя воспринимали несколько различные изображения объектов сцены. Устройства визуализации, на которых синтезируются изображения, являются плоскими. Поэтому для создания стереоэффекта используют либо специальные шлемы, в которых левый и правый глаз наблюдателя направлены на различные мониторы, либо стерео-очки. Заслонки стерео-очков, синхронизированные с частотой обновления монитора, обеспечивают разделение изображений, при котором левый глаз наблюдателя видит, например, четные, а правый – нечетные кадры.

При разработке методов синтеза трехмерных сцен неизбежно возникают вопросы, связанные с изучением пороговых значений характеристик бинокулярного зрения. Для их изучения проводятся психофизические эксперименты и разрабатываются модели бинокулярного зрения человека.

Одним из важнейших признаков стереоизображения, достаточным для получения стереоэффекта, является диспаратность – горизонтальный сдвиг между проекциями объекта сцены на сетчатки глаз. Нами изучалась зависимость остроты бинокулярного зрения, связанной с минимальной диспаратностью, при которой возможно разделение планов глубины стереоизображения, от его спектрального состава. В исследованиях использовался особый тип изображений – случайно-точечные стереограммы (СТС), представляющие собой шумоподобный паттерн, не содержащий иных признаков глубины кроме диспаратности.

СТС в градациях серого размером 7x7 см, в центре которых был закодирован квадрат размером 5x5 см, предъявлялись наблюдателю (всего 11 испытуемых, возраст 21-23 года) на экране монитора (частота кадров – 120Гц) через стерео-очки (частота кадров для одного глаза – 60 Гц). Размер элемента СТС составлял 1 пикс. В ходе экспериментов (40 опытов в 1 серии испытаний) случайным образом изменяли степень размывания одной из частей СТС (использовался гауссовский фильтр из графической оболочки *Corel Photo Paint* с радиусом размывания от 0.1 до 5 пикс.) и диспаратность стимула (от -4 до 4 пикс.). Время предъявления одной СТС составляло 1 сек. Наблюдатель, находившийся на расстоянии 80 см от монитора, должен был принять решение о положении стимула относительно плоскости фона (за плоскостью фона / перед плоскостью фона). Программно определялась минимальная диспаратность, при которой наблюдатель был способен различить закодированный квадрат в центре СТС.

Психофизические опыты показали, что острота бинокулярного зрения уменьшается по мере увеличения степени размывания изображения. Результаты опытов с разработанной моделью бинокулярного зрения человека качественно совпали с данными психофизических исследований.

Разработанная модель имитирует работу сетчаток, наружных колленчатых тел (НКТ) и первичной зрительной коры (ПЗК) человека. На вход модели – слой “фоторецепторов” – подается стереограмма. “Фоторецепторы” (палочки и три вида колбочек) конвергируют на “биполярные”, которые, в свою очередь, конвергируют на “ганглиозные клетки”. Далее сигналы, без искажений пройдя через НКТ, доходят до бинокулярных «нейронов» ПЗК. Выходом модели является потенциал вергентности (ПВ) – функция, значениями которой является суммарный ответ пула расположенных вблизи друг от друга бинокулярных “нейронов”, тормозно настроенных на некоторую диспаратность.

В модели реализованы современные представления о существовании высокочастотного и низкочастотного бинокулярных каналов - ПВ вычисляется отдельно для пулов, образованных «нейронами» с различными размерами рецептивных полей. Диспаратности поверхностей, закодированных в СТС, соответствуют минимумы ПВ.

Использование модели позволило предложить физиологические механизмы для объяснения выявленной зависимости. Предполагается, что высокочастотный бинокулярный канал предназначен для детального рассматривания стереоизображения. Чем глубже минимум ПВ, рассчитанного в высокочастотном канале, тем устойчивей фузия. Низкочастотный канал предназначен для управления высокочастотным каналом. Он определяет диапазон диспаратностей, в рамках которого наблюдатель способен выделять планы глубины из СТС. При небольших диспаратностях минимумы ПВ, соответствующие диспаратностям стимула и фона, сливаются, становятся неразделимыми, что и соответствует невозможности для наблюдателя воспринимать объекты с под пороговыми значениями диспаратности.

При размывании части СТС минимальная диспаратность стимула, при которой минимумы ПВ, соответствующие диспаратностям фона и стимула, разделяются, увеличивается. То есть, размывание изображения блокирует работу бинокулярных нейронов низкочастотного канала с рецептивными полями, меньшими чем степень размывания, что и приводит к зависимости остроты стереозрения от спектрального состава изображения.

Latvijas Universitātes Fizikas doktorantūras studente:

**M.Sc. Gunta Krūmiņa**

..... 2004.gada 28.februārī

Darba zinātniskie vadītāji:

**Dr.habil.phys. Māris Ozoliņš**

..... 2004.gada 28.februārī

**Dr.habil.phys. Ivars Lācis**

..... 2004.gada 28.februārī