

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 izklaidēto 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 izklaidēto 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. 3rd 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. 25th 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^d 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 tīkļenei 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 izklidēto 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:

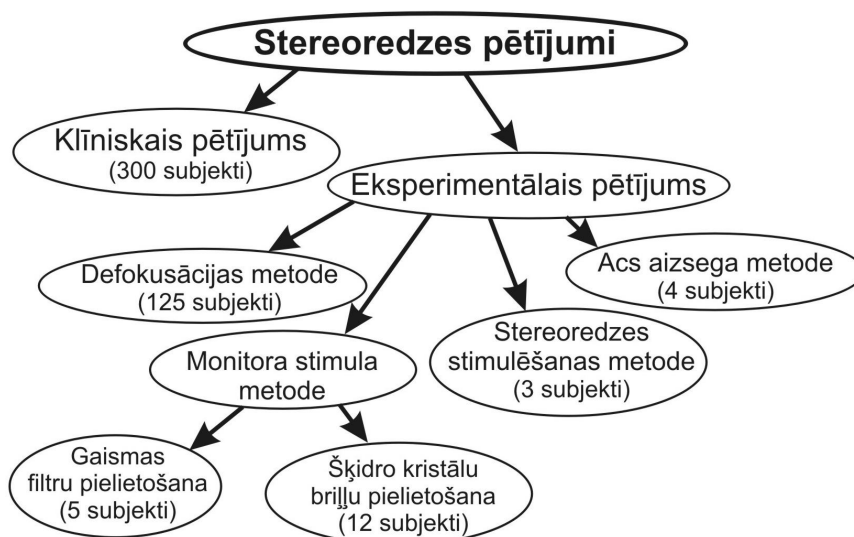
- 1) Novērtēt binokulāro redzi un izpētīt stereoredzes sliekšņu vērtības reālas un inducētas kataraktas, ambliopijas un nekoriģētas anizotropijas gadījumos;
- 2) Salīdzināt nekoriģētas miopas un hipermetropas anizotropijas stereoredzes sliekšņu vērtības;
- 3) Izstrādāt metodi, lai iemācītu subjektiem 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 filtras) – ambliopijas un kataraktas gadījumiem;
 - c) vienas acs aizsega metodi (ar PLZT keramiku un PDLC plāksnīti) – kataraktas gadījumiem.

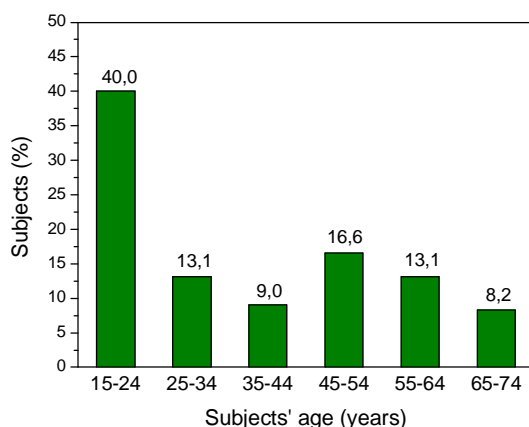
2. Subjekti

Pētījumā pavisam tika iesaistīti 445 subjekti (skat. 2.1.zīm.) vecumā no 15 līdz 74 gadiem (skat. 2.2.zīm.), ar vidējo vecumu 39 ± 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.

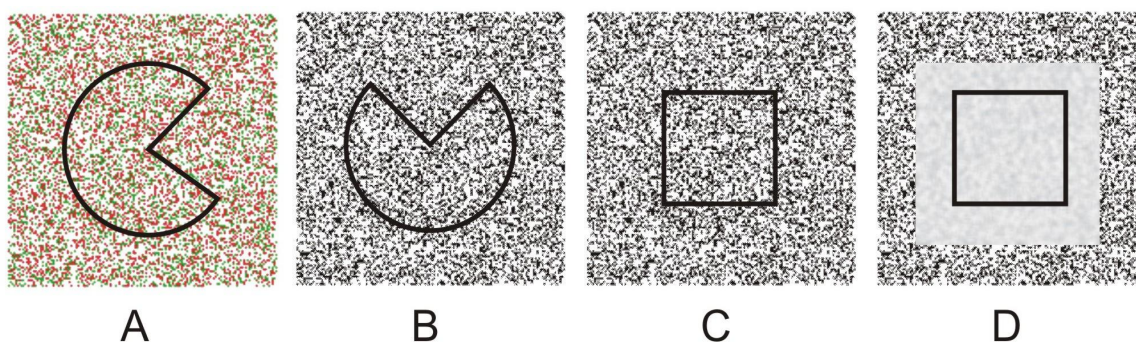
Subjektu atlasē redzes asums nebija noteicošais faktors, kaut gan galvenokārt tika atlasīti pacienti ar labu redzes asumu vai arī pazeminātu, ko rada acs katarakta vai ambliopija. Subjektu acu refrakcijas bija dažādas – gan emetropija, gan miopija, gan hipermetropija. Visiem tika noteikta pilnā korekcija 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.

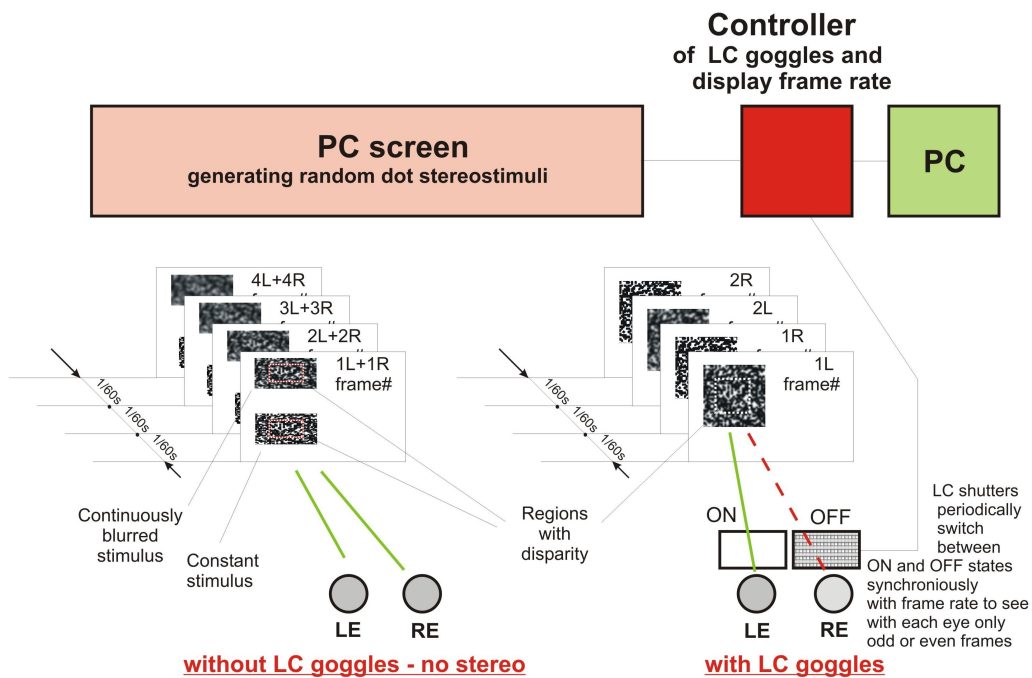


3.1.zīm. Stereoskopiskais attēls, ko subjektam demonstrē: A – TNO testā, B, C – monitora stimulu un acs aizsega metodē. Vienai acij tiek mainīta apmieglojuma intensitāte līdz stimuls kļūst neskaidrs, otras acs stimuls visu laiku tiek saglabāts skaidrs. D – vienas acs stimulam tiek mainīts kontrasts kvadrāta 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:

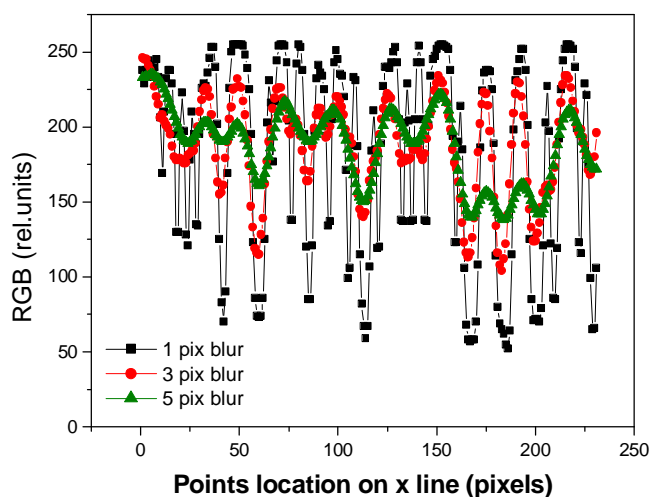
- izmantojot vidējās modulācijas dziļumu;
- izmantojot Furjē frekvenču sadalījumu;
- izmantojot krosskorelācijas metodi.

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:

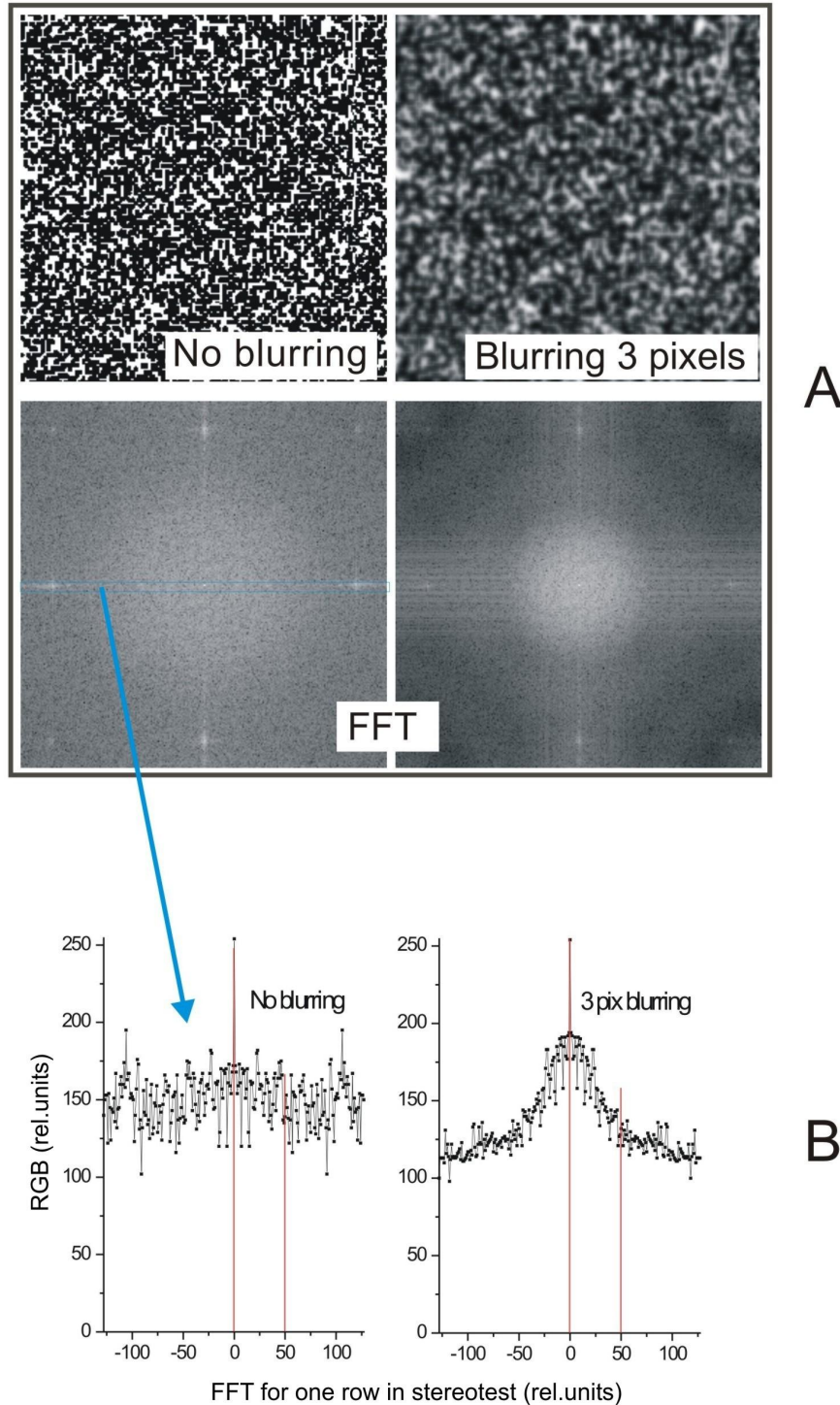
$$MD = 100 - \frac{I_{MIN} \times 100}{I_{MAX}} \quad [1]$$

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.



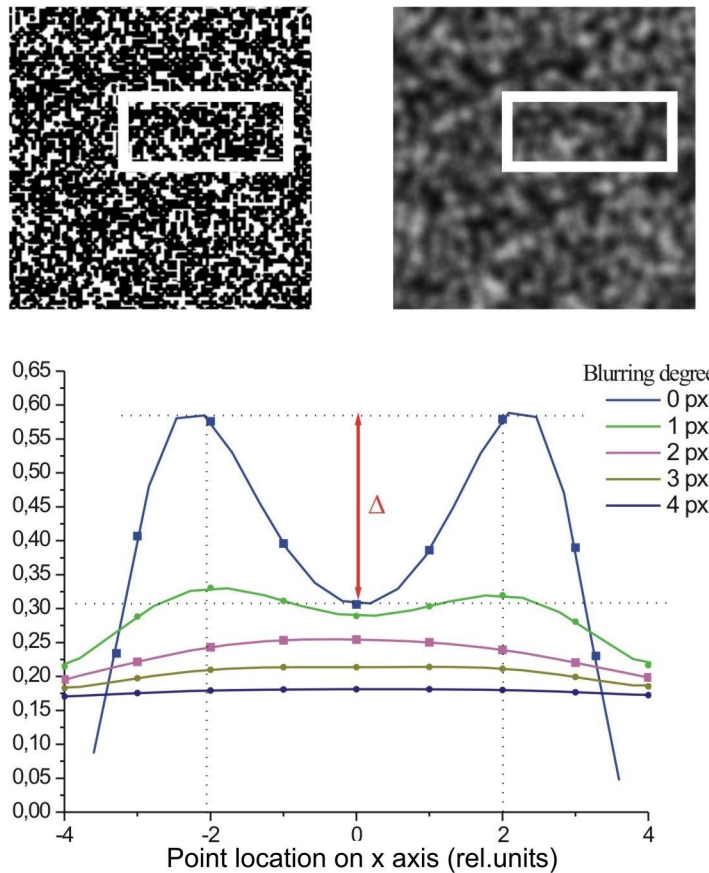
4.2.zīm. Apmīgļoto stereostimulu raksturošana izmantojot FFT (ātro Furjē frekvenču sadalījumu). A zīmējuma augšējā daļā atainots reālais stimuls bez apmīgļojuma un ar apmīgļojumu. Apakšējā daļā šie attēli izanalizēti ar FFT. B zīmējumā parādīts integrācijas apgabals, kurš tiek izvēlēts kā parametrs, 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 apmiglota attēlu un nobīdītu centrālo figūru. Iegūtie rezultāti attēloti 4.3.zīmējumā.

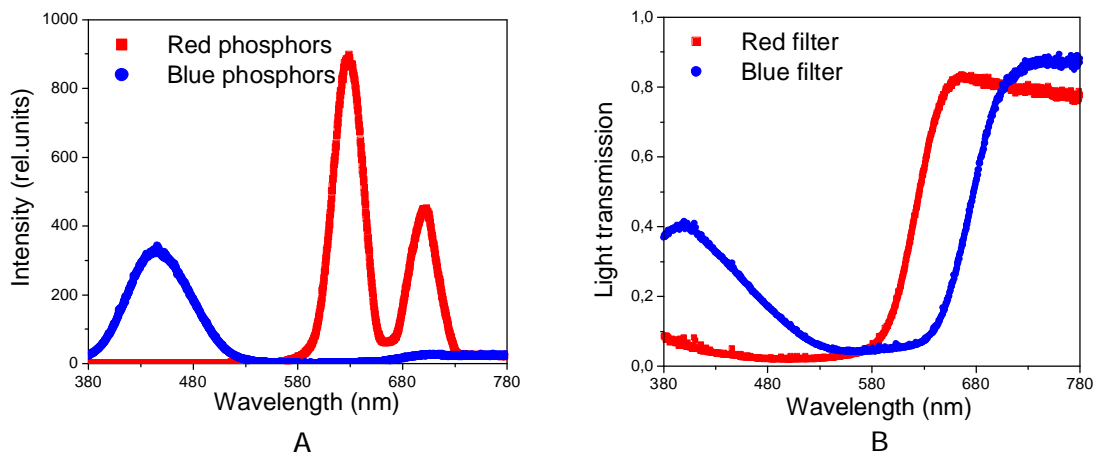


4.3.zīm. Izvēlētie apgabali stereostimuliem, kuri tika salīdzināti ar krosskorelācijas metodi. Attēla apakšējā daļā ir dažādi apmiglota stimulu noteiktais DELTA lielums. Šāda neirālo stimulu apstrāde varētu līdzīgi norisināties cilvēka smadzenēs.

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.).



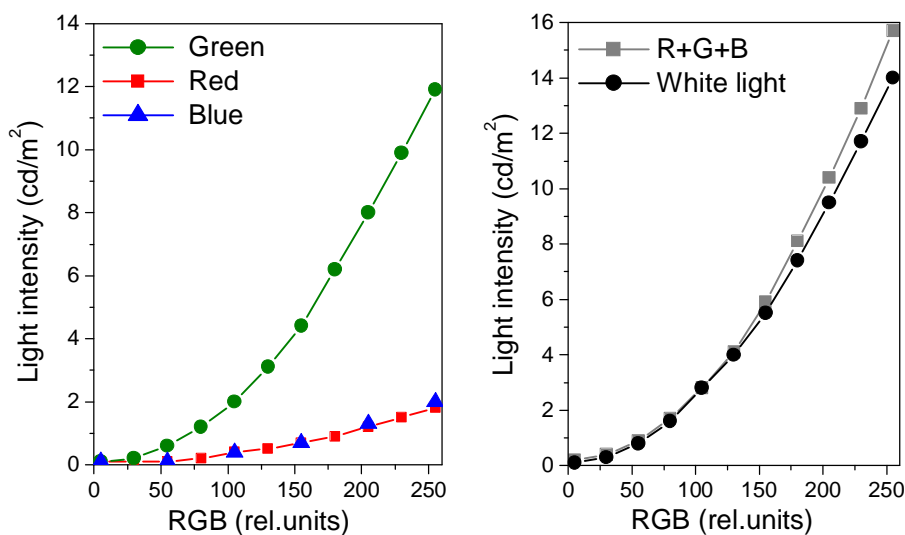
4.4.zīm. A zīmējumā parādīta monitora zilās un sarkanās krāsas luminoforu izstarotā gaismas intensitātes atkarība no viļņu garuma. B zīmējumā attēloti mūsu izmantoto filtru gaismas caurlaidības spektri.

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 (cd/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. Monitora kalibrēšanas līknes. Uz vertikālās ass – monitora spožums (cd/m²). 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 piemeklēt 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 piemeklēt 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 piemeklējot 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 piemeklēt 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.

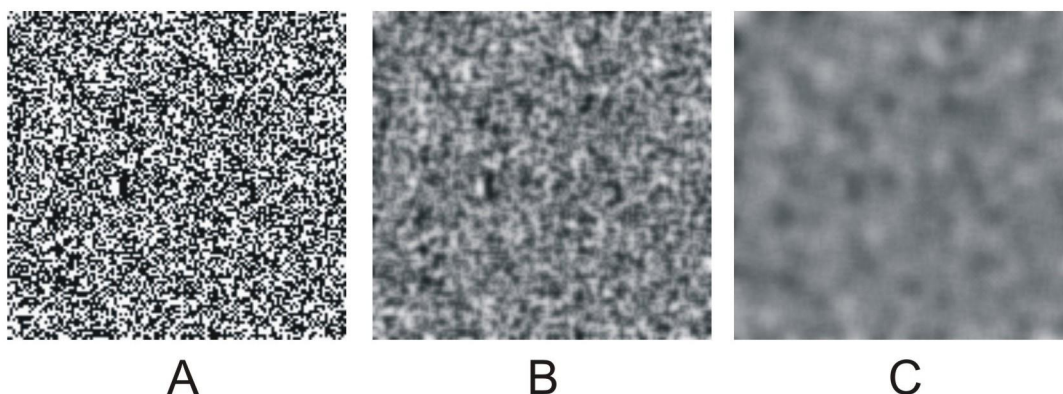
Sākumā tiek noteikts stereoslieksnis ar labas kvalitātes stimuliem abās acīs. Tad labajai acij izmaina refrakciju ar -2.50 D vai $+2.50$ D stipru lēcu, un atkal tiek noteikts zemākais stereoslieksnis, sākot rādīt attēlus ar lielāko nobīdi. Tālāk papildus lēcas stiprums tiek samazināts ar soli 0.50 D, 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 ± 0.50 D līdz ± 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 ± 0.1 cm ; centrālo figūru izmēri 3.5 ± 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 ± 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 ± 1 cm un 180 ± 1 cm. Tā rezultātā katrā eksperimentā tika veikti mērījumi 12 dažādām disparitātēm – sešām krustotajām un sešām nekrustotajām.

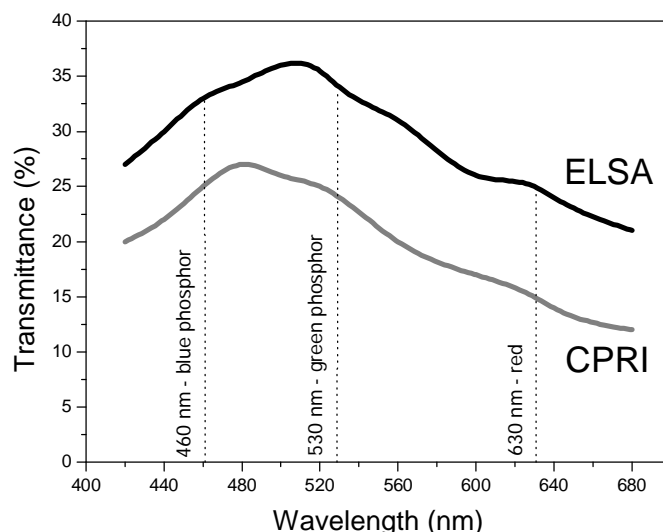
Tā kā pētījumos tiek izmantoti dažādi optiskie materiāli: gaismas filtri, PLZT keramika, PDLC plāksnīte un šķidro kristālu brilles, tad svarīgi ir zināt katra materiāla optiskās īpašības redzamajā spektra daļā. Gaismas filtri tiek izmantoti gan standarta TNO testā, gan eksperimentā, kurā stimuli tiek 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.

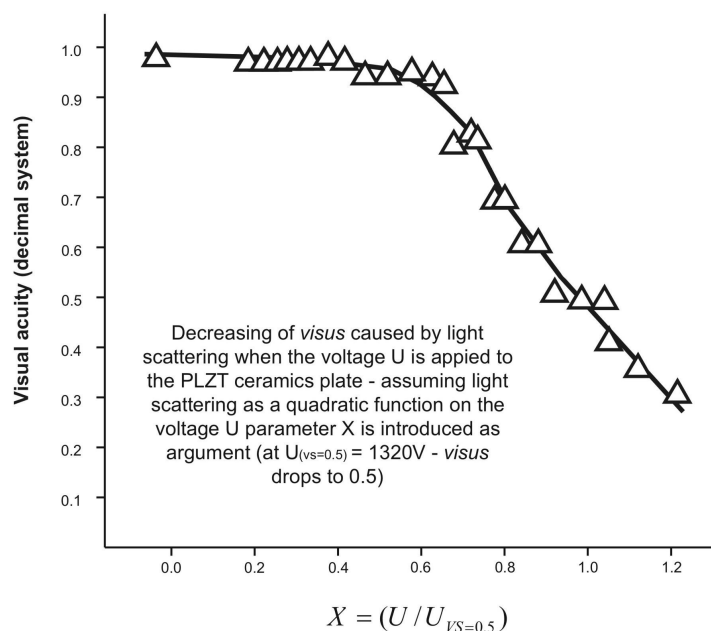
Pētījumā, kurā tiek izmantotas šķidro kristālu (LC) brilles, tiek lietota fāzu atdalīšanas tehnika, kad stimuli abām acīm tiek rādīti periodiski uz īsu brīdi vienai acij un otrai acij atsevišķi. Stimula rādīšana uz monitora tiek sinhronizēta ar šķidro kristālu briļļu pārslēgšanos. Šādas LC brilles ir 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.

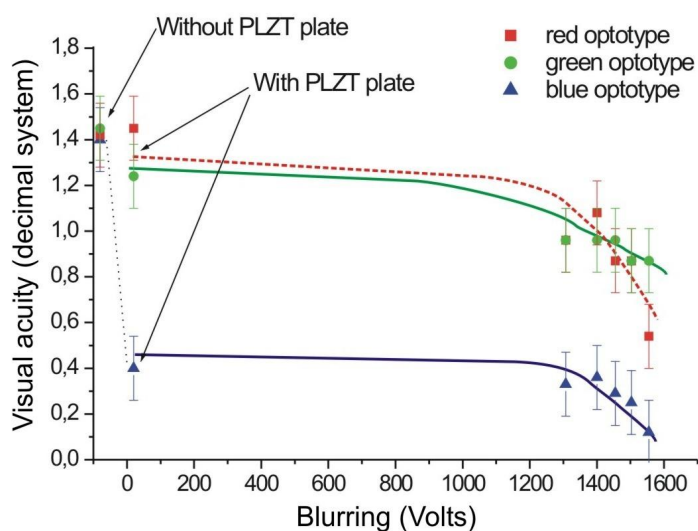


5.2.zīm. ELSA un CPRI briļļu spektrālā caurlaidība. Palīglinijas parāda monitora luminoforu emisijas spektru maksimumus trīs pamatkrāsām: zilai – 460nm, zaļai – 530nm, sarkanai – 630nm.

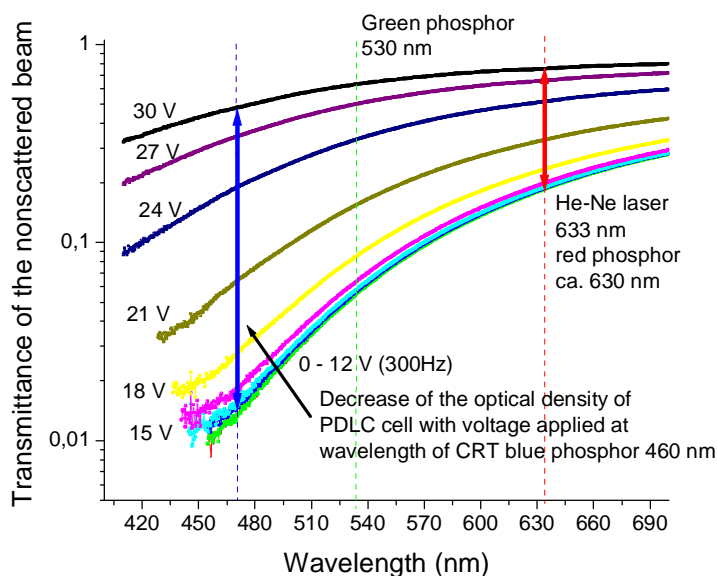


5.3.zīm. Redzes asuma maiņa, skatoties cauri PLZT plāksnītei, kurai tiek pievadīts spriegums.

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).



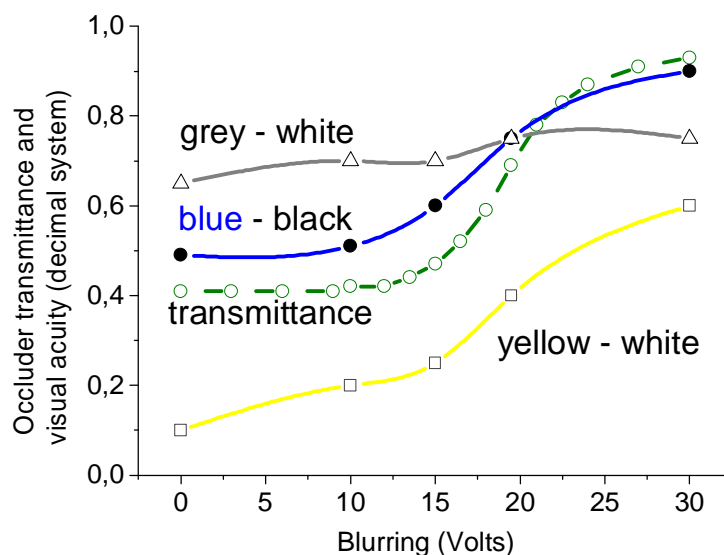
5.4.zīm. Redzes asums noteikts ar dažādas krāsas optotipiem. Bez PLZT plāksnītes redzes asums ar visu krāsu optotipiem ir aptuveni 1,2.



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.

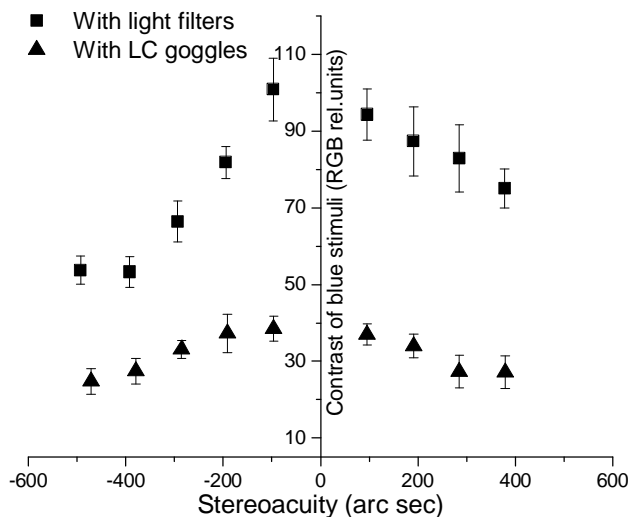
Monitora stimula metodē jau demonstrētajam stimulam tiek izmainīts kontrasts vai apmieglojums. Ar šo metodi tiek panākts labāks komforts subjektam, jo papildus lēcas uz

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.

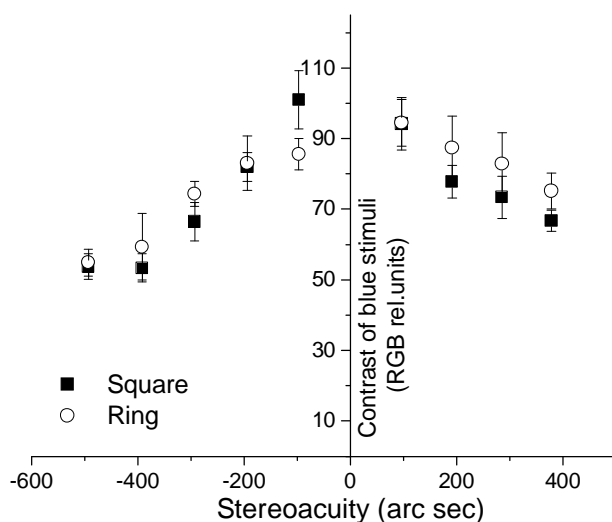


6.1.zīm. Noteiktie kontrasta sliekšņi dažādām stereodisparitātēm, mainoties zilās krāsas kontrastam. Stereosajūtas radīšanai izmantoti gaismas filtri un šķidro kristālu brilles.

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 dažādās 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 aplī). 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.



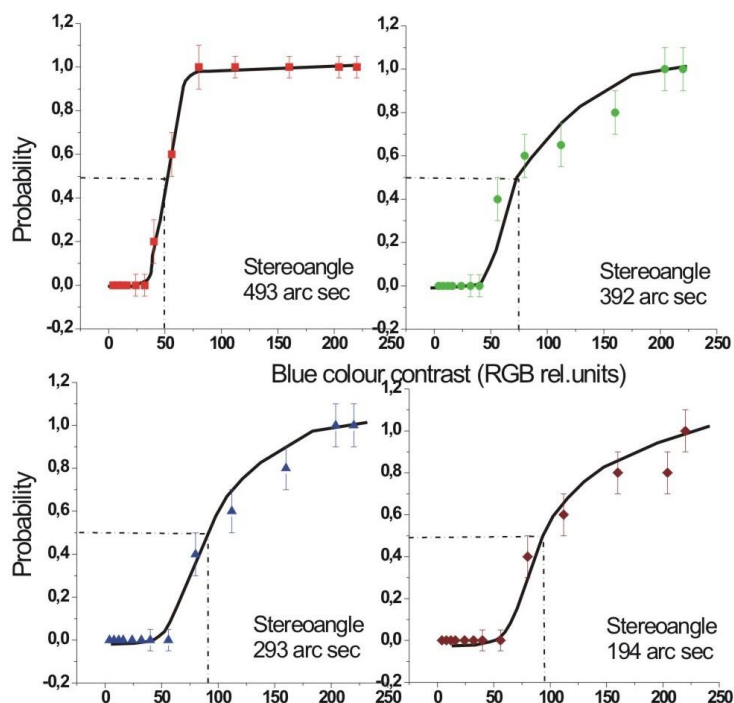
6.2.zīm. Ar pakāpeniskās tuvināšanās metodi noteiktie kontrasta sliekšņi ar mainīga kontrasta zilo stereostimulu un divu veidu figūrām.

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 ± 1 cm nobīdi. Tas stereosliekšņa aprēķinos var ienest kļūdu ne vairāk par 3-4%. Vēl jāaprēķinās 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

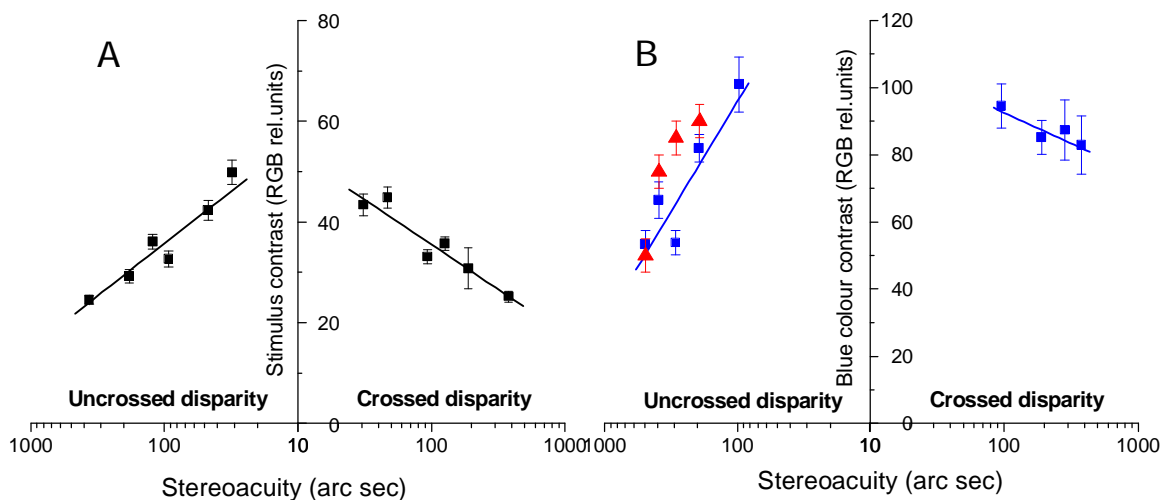
Stereosliekšņa vērtības atkarība no attāluma līdz monitoram un disparitātes veida

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 (cd/m^2) izmaiņas procentuāli RGB vienībām melnbaltajam stimulam salīdzinājumā ar zilo stimulu ir aptuveni vienādas.



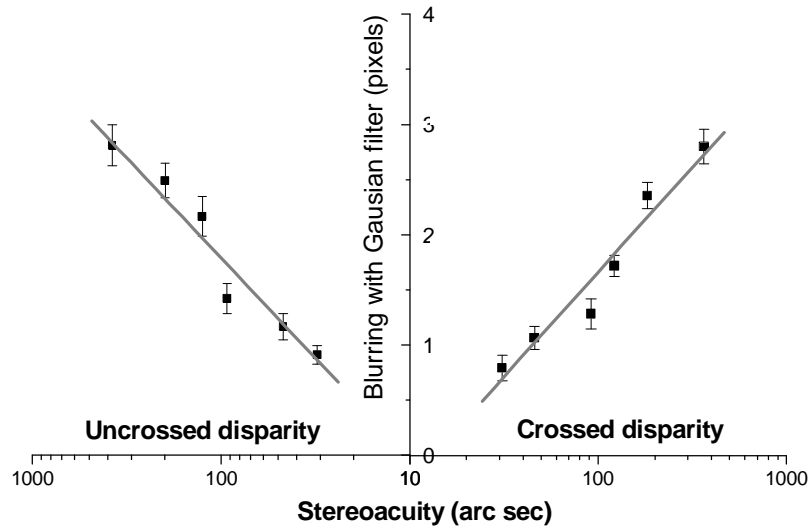
6.4.zīm. Vienas acs stereostimula kontrasta maiņa dažādām disparitātēm noteikta ar pakāpeniskās tuvināšanās metodi: A – melnbaltā stereotesta rezultāti, B – zilās krāsas stimula stereotesta rezultāti. B zīmējumā ar sarkaniem trīsstūriem apzīmēti iegūtie dati ar konstantā stimula metodi, mainoties zilās 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.).

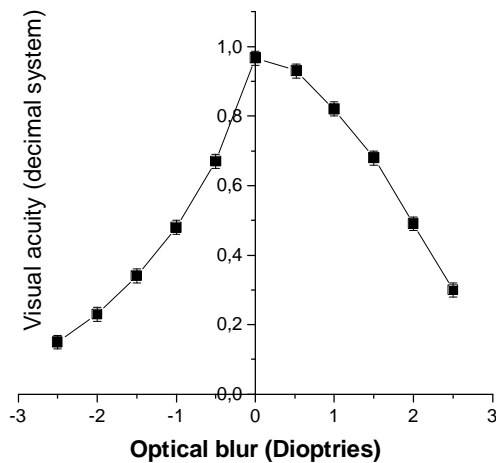
Pētījumā tika noteiktas redzes asuma izmaiņas, ko ienes papildus lēcas pusmūža cilvēkiem. Jauniem cilvēkiem labi darbojas akomodācija, un ar arī negatīvām lēcām viņi spēj skaidri saskatīt stimulu. Lai atslēgtu akomodācijas darbību jauniem cilvēkiem, ir nepieciešams pielietot cikloplēģiju (ar medikamentiem 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.

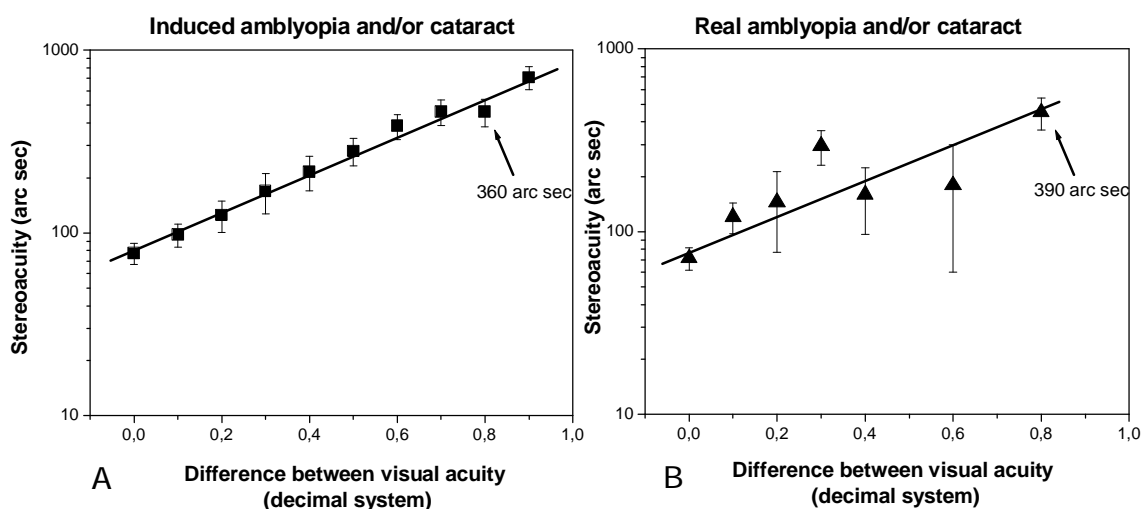
Ja salīdzina datus par stereosliekšņa vērtībām inducētās anizotropijas situācijā ar redzes asuma starpību acīs 0.8 vienības (pēc redzes asuma novērtēšanas decimālās sistēmas) ar reālas ambliopijas vai kataraktas subjektiem ar tādu pašu redzes asuma starpību, t.i. 0.8 vienības, tad redzam, ka stereoredzes sliekšnis attiecīgi ir 360 ± 50 loka sekundes un 330 ± 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.



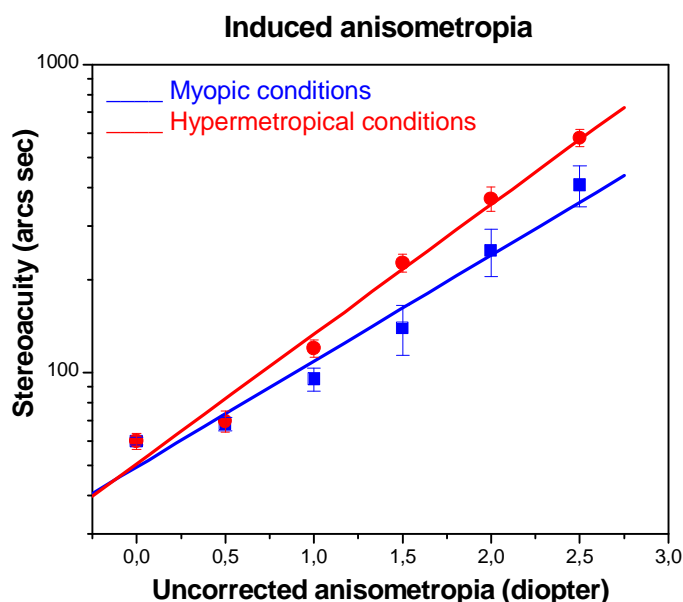
6.6.zīm. Redzes asuma izmaiņas, skatoties cauri optiskām lēcām, noteiktas 100 subjektiem.

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 ± 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 ± 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
Subjekts Nr.1	Netiek konstatēta	Izveidojas pēc 5-10 minūtēm	Redz 480"-240"
Subjekts Nr.2	Netiek konstatēta	Izveidojas pēc 5-10 minūtēm	Redz 480"
Subjekts Nr.3	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.

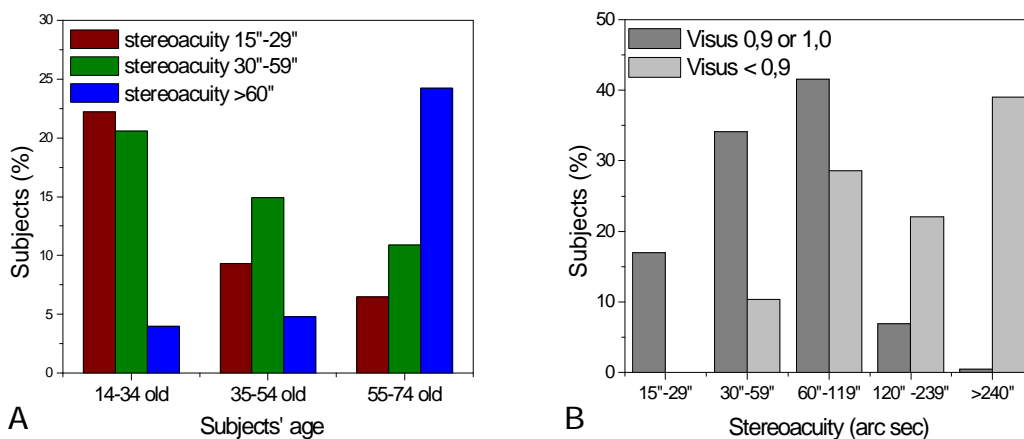
Stereoredzes sliksņa novērtēšanas klīniskajā pētījumā 223 subjekti ir iedalīti trijās vecuma grupās. Visiem redzes asums ir ne mazāks kā 0.9 (pēc decimālās sistēmas). Katram subjektam ir savs minimālais stereosliksnis, pie kura viņš spēj izšķirt dziļuma efektu un atšķirt attēla detaļas. Grafikā (skat. 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:

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

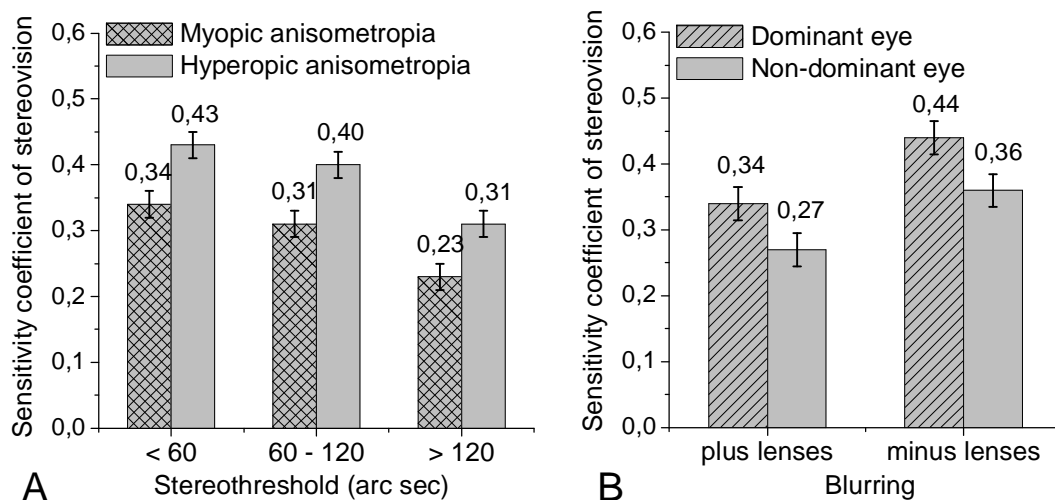
kur y – stereoslieksnis (loka sekundēs), x – parametrs, kas raksturo stimula apmiglojuma intensitāti vai kontrasta samazinājumu, k – koeficients. Parametru k var nosaukt par stereoredzes jutības koeficientu, kurš raksturo stereoredzes sliekšņa maiņas ātrumu atkarībā no kontrasta vai apmiglojuma intensitātes.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



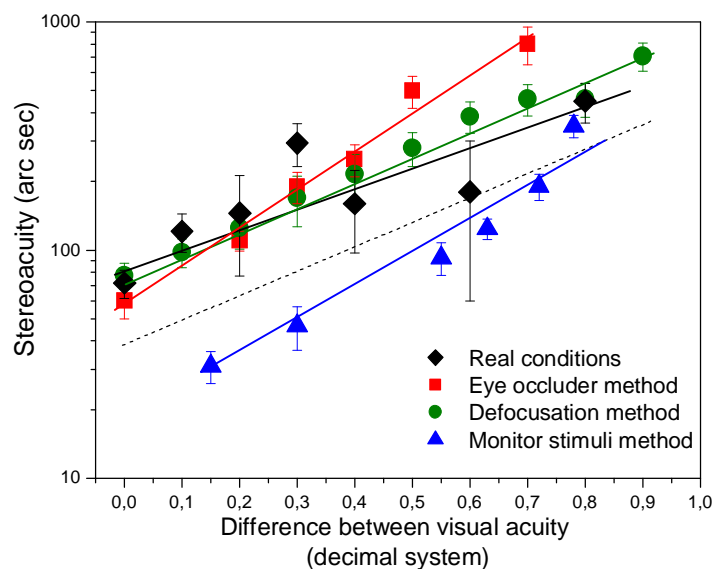
6.9.zīm. A – stereoredzes sliekšņa vērtības visiem subjektiem noteiktas ar TNO testu. B – stereoredzes sliekšnis 300 optikas pacientiem. Šie dati parāda, ka labs redzes asums abās acīs automātiski vēl nenozīmē arī labu stereoredzi. Viens no iespējamiem skaidrojumiem varētu būt netrenēta stereoredze, 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 apmiglojumam 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 stereosliekšnis 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 apmīglošanas 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 aizsegu – 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).